VYTAUTO DIDŽIOJO UNIVERSITETAS
LIETUVOS AGRARINIŲ IR MIŠKŲ MOKSLŲ CENTRAS

Viktorija GECAITĖ

DVINARIŲ PASĖLIŲ IR JUOSTINIO ŽEMĖS DIRBIMO PANAUDOJIMO YPATUMAI EKOLOGINĖJE AGROSISTEMOJE

Mokslo daktaro disertacija
Žemės ūkio mokslai, agronomija (A 001)

Kaunas, 2021

Mokslo daktaro disertacija rengta 2017–2021 m. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centre pagal LR švietimo ir mokslo ministro 2019 m. vasario 22 d. įsakymu Nr. V-160 Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijai ir Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centrui suteiktą doktorantūros teisę.

Mokslinė vadovė

Dr. Aušra Arlauskienė (Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras, Žemės ūkio mokslai, Agronomija, A 001).

Mokslinė konsultantė

Dr. Žydrė Kadžiulienė (Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras, Žemės ūkio mokslai, Agronomija, A 001).

Disertacijos gynimo taryba:

Pirmininkas

Prof. dr. Kęstutis Romaneckas (Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija, Žemės ūkio mokslai, Agronomija A 001).

Nariai:

Dr. Gražina Kadžienė (Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras, Žemės ūkio mokslai, Agronomija A 001);

Dr. Irena Deveikytė (Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras, Žemės ūkio mokslai, Agronomija A 001);

Doc. dr. Loreta Bašinskienė (Kauno technologijos universitetas, Technologijos mokslai, Chemijos inžinerija T 005);

Prof. dr. Branko Kramberger (Slovėnijos Maribor universitetas, Žemės ūkio mokslai, Agronomija A 001).

Disertacija bus ginama viešame Agronomijos mokslo krypties tarybos posėdyje 2021 m. gruodžio 15 d. 10 val. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centre.

Adresas: Instituto al. 1, Akademija, Kėdainių r.

Disertacija galima peržiūrėti Lietuvos nacionalinėje Martyno Mažvydo bibliotekoje bei Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro ir Vytauto Didžiojo universiteto bibliotekose.

VYTAUTAS MAGNUS UNIVERSITY
LITHUANIAN RESEARCH CENTRE FOR AGRICULTURE AND FORESTRY

Viktorija GECAITĖ

PECULIARITY OF THE USE OF INTERCROPPING AND STRIP TILLAGE IN ORGANIC AGROSYSTEM

Doctoral Dissertation
Agricultural Sciences, Agronomy (A 001)

Kaunas, 2021

Dissertation was prepared at Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry in 2017–2021. The right of doctoral studies was granted to Vytautas Magnus University jointly with Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, on 22 February, 2019, by the decision No. V-160 of the Government of the Republic of Lithuania.

Scientific Supervisor

Dr. Aušra Arlauskienė (Vytautas Magnus University, Agricultural Sciences, Agronomy A 001).

Council of defence of the doctoral dissertation:

Chairman

Prof. Dr. Kęstutis Romaneckas (Vytautas Magnus University, Agricultural Science, Agronomy A 001).

Members:

Dr. Gražina Kadžienė (Lithuanian Research Centre for Agriculture, Agricultural Sciences, Agronomy A 001);

Dr. Irena Deveikytė (Lithuanian Research Centre for Agriculture, Agricultural Sciences, Agronomy A 001);

Assoc. Prof. Dr. Loreta Bašinskienė (Kaunas University of Technology, Technology Sciences, Chemical engineering T 005);

Prof. Dr. Branko Kramberger (University of Maribor, Slovenia, Agricultural Sciences, Agronomy A 001).

The official defence of the dissertation will be held at 10 a.m. on the 15th December, at Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry.

Address: Instituto al. 1, Akademija, Kėdainiai distr.

The dissertation is available at Martynas Mažvydas National Library of Lithuania and the libraries of Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry and Vytautas Magnus University.

TURINYS

SUTRUMPINIMAI 7
ĮVADAS 8
1. LITERATŪROS APŽVALGA 11
1.1. Ekologinės žemdirbystės tvarumas, poreikiai ir galimybės 11
1.2. Miglinių pasėlių įvairinimas pupiniais augalais 14
1.3. Pupinių žolių ir miglinių javų suderinamumas viename pasėlyje 16
1.4. Pupinių žolių ir miglinių javų dvinarių pasėlių tyrimai pasaulyje ir Lietuvoje 18
1.5. Juostinis žemės dirbimas ir jo taikymo galimybės dvinarių augalų auginimo technologijose 19
2. TYRIMO SĄLYGOS IR METODAI 21
2.1. Tyrimo objektas 21
2.2. Eksperimento schema 22
2.3. Meteorologinės sąlygos 26
2.4. Augalų tyrimo metodai 28
2.5. Dirvožemio analizės 30
2.6. Duomenų statistinė analizė 31
3. TYRIMŲ REZULTATAI IR DISKUSIJA 32
3.1. Avižų ir pupinių žolių vienanarių ir dvinarių pasėlių formavimosi dėsningumai ir produktyvumas 32
3.1.1. Pupinių žolių ir avižų antžeminė masė 32
3.1.2. Pasėlio piktžolėtumas 34
3.1.3. Avižų ir pupinių žolių konkurencingumas 36
3.1.4. Avižų produktyvumas 38
3.1.5. Maisto medžiagų kiekis, sukauptas avižų grūduose ir pupinių žolių antžeminėje masėje 39
3.2. Pupinių žolių ir žieminių kviečių dvinario pasėlio formavimosi dėsningumai ir produktyvumas 43
3.2.1. Dirvožemio mineralinio azoto formų kitimas 43
3.2.3. Pupinių žolių ir žieminių kviečių, augintų dvinariuose pasėliuose, konkurencijos intensyvumas 54
3.2.4. Žieminių kviečių, augintų vienanariuose ir dvinariuose pasėliuose, produktyvumo rodiklių formavimosi dėsningumai ir derlius 60

3.2.5. Dvinarių pasėlių piktžolėtumas 65
3.3. Pupinių žolių ir žieminių kviečių mitybos N, P, K dėsningumai vienanariuose ir dvinariuose pasėliuose 68
3.3.1. Žieminių kviečių mitybos N, P, K ypatumai vegetacijos metu 68
3.3.2. Pupinių žolių mitybos N, P, K ypatumai vegetacijos metu 71
3.3.3. Pupinių žolių ir žieminių kviečių, juos auginant dvinariame pasėlyje, antžeminės masės ir jose sukauptų maisto medžiagų priklausomumai vegetacijos metu 74
3.3.4. Maisto medžiagų kiekis sukauptas derliuje žieminių kviečių brandos metu 79
3.3.5. Pupinių žolių antžeminėje masėje sukauptas maisto medžiagų kiekis, žieminiams kviečiams pasiekus visišką brandą 84
3.3.6. Pupinių žolių ir žieminių kviečių, juos auginant dvinariame pasėlyje antžeminės masės ir jose sukauptų maisto medžiagų priklausomumas žieminiams kviečiams pasiekus visišką brandą 87
3.4. Dvinarių pasėlių kaip priešsėlių reikšmė vasariniams kviečiams 94
3.4.1. Dirvožemio mineralinio azoto kiekio kitimas pavasarį 94
3.4.2. Priešsėlių įtaka vasarinių kviečių grūdų derliui 97
3.5. Javų grandžių su skirtingai augintomis pupinėmis žolėmis produktyvumo palyginimas 101
3.5.1. Dirvožemio agrocheminių savybių kitimas 102
IŠVADOS 107
REKOMENDACIJOS 109
LITERATŪROS SĄRAŠAS 110
PASKELBTŲ PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS 120
MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA KOPIJOS 123
SUMMARY OF DOCTORAL DISSERTATION 164
RECOMENDATIONS 188
ABBREVIATIONS 189
TRUMPAI APIE AUTORIŲ 190
PADĖKA 191

SUTRUMPINIMAI

A – avižos

A – agresyvumas

AP – apyninės liucernos

$A_{ŽK}$ – žieminių kviečių agresyvumo rodiklis

BBCH – augalų vystymosi tarpsnis

BD – baltieji dobilai

BFN – biologiškai fiksuotas azotas

BP – bendras produktyvumas

BPi – bendras produktyvumo indeksas

C:N – anglies ir azoto santykis

$D_{PŽ}$ – pupinių žolių antžeminės masės derlius

$D_{ŽK}$ – žieminių kviečių antžeminės masės derlius

ED – egiptiniai dobilai

ES – Europos Sąjunga

JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja

K – kalis

K_A – avižų konkurencingumas

K_2O – judrusis kalis

KS – konkurencingumo santykis

M1 – mulčiuota vieną kartą

M2 – mulčiuota du kartus

N – azotas

$N\text{-}NO_3$ – nitratinis azotas

$N\text{-}NH_4$ – amoniakinis azotas

NPK – azotas, fosforas, kalis

N_{sum} – suminis azotas

P – fosforas

pH – humusas

P_2O_5 – judrusis fosforas

$SD_{ŽK}$ – žieminių kviečių santykinis derlius

SKN – standartinė klimato norma

SM – sausosios medžiagos

TGM – tūkstančio grūdų masė

TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja

VK – vasariniai kviečiai

ŽK – žieminiai kviečiai

ĮVADAS

Žemės ūkis Lietuvoje yra vienas svarbiausių šalies ekonomikos sektorių ir kaimo vietovių pajamų šaltinių. Be to, jis nemaža dalimi prisideda prie biologinės įvairovės mažėjimo, aplinkos taršos. Šiame sektoriuje kur kas sunkiau suvaldyti šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) išskyrimą, maisto medžiagų išplovimą ir nuplovimą, dirvožemio degradavimą ir kitus nepageidautinus reiškinius, nes žemės ūkio veikla apima itin sudėtingus biologinius ir ekologinius procesus.

Europos Sąjungoje didelis dėmesys skiriamas sintetinių, antropogeninių žaliavų naudojimo ir intensyvaus žemės ūkio poveikio aplinkai mažinimui (Wittwer ir kt., 2017). Europos Komisija parengė tvaraus ekonomikos augimo strategiją – žaliąjį kursą (angl. *European Green Deal*), kuriuo siekiama skatinti veiksmingą išteklių naudojimą pereinant prie švarios žiedinės ekonomikos, atkurti biologinę įvairovę ir sumažinti taršą. Vienas šio dokumento tikslų yra pasiekti, kad iki 2030 m. bent 25 proc. ES žemės ūkio paskirties žemės būtų naudojama ekologiniam ūkininkavimui (strategija „Nuo lauko iki stalo“). Ekologinės agrosistemos pripažįstamos kaip tvarios žemdirbystės sistemos, kurios mažina energetines sąnaudas, saugo aplinką ir vartotojus aprūpina saugiu bei kokybišku maistu (Europos Komisija, 2019). Lietuvoje ekologinių ūkių kūrimas yra sulėtėjęs, didžioji dalis šių ūkių dažniausiai sertifikuoja miglinius ir pupinius javus, atsisakė gyvulininkystės (Arlauskienė ir kt., 2015). Tokios ūkininkavimo sistemos ne visada grindžiamos pagrindiniais ekologiniais principais, galimai uždaru maisto medžiagų apytakos ratu ir energinių bei importuotų išteklių sąnaudų mažinimu. Dėl ekologinės sistemos išsiderinimo (žalingų organizmų išplitimo, maisto medžiagų cikliškumo sutrikdymo, dirvožemio kokybės prastėjimo) neretai mažėja auginamų augalų derlingumas ir ekologinio ūkio konkurencingumas (Abbott ir Manning, 2015; Arlauskiene ir kt., 2020).

Europos žaliajame kurse pabrėžiama ypatinga naujų technologijų, tvarių sprendimų ir proveržio inovacijų reikšmė. Augalų auginimo technologijose siūlomos diegti saugios aplinkai valdymo praktikos, t. y. sumažinto žemės dirbimo arba tiesioginės sėjos technologijos, daugiamečiai pasėliai, o vietoj juodojo pūdymo laukų naudoti dirvožemį dengiančius augalus, tarpinius ar dvinarius pasėlius (Anderson, 2015; Zikeli ir Gruber, 2017, Francaviglia ir kt., 2019).

Vienas iš sprendimų sujungiant kelis tvarius aplinkai technologinius elementus yra dvinariai pasėliai. Jų privalumai: didesnis bendras produktyvumas, geresnė ligų ir kenkėjų kontrolė, dirvožemio kokybės gerinimas, ekologinių paslaugų stiprinimas ir didesnis pasėlio ekonominis rentabilumas (Cooper ir kt, 2016; Bybee-Finley ir Ryan, 2018; Arlauskiene ir kt., 2020). Daug tyrimų atlikta pupines žoles auginant trumpą laikotarpį (vienus metus). Siekdami pupines žoles išlaikyti ilgesnį laiką tam neišskiriant lauko sėjomainoje ir sėti javus, ūkininkai susiduria su javų sėjos į pupines žoles, augalų konkurencingumo valdymo problemomis (Arlauskiene ir kt., 2020).

Pastaruoju metu į šalies rinką patenka vis daugiau įvairių tiesioginės/juostinės sėjos padargų, kurių pritaikymas dvinarių pupinių žolių ir miglinių javų auginimo technologijose dar mažai tirtas. Lietuvoje dar trūksta žinių apie augalų parinkimo dvinariams pasėliams principus, jų konkurencines savybes, techninius sprendimus įrengiant šiuos pasėlius ir mažinant augalų konkurencingumą, piktžolių plitimą.

Hipotezė: tikėtina, kad augalų įvairovę didinant vienanariais ir dvinariais pupinių žolių ir miglinių javų pasėliais, tobulinant jų auginimo technologijas, galima sumažinti tarprūšinę augalų konkurenciją dėl aplinkos išteklių, ilgesnį laiką išlaikyti pupines žoles ir stabilizuoti sėjomainos augalų produktyvumą.

Tikslas: nustatyti augalų konkurencijos, mitybos, piktžolėtumo ir derliaus formavimosi dėsningumus vienanariuose bei dvinariuose pupinių žolių ir miglinių javų ekologiniuose pasėliuose, taikant tradicinį bei juostinį žemės dirbimą ir sėją.

Uždaviniai:

1. Įvertinti avižų su daugiamečių ir vienamečių pupinių žolių įsėliu derliaus formavimosi dėsningumus ir produktyvumą.
2. Nustatyti azoto atpalaidavimo dėsningumus dirvožemyje, taikant juostinį žemės dirbimą ir žieminių kviečių sėją į pupines žoles, palyginti su vienanariais pasėliais ir tradiciniu žemės dirbimu.
3. Nustatyti augalų konkurencijos, mitybos N, P, K dėsningumus vienanariuose ir dvinariuose pupinių žolių bei žieminių kviečių pasėliuose, taikant juostinį žemės dirbimą ir sėją.
4. Įvertinti sėjomainos grandžių su pupinėmis žolėmis, jas auginant vienanariuose ir dvinariuose pasėliuose taikant tradicinį ir juostinį žemės dirbimą ir sėją, produktyvumą ir dirvožemio cheminių savybių kitimą.

Ginamieji teiginiai

1. Daugiametės ir vienametės pupinės žolės, įsėtos į avižas, antžeminę masę intensyviau formuoja avižoms išplaukėjus, todėl tai neturi neigiamos įtakos avižų produktyvumui ir maisto medžiagų kaupimuisi grūduose.

2. Pupinių žolių masės bei liekanų skaidymasis ir azoto atpalaidavimas priklauso nuo žemės dirbimo intensyvumo. Azoto atpalaidavimas ir žieminių kviečių azoto poreikis ne visuomet sutampa.

3. Vegetacijos metu dvinariuose pasėliuose tarp žieminių kviečių ir pupinių žolių vyksta konkurencija dėl maisto medžiagų.

4. Dvinariai pupinių žolių ir žieminių kviečių juostinio žemės dirbimo bei sėjos pasėliai padidina sėjomainos grandies bendrą produktyvumą, palyginti su vienanarių pasėlių ir tradicinio žemės dirbimo sėjomainos grandimi.

Mokslinio darbo naujumas

Tyrimas suteikia naujų žinių apie apyninių liucernų, egiptinių ir baltųjų dobilų savybes, jų auginimo su avižų antsėliu ir dvinariuose pasėliuose su žieminiais kviečiais ypatumus. Nustatyta vienanarių bei dvinarių pasėlių ir žemės dirbimo bei sėjos būdų sąveika: didinant žemės dirbimo intensyvumą, po pupinių žolių dirvožemio nitratinio azoto kiekis ne augalų vegetacijos metu didėjo, o taikant juostinį žemės dirbimą ir žieminių kviečių sėją į pupines žoles – mažėjo. Dirvožemyje didėjant mineralinio azoto kiekiui, didėjo žieminių kviečių antžeminė masė ir joje sukauptas maisto medžiagų kiekis. Dvinariuose pasėliuose dominavo žieminiai kviečiai; baltieji dobilai buvo atsparesni konkurenciniam spaudimui nei apyninės liucernos. Augalai dažniausiai konkuravo dėl azoto ir kalio. Dvinariuose pasėliuose tirtas žiemojančių ir nežiemojančių pupinių žolių mulčias. Nustatyti sėjomainos grandžių su dvinariais pasėliais produktyvumo pranašumai, palyginus su sėjomainos grandimi, kai auginti vienanariai pasėliai ir taikytas tradicinis žemės dirbimas.

Darbo praktinė reikšmė

Tyrimo rezultatai prisidės prie neariminės ekologinės žemdirbystės technologijų kūrimo ir tobulinimo. Žinios apie dvinarius pupinių žolių ir javų pasėlius, jų įtraukimas į sėjomainą padės didinti ūkio augalų įvairovę. Dvinariams pasėliams įrengti buvo pritaikytas juostinis žemės dirbimas ir sėja. Gauti tyrimo duomenys yra nauji ir vertinti intensyvios žemdirbystės sąlygomis tvaraus ūkininkavimo atžvilgiu.

Disertacinio darbo aprobavimas

Disertacijos tema paskelbtos 3 mokslinės publikacijos leidiniuose, referuojamuose ir turinčiuose citavimo indeksą duomenų bazėje *Clarivate Analytics Web of Science*, 4 publikacijos recenzuojamuose periodiniuose leidiniuose ir 1 kituose leidiniuose. Taip pat pagrindiniai disertacijos rezultatai pristatyti 10 užsienyje ir Lietuvoje vykusiose tarptautinėse konferencijose, iš jų parengti 8 žodiniai pranešimai.

Disertacijos turinys ir apimtis

Disertacija parašyta lietuvių kalba, apimtis – 192 puslapiai. Ją sudaro sutrumpinimų sąrašas, įvadas, literatūros analizė, tyrimo metodika ir sąlygos, tyrimo rezultatai ir aptarimas, išvados, literatūros sąrašas, paskelbtų publikacijų sąrašas, mokslinių publikacijų kopijos disertacijos tema, santrauka, duomenys apie autorę, padėka. Disertacijoje yra 20 lentelių, 45 paveikslai ir panaudoti 150 literatūros šaltiniai.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Ekologinės žemdirbystės tvarumas, poreikiai ir galimybės

Žmonijos susirūpinimas aplinkosauga, tvaraus vartojimo ir gamybos skatinimas, vis didėjanti švaraus ir saugaus maisto paklausa skatina ekologinio ūkininkavimo plėtrą (Arlauskiene ir kt., 2020). Ekologinė žemdirbystė yra viena iš geriausiai išsivysčiusių daugiafunkcinių žemės ūkio gamybos šakų, tačiau ekologinės žemdirbystės sąlygos nėra plačiai suprantamos kaip potencialas prisidėti prie maisto saugos, ekonominės plėtros ir aplinkos sveikatos gerovės išsaugojimo (Mallory ir kt., 2015). Viena iš pagrindinių ekologinės gamybos idėjų yra tai, kad pasėlių sistemos turėtų būti mažiau priklausomos nuo importo išteklių ir mažintų neigiamą poveikį aplinkai, palyginus su tradicine gamyba (Thorup-Kristensen ir kt., 2012). Dažnai aptariama ir tiriama, ar ekologiški gamybos būdai yra tinkamesni aplinkai (Birkhofer ir kt., 2008), ar pagaminama geresnės kokybės produkcija nei tradicinės žemdirbystės sąlygomis (Dangour ir kt., 2009).

Naujieji bendrosios žemės ūkio politikos (BŽŪP) tikslai yra sumažinti ES maisto sistemos aplinkosauginį pėdsaką bei poveikį klimatui ir padidinti jos atsparumą, užtikrinti apsirūpinimą maistu kintant klimatui ir nykstant biologinei įvairovei, siekiant konkurencingo tvarumo pagal principą „nuo ūkio iki stalo“ (Europos Komisija, 2020). Dauguma tyrėjų akcentuoja, kad ekologinės žemdirbystės sistemos pagrindą sudaro augalų įvairovė (pasėlių įvairinimas laike ir erdvėje) (Jensen ir kt., 2015; Mallory ir kt., 2015), dirvožemį gerinantys augalai (Kołota ir Adamczewska-Sowinska, 2013; Preissel ir kt., 2015) ir dirvos dirbimo sumažinimas (Zikeli, Gruber, 2017).

Esama situacija, poreikiai ir galimybės. Siekiant išlaikyti ilgalaikį agroekosistemų produktyvumą, nepaprastai svarbus yra ūkininkavimo sistemų įvairinimas (Casagrande ir kt. 2016). Visuose Lietuvos regionuose natūralios dirvožemio sąlygos yra palankios gyvulininkystei. Gyvulininkystės ūkiuose maisto medžiagų valdymas grindžiamas uždaru maisto medžiagų ciklu. Šiuo atžvilgiu ekologiniai gyvulininkystės ūkiai yra labiau pagrįsti ekologija ir tvarumu nei augalininkystės. Mažėjant ūkininkų susidomėjimu gyvulininkystės plėtra, pradėjo vyrauti komerciniai augalininkystės ūkiai. Tokiuose ūkiuose yra išteklių ir destrukcinės biotos disbalansas (Arlauskienė ir kt., 2015). Pirmasis prisideda prie produktyvumo didinimo per augalų apdulkinimą (Bybee-Finley ir Ryan, 2018), biologinę kontrolę (Vukicevich ir kt., 2016), augalų liekanų skaidymąsi (Cong ir kt., 2015), o antrasis lemia piktžolių, kenkėjų, ligų patogenų ir kitų kenksmingų organizmų atsiradimą/plitimą (Bybee-Finleyir Ryan, 2018). Migliorini ir kt. (2014)

teigia, kad tinkamų ekologinio ūkininkavimo metodų taikymas galėtų padidinti ariamojo ūkio tvarumą.

Augalininkystės ūkių pagrindą sudaro pupiniai ir migliniai javai su ribota kitų rūšių augalų įvairove (Arlauskienė ir kt., 2015). Ūkyje vyraujant migliniams javams, plinta ligos, kenkėjai, didėja pasėlių piktžolėtumas (Carr ir kt., 2013; Zikeli ir Gruber, 2017). Be to, kasmet į dirvožemį patenka ribotos cheminės sudėties augalų liekanos, todėl keičiasi jo mikroorganizmų sudėtis ir veiklos intensyvumas, biocheminiai procesai, sąlygojantys organinių medžiagų mineralizacijos procesų intensyvumą ir dirvožemio degradavimą, šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją ir kitus nepageidautinus reiškinius. Dėl padidėjusio javų kiekio sėjomainoje daugelyje ES šalių, pupinių javų auginimas ir jų reikšmė sėjomainoje gerokai sumenko (Voisin ir kt., 2014; Magrini ir kt., 2016). Tai yra viešosios politikos ir rinkos kitimo pasekmė, skatinanti miglinių javų auginimą. Kaip ir kitose ES šalyse, Lietuvoje ekologiniuose ūkiuose pastebima tradicinių ūkių praktika, tik nenaudojamos sintetinės trąšos ir augalų apsaugos produktai (Casagrande ir kt., 2016). Daugelis mokslininkų nurodo, kad reikia kaupti ir sisteminti žinias, persiorientuoti į ekosistemas, jų paslaugų atkūrimą ir suaktyvinimą (Jensen ir kt., 2015), tinkamai taikant ekologinės žemdirbystės metodus didinti tvarios aplinkos išteklius (Magrini ir kt., 2016).

Augalų įvairovė ir jų teikiama nauda. Žemės ūkio augalai, jų įvairovė prisideda prie įvairių strategijų įgyvendinimo: ekosistemų apsaugos ir atkūrimo, tvaraus dirvožemio ir vandens išteklių naudojimo, agrarinės miškininkystės, ūkininkavimo sistemų įvairinimo (Arlauskienė ir kt., 2015). Biologinė įvairovė (antžeminė ir požeminė) teikia ekologinę naudą: gamina maisto medžiagas ir jomis aprūpina augalus (Köpke ir kt., 2015), dirvožemyje transformuoja organinius ir mineralinius junginius, reguliuoja mikroklimatą ir vietos hidrologinius procesus, slopina nepageidaujamų organizmų veiklą, detoksikuoja kenksmingas chemines medžiagas ir kt. (Altieri, 1999). Tinkamai pasirinkta ir išdėstyta (laike ir erdvėje) augalų įvairovė kartu su dirvožemio biota gali prisidėti prie jo derlingumo (gyvybingumo) palaikymo (Arlauskienė ir kt., 2015), kovoti su kenkėjais (Šarūnaitė ir kt., 2013), išlaikyti augalų produktyvumą (Brooker ir kt., 2015). Kuo daugiau ir įvairesnių augalų liekanų bei šaknų išskyrų pateks į dirvą, tuo bus didesnė ir įvairesnė dirvožemio biota ir jos teikiama nauda. Dirvožemio makro- ir mikroorganizmų veiklos intensyvinimas lemia ne tik į dirvą patekusių augalų liekanų skaidymąsi ir sintezę, bet ir sunkiai pasisavinamų mitybos elementų atpalaidavimą iš dirvožemio uolienų. Auginamų augalų šaknų cheminė sudėtis, masė, prasiskverbimo gylis lemia biotos įvairovę ir veiklą, naudojamas maisto medžiagas, augalų mitybos sluoksnį (Kołota ir Adamczewska-Sowińska, 2013; Köpke ir kt., 2015). Augalų įvairovė laike yra vykdoma per sėjomainą ir augalų sekas, erdvėje – auginant įsėlio arba posėlio augalus, daugiametes pupines žoles žaliajai trąšai, dvinarius / daugianarius pasėlius,

augalų mišinius arba lauko pakraščiuose įrengiant žydinčių augalų, daugiamečių želdinių juostas ir t. t.

Augalų įvairovę didinant ne tik laike, bet ir erdvėje, sudaromos sąlygos ekosistemų paslaugoms atkurti / intensyvinti, valdomi tokie globalūs nepageidautini reiškiniai kaip biologinės įvairovės mažėjimas, šiltnamio efektą sukeliančių dujų išsiskyrimas ir kt. Šių pasėlių auginimas grindžiamas agronomijos, augalų fiziologijos ir ekologijos žinių visuma (Brooker ir kt., 2015).

Žemės dirbimo intensyvumo mažinimas. Tradicinis žemės dirbimas naudojant gilųjį arimą tampa vis mažiau populiarus, o supaprastinto dirbimo / tiesioginės sėjos plotai didėja kasmet – pasaulyje vidutiniškai septyniais milijonais hektarų (Derpsch ir kt., 2014). Palyginus su tradiciniu žemės dirbimu, supaprastinto dirbimo privalumai yra sumažėjusios kuro bei darbo sąnaudos ir dirvožemio organizmų trikdymas ir dirvožemio derlingumo išsaugojimas (Büchia ir kt., 2018). Taikant supaprastintą žemės dirbimą arba tiesioginę sėją, pagerėja dirvožemio savybės: struktūra ir jos patvarumas, biologinis aktyvumas ir maisto medžiagų ciklišKumas, padidėja vandens sulaikymo dirvožemyje pajėgumai ir panaudojimo efektyvumas (Blanco-Canqui ir Ruis, 2018; He ir kt., 2019). Supaprastintas žemės dirbimas ne tik taupo darbo jėgą, bet ir dirvožemį apsaugo nuo erozijos arba organinių medžiagų praradimo viršutiniame sluoksnyje (Nunes ir kt., 2018). Apibendrinę daugelio tyrimų duomenis Pittelkow ir kt. (2015) nustatė, kad supaprastintas žemės dirbimas augalų derlių sumažina vidutiniškai 12 % (nenaudojant trąšų). Derliaus sumažėjimas priklauso nuo meteorologinių sąlygų, augalų rūšies, jų liekanų tvarkymo praktikos. Augalų derlius didėja tik ilgai taikant nearimį žemės dirbimą (Pittelkow ir kt., 2015; Weyers ir kt., 2018). Pereinamasis laikotarpis gali trukti nuo keleto iki dešimties ir daugiau metų (Nunes ir kt., 2018).

Ekologiniuose ūkiuose taikant supaprastintą žemės dirbimą, neretai kyla ne tik derliaus mažėjimo, bet ir piktžolių plitimo (Anderson, 2015; Peigné ir kt., 2016), maisto medžiagų ciklišKumo problemų (Grosse ir kt., 2019; Ginakes ir kt., 2020). Sumažinus vieną technologinę grandį (šiuo atveju žemės dirbimą), reikia padidinti kitą (augalų liekanų kiekį) (Grosse ir kt., 2019). Tokiu būdu dalis žemės dirbimo funkcijų (armens ir poarmenio purenimas, dirvos paviršiaus padengimas bei apsauga ir kt.) bus perkelta augalams. Todėl labai svarbus yra augalų rūšių su skirtingomis morfologinėmis ir fiziologinėmis savybėmis parinkimas (Wyngaarden ir kt., 2015).

Kitas svarbus aspektas yra dirvožemio organinės medžiagos kiekio didinimas (Ranaivoson ir kt., 2017). Arimas skatina įterptų augalų liekanų mineralizaciją, mineralinio N atpalaidavimą, o supaprastintas žemės dirbimas didina N imobilizavimą (Francaviglia ir kt., 2019). Augalų liekanų ir žaliųjų trąšų įterpimas į dirvą aktyvina vėlesnę fizinę bei cheminę organinės anglies apsaugą (Garcia-Franco ir kt., 2015). Weyers ir kt. (2020) teigia, kad ilgą laiką taikant tiesioginę sėją ir dirvoje kaupiantis įvairaus judrumo organinėms medžiagoms, didėja dirvožemio geba tiekti

azotą generuojant vidinius išteklius; ilguoju laikotarpiu tai prisideda prie augalų mitybos azotu gerinimo. Taigi, ekologiniuose ūkiuose supaprastinto žemės dirbimo / tiesioginės sėjos sėkmė priklausys nuo sėjomainos, daugiamečių žolių, tarpinių pasėlių, įsėlių auginimo, žaliųjų ir kt. organinių trąšų, augalų gyvo ir nušalusio mulčio naudojimo (Pittelkow ir kt., 2015; Blanco-Canqui ir Ruis, 2018; Nunes ir kt., 2018). Kai kurie šaltiniai teigia, kad minimalaus žemės dirbimo nauda yra labai pervertinama (Vanden Bygaart, 2016).

1.2. Miglinių pasėlių įvairinimas pupiniais augalais

Pagrindiniai teiginiai. Pupiniai augalai yra laikomi pagrindiniu daugelio mišinių komponentu dėl jų gebos fiksuoti atmosferos azotą (Döring ir kt., 2013). Miglinių pasėlių įvairinimas pupiniais augalais dešimtmečiais propaguojamas, siekiant pagerinti tvarų azoto išteklių naudojimą ir pasėlių sistemos atsparumą įvairiems aplinkos veiksniams (Gaudin ir kt., 2013; Rani ir kt., 2019). Pupinių augalų įtaka migliniams pasėliams yra tiesiogiai susijusi su dirvožemio gebėjimu funkcionuoti, t. y. nuo vandens iki maisto medžiagų tiekimo, agroekologinių funkcijų intensyvinimo (Gaudin ir kt., 2013; Šarūnaitė ir kt., 2013). Tokių pasėlių nauda pasireiškia per skirtingą augalų rūšių konkurenciją (geresnė nišų diferencijacija, resursų pasidalijimas, piktžolių kontrolė), įvairovę (ligų ir kenkėjų kontrolė), pagalbą (fizinė atrama, azoto ir alelochemikalų išskyrimas, rizosferos modifikacija), asocijuotą įvairovę (natūralių apdulkintojų buveinės, augalų liekanų ir dirvožemio mikroorganizmų įvairovė) (Thorup-Kristensen ir Kinkegaard, 2016). Bybee-Finley ir Ryan (2018) teigia, kad viename pasėlyje auginant kelių skirtingų rūšių augalus, jie pasidalija išteklius, palengvėja jų įsisavinimas. Išteklių pasidalijimas apibūdinamas kaip visapusiškas augalų turimų išteklių panaudojimas, kuris gali vykti tarp skirtingų rūšių augalų, atsižvelgiant į jų šaknų vystymosi gylio bei pločio ir vegetacijos ypatumus, taip sumažinant konkurenciją ir padidinant išteklių naudojimą (Litrico ir Violle, 2015).

Konkurencija. Daugiarūšiame pasėlyje tarp augalų nuolat vyksta konkurencija (Wanic ir Mysliwiec, 2014). Tai yra vienas iš daugelio ekologinių procesų, formuojančių augalų bendrijos sudėtį, kitimo dinamiką ir produktyvumą (Elsalahy ir kt., 2019). Augalai dažniausiai konkuruoja dėl dirvožemio išteklių ir šviesos (Litrico ir Violle, 2015). Tarp skirtingų rūšių augalų gali vykti ir alelopatinė sąveika. Ji turi įtakos augalų tankumui, vystymuisi, produktyvumui ir derliui (Wanic ir kt., 2016). Augalų konkurencija pasėlyje gali būti reguliuojama tinkamai parinkus augalų rūšis (Amosse ir kt., 2014), optimalią sėklos normą, sėjos laiką ir metodus (Murrell ir kt., 2017; De Notaris ir kt., 2019). Tradiciniuose ūkiuose javų konkurencines savybes galima sustiprinti tręšiant azoto trąšomis (Gaudin ir kt., 2014).

Nauda. Vienas svarbiausių ir dažniausiai nurodomų pasėlių, sudarytų iš kelių skirtingų fenologinių rūšių augalų, pranašumų yra padidėjęs bendras augalų produktyvumas (Wanic ir kt., 2016; Bybee-Finley ir Ryan, 2018). Nustatyta, kad toks pasėlis sumažina augalų derliaus praradimo riziką, o ilgainiui išlaiko jo stabilumą, (Raseduzzaman ir Jensen, 2017). Daugiarūšiai pasėliai sumažina piktžolių, kenkėjų ir ligų riziką, o tai iš dalies paaiškina jų derliaus padidėjimą (Bybee-Finley ir Ryan, 2018). Dviejų ir daugiau rūšių augalai augdami kartu gali efektyviau panaudoti esamus išteklius (pvz., šviesos, vandens, maisto medžiagų) nei augdami monopasėlyje; taip yra sumažinamas piktžolėms pasiekiamų išteklių kiekis (Bybee-Finley ir kt., 2016). Nustatyta, kad didesnė pasėlio augalų įvairovė pagerina dirvožemio derlingumą ir sumažina jo taršą, azoto nuostolius (Elsalahy ir kt., 2019), padidina biotos įvairovę, pagerina temperatūros ir drėgmės režimą (Neugschwandtner ir Kaul, 2015), todėl augalai gali efektyviau pasisavinti maisto medžiagas (Vukicevich ir kt., 2016).

Dažniausiai taikoma praktika. Praktikoje dažniausiai yra auginami daugiarūšiai pasėliai, kurių vegetacijos ir brandos laikotarpiai sutampa (pupinių bei miglinių javų mišiniai) ir migliniai javai su pupinių žolių įsėliu, kurių vegetacijos laikotarpiai sutampa tik iš dalies. Augalus auginant mišiniuose gali būti taikomas pakrikas arba juostinis sėjos būdai (Bybee-Finley ir Ryan, 2018). Nustatyta, kad mišinio pupinių ir miglinių javų konkurencingumas bei produktyvumas priklauso nuo tinkamo augalų rūšių tankumo ir proporcijų parinkimo (Elsalahy ir kt., 2019).

Mažiau tyrinėtas ir pastaruoju metu sulaukęs daugiau dėmesio yra juostinis augalų mišinių auginimas. Tai toks auginimo būdas, kai dviejų ar daugiau rūšių augalai vienu metu yra auginami juostomis gretimose eilėse, o jų vegetacijos laikotarpiai sutampa (Bybee-Finley ir Ryan, 2018). Cong ir kt. (2015) nustatė, kad dvinarėse sistemose augalų šaknų biomasė padidėjo 23 %, palyginus su monokultūra.

Miglinius javus auginant su įsėliu, pupinės žolės intensyviausiai auga vegetacijos antroje pusėje ir po javų derliaus nuėmimo. Nustatyta, kad po javų derliaus nuėmimo pupinių žolių masė gali padidėti iki 6 kartų (Finnan ir kt., 2015). Didelės įtakos pupinių žolių augimo intensyvumui ir konkurencijai turi meteorologinės sąlygos, sėjos laikas, abiejų augalų sėklos normos, antsėlio konkurencingumas, azoto trąšų naudojimas (Rani ir kt., 2019). Pupines žoles auginant trumpą laiką (vienus metus), jų naudą lemia antžeminės masės derlius, kuris vegetacijos pabaigoje turi būti ne mažesnis kaip 2 t ha^{-1} (Finnan ir kt., 2015). Tyrimų duomenys rodo, kad pupinių žolių intensyvus vystymasis vegetacijos pirmoje pusėje gali sumažinti mažai konkurencingų javų derlių (Wanic ir kt., 2016).

Vienas iš azoto nuostolių dirvožemyje mažinimo būdų yra pagrindinių augalų auginimas kartu su dengiančiais žemės paviršių. Taikant šį auginimo būdą galima sumažinti vandens pratekėjimą ir padidinti azoto koncentraciją dirvožemyje ypač sekliai įsišaknijusiems pasėliams

(Xie ir kt., 2018), sumažinti piktžolių dygimą ir plitimą, dirvos paviršių apsaugoti nuo tiesioginių saulės spindulių ir stipraus lietaus poveikio (Wezel ir kt., 2014).

Lietuvoje nemažai tyrimų atlikta su žirnių ir miglinių javų mišiniais (Šarūnaitė ir kt., 2013), dobilų įsėliu javuose (Arlauskiene ir kt., 2020). Aleksandro Stulginskio universitete tyrimai atlikti su kukurūzais ir tarpueiliuose auginamais įvairių rūšių augalais (Adamavičienė ir kt., 2012).

1.3. Pupinių žolių ir miglinių javų suderinamumas viename pasėlyje

Dvinariuose pasėliuose pirmenybė teikiama daugiametėms pupinėms žolėms (Gaudin ir kt., 2014). Po jų dirvožemis yra struktūringesnis ir biologiškai aktyvesnis, turi daugiau organinių medžiagų ir azoto (Kadžiulienė ir kt., 2013; Finnan ir kt., 2015; Thorup-Kristensen ir Kinkegaard, 2016). Šios žolės tinka dirvožemiui gerinti, jų rūšis parenkant pagal augimo trukmę ir intensyvumą, biologinio azoto fiksavimo intensyvumą, šaknų prasiskverbimo gylį, sąveiką su dirvožemio biota ir kt. Taigi, yra svarbu surasti augalų derinius, kurie papildytų vienas kitą arba veiktų geriau nei auginami atskirai.

Nustatyta, kad trumpaamžės žolės, pavyzdžiui, persiniai dobilai (*Trifolium resupinatum* L.) ir egiptiniai dobilai (*Trifolium alexandrinum* L.), nėra efektyvūs azoto tiekėjai (Kaur ir kt., 2017; Zikeli ir Gruber, 2017). Šaltuoju metu jie nušąla, todėl azoto kiekis dirvožemyje gali pakisti (Hiltbrunner ir Liedgens, 2008). Dvinarius pasėlius sudarant iš tos pačios šeimos augalų (pvz., pupos, žirniai, vikiai ir pupinės žolės) padidėja ligų plitimas (Kołota ir Adamczewska-Sowińska, 2013; Zikeli ir Gruber, 2017).

Daugiausia yra tyrinėti miglinių javų ir baltųjų dobilų (*Trifolium repens* L.) (Hiltbrunner ir Liedgens, 2008) bei miglinių javų ir gulsčiastiebių dobilų (*Trifolium subterraneum* L.) (Kołota ir Adamczewska-Sowińska, 2013) dvinariai pasėliai. Mažiausiu konkurencingumu pasižymintys gulsčiastiebiai dobilai Lietuvoje nėra tirti, jų tyrimų daugiausia atlikta šiltesnio klimato šalyse. Vokiečių tyrėjų duomenimis, dėl nedidelio konkurencingumo apyninės liucernos gali tikti dvinariams pasėliams (Köpke ir kt., 2015).

Vieni perspektyviausių pupinių žolių dvinariams pasėliams išlieka baltieji dobilai (Louarn ir kt., 2015). Nustatyta, kad jie sukaupia palyginti didelį kiekį biologiškai fiksuoto azoto (BFN) (Thorsted ir kt., 2005), dalis azoto yra šliaužiančiuose stiebuose (Kołota ir Adamczewska-Sowińska, 2013). Dėl lėto augimo ir šliaužiančių stiebų šie augalai yra atsparūs mechaniniam pažeidimui, puikiai padengia dirvos paviršių ir tinka kaip mulčias (Kołota ir Adamczewska-Sowińska, 2013). Pupinių žolių rūšys skiriasi ne tik BFN kiekiu, bet ir požeminės bei antžeminės masės skaidymosi intensyvumu, kurį lemia C:N (Finney ir kt., 2016). Xie ir kt. (2018) nustatė,

kad genint baltųjų dobilų šaknis ir dirvožemyje esant pakankamam kiekiui azoto, baltieji dobilai neslopina pagrindinių augalų augimo.

Daugelio autorių nuomone, svarbi pupinių žolių savybė yra atsparumas vandens trūkumui (Leary ir DeFrank, 2000; Winiarska, 2005). Egiptiniai dobilai gali atlaikyti ilgesnes sausras (Ismail ir Hassanen, 2019).

Derinant augalų rūšis svarbus veiksnys yra augalų šaknų skirtumai. Augalai, turintys liemeninę ir kuokštinę šaknų sistemas, maisto medžiagas ir vandenį ima iš skirtingų dirvožemio sluoksnių (Cardinael ir kt., 2015). Taigi, viename pasėlyje auginant skirtingų rūšių augalus, jų šaknys užima didesnį dirvožemio tūrį. Nustatyta, kad giliai prasiskverbiančias šaknis turi mėlynžiedės liucernos, raudonieji dobilai, egiptiniai dobilai, mažiau – migliniai javai, baltieji dobilai, apyninės liucernos. Liucernų šaknys gali prasiskverbti giliai į podirvį (iki 1–2 metrų) ir į dirvos paviršių pakelti maisto medžiagas. Taip armenyje daugėja fosforo, kalio ir kitų maisto medžiagų (Kautz ir kt., 2013). Augalai su giliai į poarmenį prasiskverbiančiomis šaknimis sumažina skirtingų rūšių augalų konkurenciją dėl dirvožemio išteklių (Hassan ir kt., 2019).

Tačiau tarprūšinė konkurencija dėl maisto medžiagų, vandens ir šviesos gali sumažinti pasėlių derlingumą. Augalų konkurencija dėl azoto gali būti intensyvi, kai dirvožemis yra vienintelis jo šaltinis. Be to, vienos rūšies azoto įsisavinimas gali būti slopinamas priklausomai nuo šaknų pasiskirstymo sumažėjimo, kurį sukelia konkurencija dėl vietos dirvožemyje (Andersen ir kt., 2007). Teigiama, kad dvinariame pasėlyje atmosferos N_2 fiksuojantys pupiniai augalai yra mažiau konkurencingi su migliniais dėl dirvožemio azoto (Jensen ir kt., 2015). Pagrindinė dvinarių pasėlių teigiama savybė yra ta, kad jie turi didesnį azoto panaudojimo efektyvumą, palyginus su monokultūrų augalais (Andersen ir kt., 2007). Po pupinių auginimo azotas su augalų liekanomis patenka į dirvožemį ir yra sėjomainos augalų azoto šaltinis (Espinoza ir kt., 2015). Espinoza ir kt. (2015) nustatė, kad taikant tradicinę auginimo technologiją pupiniai augalai fiksuoja didelį kiekį N_2, ir po jų auginimo buvo gautas 70–110 % didesnis kviečių derlius. Pupiniai augalai javų derlių gali padidinti 40–80 %, o tai gali sudaryti papildomus 450–1000 kg ha^{-1} grūdų derliaus, priklausomai nuo dirvožemio sudėties ir meteorologinių sąlygų (Vrignon-Brenas ir kt., 2018).

Daugelis iki šiol atliktų tyrimų remiasi mityba azotu ir jo apytaka dvinarių pasėlių sistemose, tačiau trūksta tyrimų siekiant išaiškinti augalų mitybos azotu, fosforu ir kaliu mechanizmus bei dėsningumus (Thorup-Kristensen ir kt., 2012; Kautz ir kt., 2013; Jensen ir kt., 2015; Zikeli ir Gruber, 2017). Reikiamas P ir K santykis dirvožemyje lemia derliaus padidėjimą (Kautz ir kt., 2013). Be to, dvinario pasėlio produktyvumą labiausiai lemia dirvožemio tipas, granuliometrinė sudėtis (Dane ir Laugale, 2014), vandens ir dujų srautai, organinė anglis (Abbott ir Manning, 2015), cheminiai veiksniai (pH), klimatas.

1.4. Pupinių žolių ir miglinių javų dvinarių pasėlių tyrimai pasaulyje ir Lietuvoje

Pasėlių įvairovės didinimas ir pupinių žolių auginimas vis labiau pripažįstamas kaip esminis tvarios agroekologinės plėtros elementas (Bedoussac ir kt., 2015). Tai yra vienas pagrindinių azoto šaltinių ekologinės augalininkystės ūkiuose. Nemažai tyrimų yra atlikta pupines žoles auginant trumpą laikotarpį, kaip įsėlį javuose (Gaudin ir kt., 2013; Gecaitė ir kt., 2021). Bandydami ilgiau išlaikyti pupines žoles (tam neskiriant atskiro lauko), ūkininkai susiduria su javų sėjos į pupines žoles, augalų konkurencingumo valdymo problemomis.

Tyrėjai Vokietijoje (Tosti ir kt., 2012; Köpke ir kt., 2015), Švedijoje (Jensen ir kt., 2015), Danijoje (Thorsted ir kt., 2005; Thorup-Kristensen ir kt., 2012), Lenkijoje (Kołota ir Adamczewska-Sowińska, 2013), Airijoje (Finnan ir kt., 2015) tiria ir tobulina dvinarių pupinių žolių bei miglinių javų technologijas.

Daugiausia dėmesio skiriama BFN. Dvinarėse agrofitocenozėse maisto medžiagų perdavimas iš augalo donoro augalui recipientui vyksta tiesiogiai mineralizuojantis šaknims, šaknų išskyroms, augalų nuokritoms ir dėl mikorizės (Båth ir kt., 2008). Augdami pupiniai augalai į aplinką išskiria nedaug azoto (Thorup-Kristensen ir kt., 2012; Hauggaard-Nielsen ir kt., 2008). Daugelio tyrimų kryptis yra iš dalies apriboti pupinių konkurencingumą, padidinti maisto medžiagų perdavimą augalui recipientui (Andersen ir kt., 2007; Carof ir kt., 2007; Amosse ir kt., 2013; Dane ir Laugale, 2014; Lynch, 2015; Finnan ir kt., 2015). Tiriama, kaip dvinariai pasėliai veikia piktžolių ir ligų plitimą (Tooker ir Frank, 2012; Carr ir kt., 2013; Wezel ir kt., 2014). Tiriami įvairūs technologiniai elementai: žemės dirbimo ir sėjos supaprastinimas, sėjos būdai ir jų deriniai (Nunes ir kt., 2018; Carr ir kt., 2013; Canali ir kt., 2015; Zikeli, Gruber, 2017), veislių parinkimas ir suderinamumas (Kołota ir Adamczewska-Sowińska, 2013), sėklos normos (Hilbunner ir Liedgens, 2008). Siekiant padidinti BFN perdavimą, tiriamas pupinių augalų biomasės mulčiavimo laikas ir dažnumas (Dahlin ir kt., 2011; Pietsch ir kt., 2009). Tirtas piktžolių plitimas (Amosse ir kt., 2013),Tyrimų duomenimis, žieminių javų grūdų derlius dažniausiai buvo mažesnis 10–37 % (Neumann ir kt., 2005; Thorup-Kristensen ir kt., 2012) o grūdų kokybė geresnė (Becker ir Leithold, 2008) nei tradiciškai augintų javų.

Lietuvoje pirmieji dvinarių pasėlių tyrimai buvo atlikti Lietuvos žemdirbystės institute (Šarūnaitė ir kt., 2008). Buvo tirti dvinariai baltųjų dobilų bei žieminių kviečių, miežių bei raudonųjų dobilų ir žieminių kviečių bei miežių pasėliai ekologinio ūkininkavimo sąlygomis. Nustatyta, kad tokia technologija lemia mažesnius azoto nuostolius, tačiau yra ir trūkumas – didelė tarprūšinė konkurencija.

1.5. Juostinis žemės dirbimas ir jo taikymo galimybės dvinarių augalų auginimo technologijose

Ekologiniuose ūkiuose dėl neigiamo poveikio pasėlių derliui ir piktžolių plitimui dažniausiai taikomos ariminės žemės dirbimo technologijos, vengiama supaprastinto žemės dirbimo arba tiesioginės sėjos. Iki šiol pupinių žolių azotas buvo naudojamas tik po pupinių žolių aparimo. Tačiau tai paskatina augalų masės mineralizaciją ir azoto perteklių dirvoje ne augalų vegetacijos metu (Carr ir kt., 2013). Užsienio šalyse atlikti tyrimai rodo, kad supaprastintas žemės dirbimas sukuria santykinai stabilias aplinkos sąlygas įvairesnėms skaidytojų bendrijoms, lėtesnei maisto medžiagų apytakai, jų išplovimui arba nuotėkiui (Peigné ir kt., 2016), sprendžia anglies izoliavimo ir N_2O emisijos, taip pat maisto medžiagų tiekimo problemas (Mäder ir Berner, 2012; Carr ir kt., 2013). Tyrėjų teigimu, dirvožemio derlingumui gali turėti įtakos augalų įvairovės sėjomainoje didinimas kartu supaprastinant žemės dirbimą, ypač taikant tiesioginę sėją (Zikeli ir Gruber, 2017).

Juostinis žemės dirbimas išsivystė iš tiesioginės sėjos technologijos bandant išspręsti pagrindines jos problemas: pašalinti derliaus augalines liekanas, kad jos netrukdytų sėklų įterpimui į neįdirbtą dirvą, sušildyti dirvos paviršių, į kurį įterpiamos sėklos ir t. t. (Šarauskis ir kt., 2015). Juostinis žemės dirbimas jungia du žemės dirbimo būdus – tradicinį bei nearimį – ir jų naudą (Al-Kaisi ir Licht, 2004). Jis paruošia dvi skirtingų savybių ir funkcijų dirvožemio zonas (Pöhlitz ir kt., 2018). Sėjos zonoje, kur dirva yra purenama, susidaro palankios sąlygos sėkloms dygti ir augalams augti (Lal ir kt., 2007), o nedirbamoje zonoje padeda atkurti dirvožemio derlingumą, nuslopinti piktžoles ir sumažinti eroziją (Ranaivoson ir kt., 2017). Juostinis žemės dirbimas leidžia sukurti sėklos guolį, kuris palaiko didesnę dirvožemio drėgmę bei temperatūrą geram šaknų įsiskverbimui ir augalų augimui (Lekavičienė ir kt., 2019). Dengiamųjų žemės paviršiaus augalų ir gyvo mulčio derinimas su juostiniu žemės dirbimu augalininkystėje gali duoti daug naudos. Gyvi mulčiai yra daugiafunkciai komponentai, kurie gali būti naudojami sprendžiant pagrindinius ariamosios žemdirbystės sektoriaus iššūkius, pavyzdžiui, erozijos kontrolę, paviršinio vandens taršos mažinimą, nepanaudoto dirvožemio azoto perdirbimą, dirvožemio našumo, struktūros bei sveikatos mažėjimą ir piktžolių kontrolę (Hartwig ir Ammon, 2002).

Juostinis žemės dirbimas yra vienas pagrindinių dirvožemio išsaugojimo elementų (Jaskulska ir Jaskulski, 2020). Mažesnio intensyvumo žemės dirbimas turi mažesnį neigiamą poveikį dirvožemio savybėms (jo sluoksnių erozijai ir sutankėjimui), dėl to išsaugoma natūrali vandens infiltracija ir geresnės pasėlių šaknų prasiskverbimo sąlygos (Weyers ir kt., 2018). Palyginus su tradiciniu, juostinis žemės dirbimas sumažina energines ir darbo sąnaudas (Haramoto ir Brainard, 2012). Palyginus su tiesiogine sėja, juostinis žemės dirbimas ir sėja

supurena sėklos guolio zoną; taip sudaromos geresnės jų dygimo sąlygos, todėl sėjos laiką galima šiek tiek paankstinti, o tai itin aktualu sunkesniuose dirvožemiuose (Vaitauskienė ir kt., 2015).

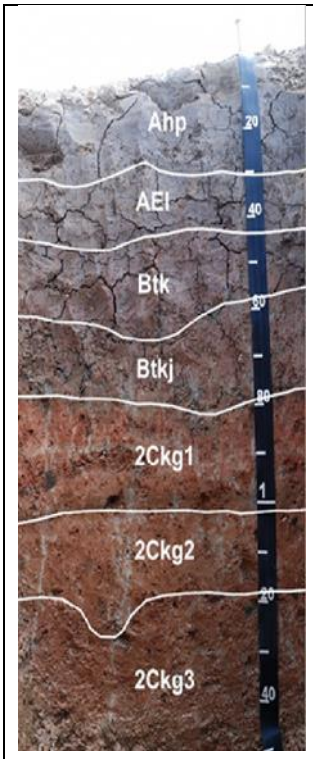
Lyginant su tradiciniu, juostinis žemės dirbimas leidžia sutaupyti, nes įdirbamas ne visas lauko plotas, o tik jo dalis (Šarauskis ir kt., 2015). Al-Kaisi ir Licht (2004) atliktų tyrimų duomenimis, taikant juostinį žemės dirbimą per trejus metus dirvožemio organinės anglies kiekis padidėjo 11,4 %; nustatytas ir dirvožemio organinio azoto kiekio padidėjimas, palyginus su ariminiu žemės dirbimu.

Remiantis literatūros duomenimis, dvinarių augalų tyrimai turėtų būti sutelkti į atitinkamų augalų derliaus valdymo praktikos plėtrą, kad būtų išvengta derliaus nuostolių (Šarūnaitė ir kt., 2013; Radicetti ir kt., 2018). Taikant juostinę žemės dirbimo technologiją galima paskatinti maisto medžiagų cikliškumą, padidinti jų pasiekiamumą iš įvairių dirvožemio sluoksnių ir pagerinti dirvožemio derlingumą. Juostinio žemės dirbimo ir sėjos technologijos gali prisidėti prie biologinės įvairovės didinimo ir ekosistemos funkcijų atkūrimo bei intensyvinimo.

2. TYRIMO SĄLYGOS IR METODAI

2.1. Tyrimo objektas

Pupinių žolių ir miglinių javų vienanariai ir dvinariai pasėliai. Du analogiški lauko eksperimentai įrengti pamečiui 2018–2020 m. (I eksperimentas) bei 2019–2021 m. (II eksperimentas) ir vykdyti Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Joniškėlio bandymų stotyje, kuri įsikūrusi Vidurio Lietuvos žemumos šiaurinėje dalyje. Lauko eksperimentai vykdyti drenuotame giliau karbonatingame giliau glėjiškame rudžemyje (*Endocalcari Endohypogleyic Cambisol*), kurio dirvodarinė uoliena – limnoglacialinis molis (2.1 paveikslas).



Ahp – limnoglacialinės kilmės nuogulose susiformavęs akumuliacinis humusinis ariamasis horizontas;
AEl – limnoglacilainės kilmės nuogulose susiformavęs akumuliacinis humusinis horizontas su silpnai išreikštomis eliuvinio horizonto savybėmis – išmolėjimu;
Btk – limnoglacialinės kilmės nuogulose susiformavęs iliuvinis moliuotasis karbonatingasis horizontas;
Btkg – limnoglacialinės kilmės nuogulose iliuvinis moliuotasis karbonatingas horizontas su glėjiškumo požymiais;
2C1kg – kitos kilmės (moreninės kilmės) nuogulose susidaręs karbonatingas su paglėjėjimo požymiais dirvodarinės uolienos horizontas;
2C2kg – moreninės kilmės nuogulose susidaręs karbonatingas su paglėjėjimo požymiais smėlingesnis dirvodarinės uolienos horizontas;
2C3kg – moreninės kilmės nuogulose susidaręs karbonatingas su ryškiais glėjiškumo požymiais molingesnis dirvodarinės uolienos horizontas;

2.1 paveikslas. Giliau karbonatingo giliau glėjiško rudžemio profilio aprašymas

Figure 2.1. *Description of the profile of the deeper carbonated deeper gleyic loam*

Pagal granuliometrinę sudėtį dirvožemis – sunkus priemolis ant dulkiškojo molio su giliau esančiu smėlingu priemoliu. Šių dirvožemių armens chemines, fizikines ir mechanines savybes lemia didelis molio dalelių kiekis (< 0,002 mm), kuris yra apie 27 %, o poarmenyje – daugiau kaip 50 % (Mokslinės konferencijos–ekspedicijos vadovas „Šiaurės Lietuvos žemumų dirvožemio dangos ypatumai“, 2018) Dirvožemio 0–25 ir 25–50 cm sluoksnių agrocheminės savybės pateiktos 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Eksperimentų dirvožemio cheminių savybių charakteristika

Table 2.1. *Characteristics of experimental soil chemical properties*

	pH		P_2O_5 mg kg^{-1}		K_2O mg kg^{-1}	
	0–25 cm	25–50 cm	0–25 cm	25–50 cm	0–25 cm	25–50 cm
I eksperimentas / *Eksperiment I*	6,09	7,18	146	157	276	207
II eksperimentas / *Eksperiment II*	5,90	6,94	121	117	298	192

2.2. Eksperimento schema

Vieno veiksnio lauko eksperimentai vykdyti tokioje sėjomainos grandyje:

One-factor field experiments were performed in such a crop rotation chain:

2018–2019 m. → pupinės žolės/avižos/avižų ir pupinių žolių įsėlis;

2018–2019 m. → *forage legumes/oat/oat and forage legumes intercropping;*

2019–2020 m. → žieminiai kviečiai/dvinariai pupinių žolių–žieminių kviečių pasėliai;

2019–2020 m. → *winter wheat/forage legumes and winter wheat intercropping;*

2020–2021 m. → vasariniai kviečiai.

2020–2021 m. → *spring wheat.*

Tirta 12 skirtingų žemės dirbimo bei žieminių kviečių sėjos variantų ir du pupinių žolių masės mulčiavimo būdai (2.2 lentelė). Sėjomainos grandžių vienanarių ir dvinarių pasėlių žemės dirbimo ir sėjos būdai pateikti 2.3 lentelėje.

2.2 lentelė. Žemės dirbimo ir sėjos būdai žieminiams kviečiams

Table 2.2. *Soil tillage and sowing methods for winter wheat*

Priešsėliai / *Pre-crops*	Žemės dirbimo ir sėjos būdai / *Soil tillage and sowing methods*
Avižos / *Oat*	Tradicinis arimas, žieminių kviečių įprastinė sėja (kontrolinis) / *Conventional tillage and sowing for winter wheat (control)*
Avižos / *Oat*	Juostinis žemės dirbimas ir žieminių kviečių sėja / *Strip tillage and sowing for winter wheat*
Apyninės liucernos / *Black medick*	Tradicinis arimas, žieminių kviečių įprastinė sėja / *Conventional tillage and sowing for winter wheat*
Avižos su apyninių liucernų įsėliu / *Oat and undersown black medick*	Juostinis žemės dirbimas ir žieminių kviečių sėja *Strip tillage and sowing for winter wheat*
	Juostinis žemės dirbimas ir žieminių kviečių sėja, žolės mulčiuotos anksti / *Strip tillage and sowing for winter wheat, the forage legumes mulched early*
	Juostinis žemės dirbimas ir žieminių kviečių sėja, žolės mulčiuotos anksti ir vėla i/ *Strip tillage and sowing for winter wheat, the forage legumes mulched early and late*

Baltieji dobilai / *White clover*	Tradicinis arimas, žieminių kviečių įprastinė sėja / *Conventional tillage and sowing for winter wheat*
Avižos su baltųjų dobilų įsėliu / *Oat and undersown white clover*	Juostinis žemės dirbimas ir žieminių kviečių sėja / *Strip tillage and sowing for winter wheat*
	Juostinis žemės dirbimas ir žieminių kviečių sėja, žolės mulčiuotos anksti / *Strip tillage and sowing for winter wheat, the forage legumes mulched early*
	Juostinis žemės dirbimas ir žieminių kviečių sėja, žolės mulčiuotos anksti ir vėlai / *Strip tillage and sowing for winter wheat, the forage legumes mulched early and late*
Egiptiniai dobilai / *Egytian clover*	Tradicinis arimas, žieminių kviečių įprastinė sėja / *Conventional tillage and sowing for winter wheat*
Avižos su egiptinių dobilų įsėliu / *Oat and undersown Egyptian clover*	Juostinis žemės dirbimas ir žieminių kviečių sėja / *Strip tillage and sowing for winter wheat*

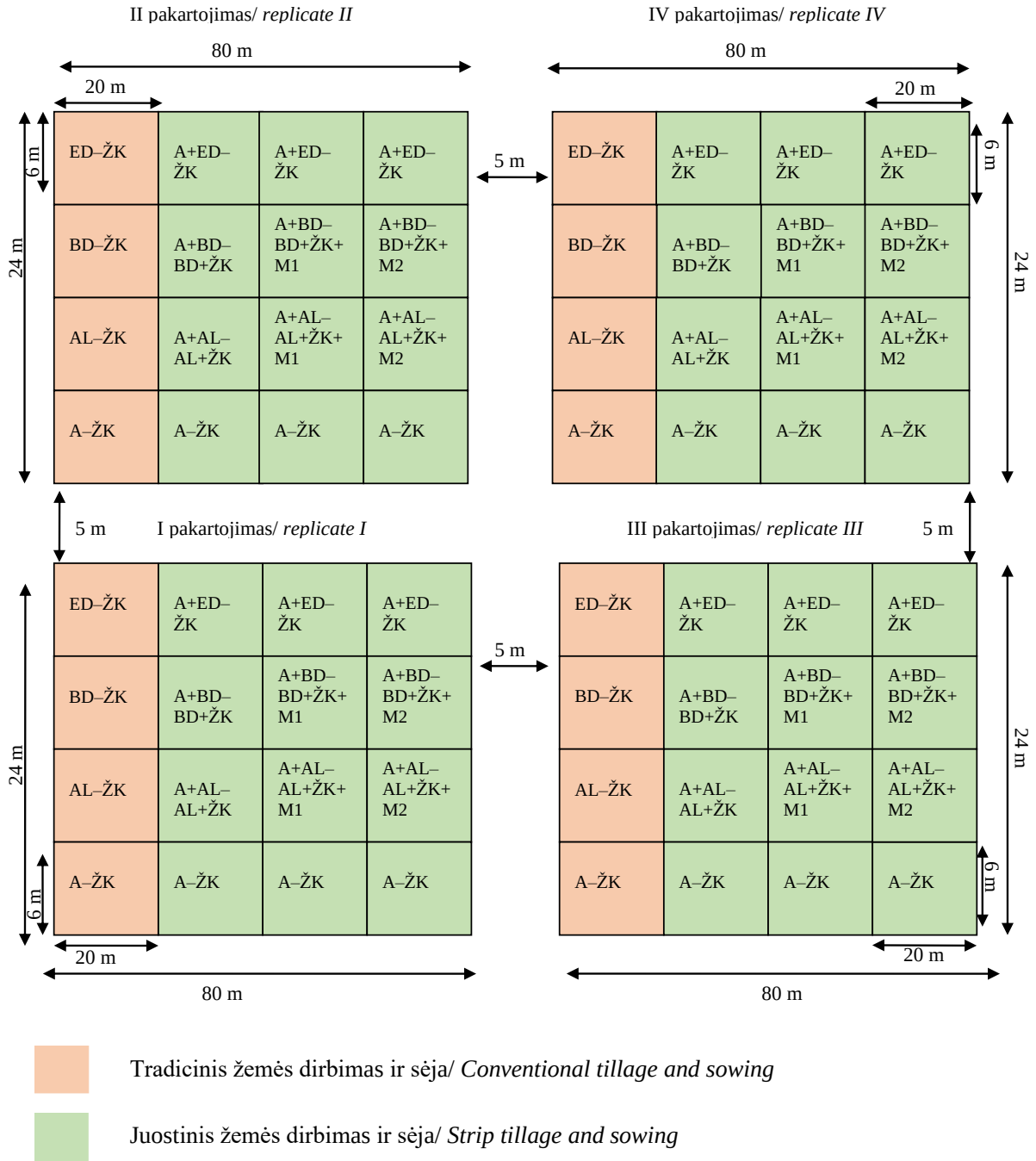
***2.3 lentelė*.** Lauko eksperimentų auginimo ir sėjos būdai

Table 2.3. *Cultivation and sowing methods for field experiments*

Trejų metų rotacija							Variantai
Pirmi eksperimento metai		Antri eksperimento metai			Treti eksperimento metai		
Žemės dirbimas	Augalai	Žemės dirbimas	Augalai	Pupinių žolių mulčiavimas	Žemės dirbimas	Augalai	
Tradicinis žemės dirbimas ir sėja	avižos (kontrolinis)	tradicinis žemės dirbimas ir sėja	žieminiai kviečiai (ŽK)	nemulčiuota	tradicinis žemės dirbimas (žieminių kviečių ražienos ir šiaudai užarti)	vasariniai kviečiai (VK)	A–ŽK–VK
	apyninės liucernos (AL)						AL–ŽK–VK
	baltieji dobilai (BD)						BD–ŽK–VK
	egiptiniai dobilai (ED)						ED–ŽK–VK
Tradicinis žemės dirbimas ir sėja	avižos (A)	juostinis žemės dirbimas ir sėja	žieminiai kviečiai (ŽK)	nemulčiuota	tradicinis žemės dirbimas (žieminių kviečių ražienos, šiaudai ir pupinių žolių liekanos užartos)	vasariniai kviečiai (VK)	A–ŽK
	apyninės liucernos įsėtos į avižų pasėlį (AL+A)		dvinaris apyninių liucernų ir žieminių kviečių pasėlis (AL+ŽK)	nemulčiuota			A+AL–AL+ŽK–VK
				vieną kartą (M1)			A+AL–AL+ŽK+M1–VK
				du kartus (M2)			A+AL–AL+ŽK+M2–VK
	baltieji dobilai įsėti į avižų pasėlį (BD+A)		dvinaris baltųjų dobilų ir žieminių kviečių pasėlis (BD+ŽK)	nemulčiuota			A+BD–BD+ŽK –VK
				vieną kartą (M1)			A+BD–BD+ŽK+M1–VK
				du kartus (M2)			A+BD–BD+ŽK+M2–VK
	Egiptiniai dobilai įsėti į avižų pasėlį (ED+A)		dvinaris egiptinių dobilų ir žieminių kviečių pasėlis (ED+ŽK)	nušalęs mulčias			A+ED–ŽK–VK

Eksperimento parametrai. Lauko eksperimento trukmė – treji metai, laike pakartotas du kartus: I eksperimentas – 2018–2020 m., II eksperimentas – 2019–2021 m. Eksperimentas įrengtas trijose pupinių žolių ir vienoje avižų juostose. Visose augalų juostose taikytas tradicinis bei juostinis žemės dirbimo ir žieminių kviečių sėjos būdai (2.2 paveikslas ir 2.3 lentelė). Augalai

auginti taikant ekologinio ūkininkavimo praktiką. Laukelio dydis: 6 × 20 = 120 m^2, apskaitomojo – 2,3 × 16 = 36,8 m^2. Blokai išdėstyti 4 pakartojimais.



2.2 paveikslas. Lauko eksperimento planas

Figure 2.2. *Plan of field experiment*

Pirmaisiais metais įrengiant eksperimentus, tyrimams skirtas laukas rudenį suartas, pavasarį prieš avižų sėją dirva supurenta priešsėjiniu žemės dirbimo padargu (4–5 cm gyliu). Augintos ‘Migla DS’ veislės avižos (*Avena sativa* L.). Avižos buvo pasėtos (sėklos norma 180 kg ha^{-1}) 2018 m. balandžio 23 d. ir 2019 m. balandžio 16 d. tradicine sėjamąja 12,5 cm tarpueiliais, 3 cm

gyliu. Po avižų sėjos, 2018 m. balandžio 25 d. ir 2019 m. balandžio 16 d., į avižas buvo įsėtos pupinės žolės: veislės ‘Nemuniai’ baltieji dobilai (2018 m. – 8 kg ha^{-1}, 2019 m. – 10 kg ha^{-1}), veislės ‘Arka DS’ apyninės liucernos (2018 m. – 8 kg ha^{-1}, 2019 m. – 10 kg ha^{-1}), veislės ‘Cleopatra’ egiptiniai dobilai (2018 m. – 8 kg ha^{-1}, 2019 m. – 10 kg ha^{-1}). Tuo pačiu metu pasėtos pupinės žolės be antsėlio. Avižų grūdų derlius nukultas 2018 m. rugpjūčio 2 d. ir 2019 m. rugpjūčio 4 d. Po avižų (be įsėlio) ir pupinių žolių antžeminės masės mulčiavimo tradicinio dirbimo laukeliai įdirbti ražienų skutikliu (10–12 cm) įterpiant pupinių žolių masę arba smulkintus avižų šiaudus, po 2–3 savaičių giliai (22–24 cm gyliu) suarta plūgu. Prieš sėją dirva supurenta priešsėjiniu žemės dirbimo padargu (4–5 cm gyliu) ir pasėti (sėklos norma 230 kg ha^{-1}) veislės ‘Gaja DS’ žieminiai kviečiai (*Triticum aestivum* L.) tradicine sėjamąja 12,5 cm tarpueiliais 2018 m. – rugsėjo 27 d. ir 2019 m. – rugsėjo 25 d. Dirvą ruošiant dvinariams pasėliams, prieš žieminių kviečių sėją avižų ražienos ir pupinių žolių masė buvo mulčiuota. Veislės ‘Gaja DS’ žieminiai kviečiai buvo pasėti (sėklos norma 190 kg ha^{-1}) juostiniu žemės dirbimo būdu 2018 m. rugsėjo 25 d. ir 2019 m. rugsėjo 13 d. juostine sėjamąja (Strip-Till) – Mzuri Pro Till 3 (2.3 ir 2.4 paveikslai). Žieminiai kviečiai sėti 33,3 cm tarpueiliais, sėklas juostoje išbarstant pakrikai (pasėtų žieminių kviečių juostų plotis 13,0 cm, tarpueiliuose likusių pupinių žolių juostų plotis – 20,00 cm). Po žieminių kviečių derliaus nuėmimo (2018 m. – liepos 31 d., 2019 m. – rugpjūčio 10 d.) eksperimentiniai laukeliai įdirbti (10–12 cm) ražienų skutikliu ir rudenį giliai (22–24 cm gyliu) suarti plūgu. Pavasarį prieš sėją dirva supurenta (4–5 cm gyliu) priešsėjiniu žemės dirbimo padargu ir pasėti (sėklos norma 280 kg ha^{-1}) veislės ‘Granaria’ vasariniai kviečiai tradicine sėjamąja 12,5 cm tarpueiliais 2020 m. balandžio 8 d. ir 2021 m. balandžio 19 d. Derlius nuimtas 2020 m. rugpjūčio 14 d. ir 2021 m. rugpjūčio 16 d.

2.3 paveikslas. Juostinė sėjamoji Strip-Til – Mzuri Pro-Til 3

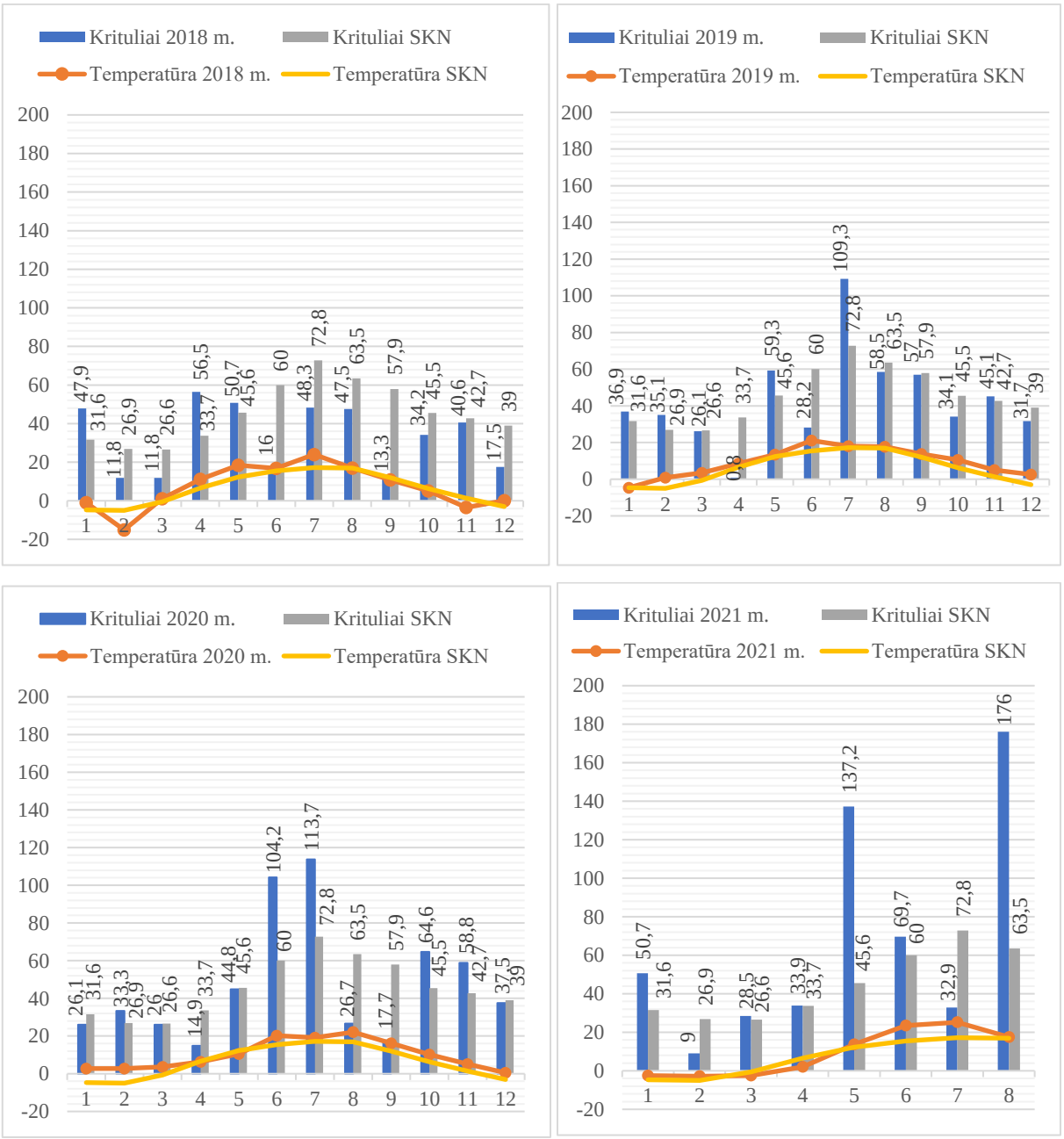
Figure 2.3. *The Mzuri Pro-Til 3 strip tillage drill*

2.4 paveikslas. Sudygę žieminiai kviečiai rudenį (taikyta juostinio žemės dirbimo ir sėjos technologija)

Figure 2.4. *Germinated winter wheat in autumn (strip tillage and sowing methods applied)*

2.3. Meteorologinės sąlygos

Meteorologinėms sąlygoms aptarti panaudoti Joniškėlio bandymų stoties meteorologinės stotelės, kuri yra 1 km atstumu nuo lauko eksperimentų, duomenys. 2018 m. pirmoje augalų vegetacijos pusėje kritulių kiekis buvo artimas standartinei klimato normai (SKN). Balandžio ir gegužės mėnesiais netrūko šilumos bei saulės – tai lėmė gerą augalų vystymąsi ankstyvaisiais augimo tarpsniais. Mažas kritulių kiekis birželio mėnesį pristabdė augalų augimą. Sausoki orai išliko liepos ir rugpjūčio mėnesiais, kritulių iškrito mažiau, palyginus su SKN (2.5 paveikslas). 2018 m. ruduo buvo sausas, ypač rugsėjo mėnuo (iškrito tik 13.3 mm kritulių). Negausus kritulių kiekis ribojo dirvožemyje vykstančius procesus ir mineralinio N migraciją į gilesnius jo sluoksnius. Gruodis buvo šiltas, bet kritulių iškrito nedaug (17,5 mm). 2019 m. buvo šiek tiek drėgnesni, ir kritulių sezoninis pasiskirstymas buvo gerokai tolygesnis nei 2018 m. Balandis buvo sausas (iškrito 0,8 mm kritulių). Balandžio pradžioje prasidėjęs sausringas laikotarpis baigėsi tik gegužės pabaigoje. Tai galėjo turėti neigiamos įtakos azoto atpalaidavimui iš augalų liekanų ir dirvožemio bei žieminių kviečių mitybai. Gegužės trečiąjį dešimtadienį iškrito 42 mm kritulių, todėl augalų biomasės augimas paspartėjo. Birželis buvo neįprastai šiltas – vidutinė paros mėnesio temperatūra buvo 6 °C aukštesnė lyginant su SKN. Tačiau dėl riboto kiekio kritulių augalų biomasės augimas nebuvo labai intensyvus. Drėgniausia buvo liepa – iškrito 109,3 mm kritulių, t. y. 36,5 mm daugiau nei SKN. Rugpjūtį ir rugsėjį augalų vystymuisi netrūko kritulių ir pakako šilumos. 2019 m. ruduo buvo gerokai šiltesnis nei 2018 m. 2019–2020 m gruodžio–vasario mėnesiai pasižymėjo teigiama vidutine mėnesio paros temperatūra, o tai Lietuvoje nėra įprasta.



2.5 paveikslas. Vidutinė mėnesio paros temperatūra ir kritulių kiekis eksperimentų vykdymo laikotarpiu 2018–2021 m. (Joniškėlio bandymų stoties meteorologiniai duomenys)

Figure 2.5. *Average monthly daily temperature and precipitation during experiments in 2018–2021 (Joniškėlis Experimental Station meteorological data)*

2020 m. pavasaris buvo šiltas ir ankstyvas, tačiau kritulių buvo nedaug. Balandžio mėnuo buvo sausas, kritulių kiekis siekė tik 14,9 mm, arba 18,8 mm mažiau nei SKN. Tačiau sausas laikotarpis nebuvo ilgas, gugužės mėnesio kritulių kiekis buvo artimas SKN. Birželis ir liepa pasižymėjo pertekliniu kiekiu kritulių bei šiluma; tai lėmė intensyvų javų ir pupinių žolių biomasės augimą. 2020 m. vegetacijos laikotarpis pasižymėjo netolygiu kritulių pasiskirstymu – nepakankamu pirmoje ir pertekliniu antroje vegetacijos pusėje. Spalio ir lapkričio mėnesiais iškritę gausus kiekis kritulių buvo pakankamas, kad apartų pupinių žolių liekanos pradėtų

mineralizuotis. Sausį iškritęs gausus kiekis kritulių vasario mėnesio kritulių stokos nekompensavo, todėl 2021 m. žiema buvo ganėtinai sausa. Pavasaris buvo drėgnas ir vėsus. Gegužės mėnesį iškritęs gausus kiekis krutulių (91,6 mm daugiau nei SKN) nebuvo palankus augalams augti. Neįprastai karšti orai birželio ir liepos mėnesiais galėjo turėjo neigiamos įtakos grūdų užsimezgimui ir užsipildymui varpose. Rugpjūčio mėnesį gausus kiekis kritulių (daugiau nei dvigubai, palyginus su SKN) trukdė derliaus dorojimo darbams.

2.4. Augalų tyrimo metodai

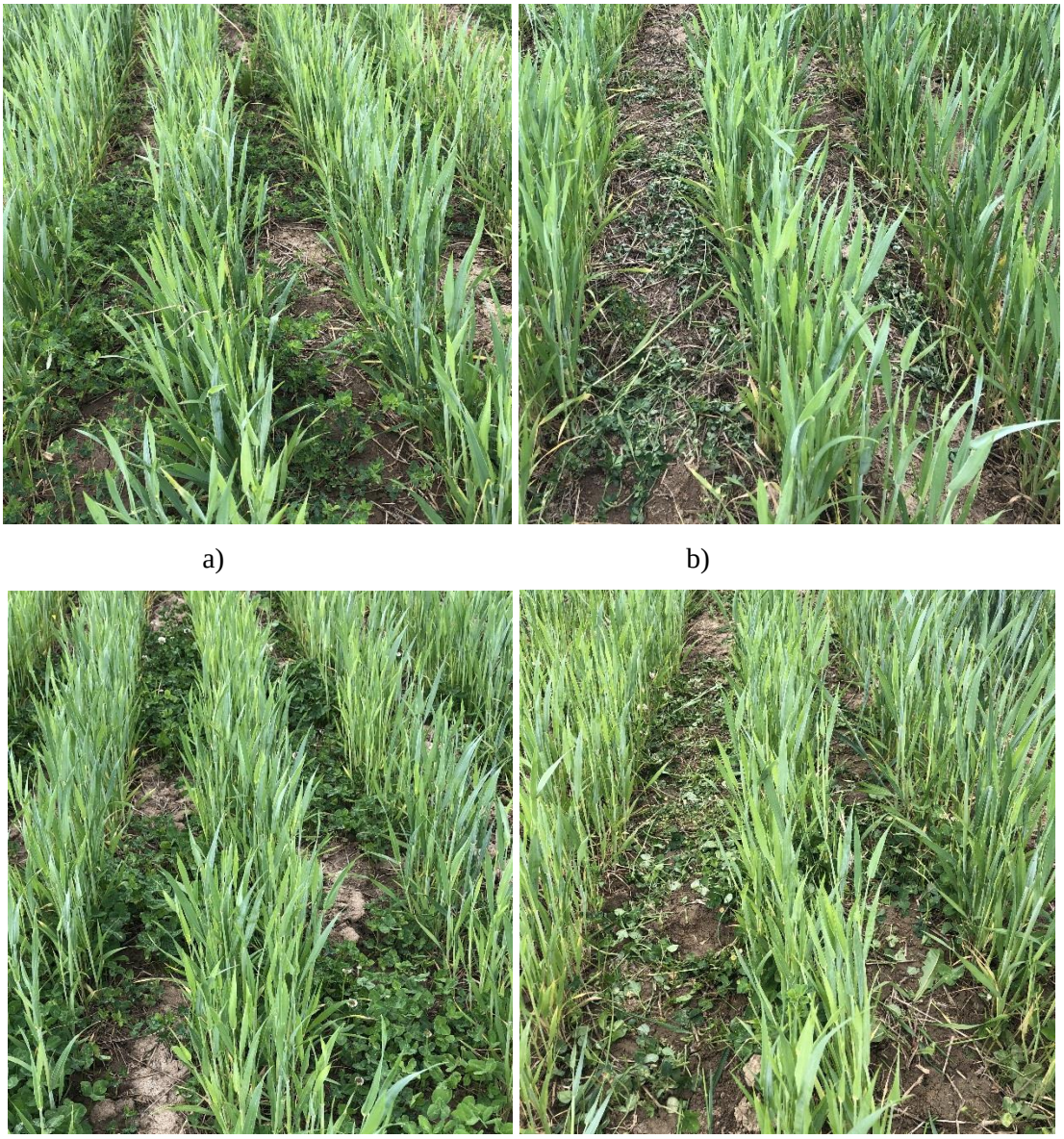
Biometrinių rodiklių, piktžolėtumo ir derlingumo nustatymas. Augalams (avižoms, žieminiams ir vasariniams kviečiams, pupinėms žolėms) pilnai sudygus, buvo suskaičiuotas bendras augalų skaičius laukeliuose ir javų produktyvus tankumas, jiems pasiekus bamblėjimo tarpsnį (BBCH 31–32) ir pilnai suformavus produktyvius stiebus (BBCH 37–39). Augalų tankumas nustatytas kiekvieno laukelio 4 vietose 0,25 m^{-2} dydžio stacionariose aikštelėse. Piktžolių rūšinė sudėtis ir skaičius nustatytas javams pilnai sudygus ir grūdams pasiekus pieninę brandą (BBCH 77–79), kiekviename eksperimento laukelyje, 4 vietose 0,25 m^{-2} dydžio stacionariose aikštelėse. Piktžolių masė išpjauta, pasverta, nustatyta rūšinė sudėtis ir orasausė masė.

Javams pasiekus brandos tarpsnį (BBCH 87), iš stacionarių aikštelių surauti pėdai nustatyti šluotelių/varpų skaičių, grūdų skaičių ir masę šluotelėje/varpoje, šiaudų derlingumą. Javams pasiekus visiškos brandos tarpsnį (BBCH 89), grūdų derlius nukultas mažagabaritiniu kombainu Sampo 500. Grūdų derlingumas nustatytas svėrimo metodu. Grūduose sausosioms medžiagoms, kokybės rodikliams ir tūkstančio grūdų masei (TGM) nustatyti kūlimo metu paimti 1,0 kg dydžio grūdų ėminiai. Grūdų derlius buvo perskaičiuotas į standartinės drėgmės (14 %), šiaudų – į sausąsias medžiagas (SM).

Konkurencingumo nustatymas. Siekiant sumažinti dvinarių pasėlių pupinių žolių konkurenciją, 2019 ir 2020 m. pupinių žolių masė buvo mulčiuota vieną (M1) ir du (M2) kartus, masę paskleidžiant dirvos paviršiuje. Antžeminės masės mulčiavimas atliktas akumuliatorinėmis žolės žirklėmis (2.6 paveikslas).

Miglinių javų ir pupinių žolių konkurencingumas buvo nustatytas avižų su pupinių žolių įsėliu pasėliuose (A+AL, A+BD ir A+ED) ir dvinariuose pupinių žolių bei žieminių kviečių pasėliuose (AL+ŽK ir BD+ŽK). Avižų su pupinių žolių įsėliu konkurencingumas buvo nustatytas 3 kartus: žydėjimo pradžioje (BBCH 61–63), grūdų formavimosi pradžioje (BBCH 71–73) ir grūdų brendimo tarpsniu (BBCH 87–89), dvinarių pupinių žolių ir žieminių kviečių pasėlių – stiebo formavimosi (BBCH 37–39), žydėjimo pradžioje (BBCH 59–61) ir grūdų brendimo (BBCH 87–89) tarpsniais. Avižoms ir žieminiams kviečiams pasiekus planuotą augimo tarpsnį,

javų, pupinių žolių ir piktžolių antžeminė masė buvo išpjauta iš kiekvieno laukelio keturių vietų (0,25 m^2 dydžio aikštelių). Siekiant įvertinti konkurenciją augalus auginant viename pasėlyje, minėtais laikotarpiais augalų masė buvo išpjauta iš avižų, žieminių kviečių ir pupinių žolių vienanarių pasėlių.



a) b)

c) d)

2.6 paveikslas. Dvinariai pupinių žolių ir žieminių kviečių pasėliai: a) apyninių liucernų ir žieminių kviečių pasėlis pavasarį (nemulčiuota); b) apyninių liucernų ir žieminių kviečių pasėlis pavasarį (mulčiuota vieną kartą); c) baltųjų dobilų ir žieminių kviečių pasėlis pavasarį (nemulčiuota); d) baltųjų dobilų ir žieminių kviečių pasėlis pavasarį (mulčiuota vieną kartą)

Figure 2.6. *Intercropping of forage legumes and winter wheat: (a) intercropping of black medick and winter wheat in spring (not mulched); (b) intercropping of black medick and winter wheat in spring (mulched once); (c) intercropping of white clover and winter wheat in spring (not mulched); (d) crop of white clover and winter wheat in spring (mulched once)*

Nustatyta augalų biomasės (javų, pupinių žolių ir piktžolių) botaninė sudėtis, pasverta, išdžiovinta iki orasausės masės ir susmulkinta. Sausųjų medžiagų (SM) derliui apskaičiuoti nustatytos sausosios medžiagos (džiovinta iki pastovios masės 105 °C temperatūroje). Tokiu būdu nustatytas augalų derlius dvinariuose ir vienanariuose pasėliuose pagrindiniais javų augimo tarpsniais ir paruošti ėminiai azoto, fosforo ir kalio koncentracijai nustatyti.

Dvinarių pasėlių bendras produktyvumas (BP) apskaičiuotas susumavus žieminių kviečių ($D_{ŽK}$) ir pupinių žolių ($D_{PŽ}$) antžeminės masės derlių (kg ha^{-1} SM). Bendras produktyvumo indeksas (BPi) nusako santykį tarp bendros ($D_{ŽK} + D_{PŽ}$) ir žieminių kviečių ($D_{ŽK}$) antžeminės masės derliaus, taikant juostinį žemės dirbimo ir sėjos būdą.

Siekiant įvertinti dvinario pasėlio augalų konkurencingumą, apskaičiuotas žieminių kviečių santykinis derlius ($SD_{ŽK}$, %), agresyvumo rodiklis ($A_{ŽK}$) ir augalų konkurencingumo santykis (KS) (Wilson, 1988; Weigelt ir Jolliffe, 2003):

$$SD_{ŽK} = [(D_{PŽ + ŽK}) / (D_{ŽK})] \times 100;$$

$$A_{ŽK} = D_{ŽK\ dvinariame\ pasėlyje} / (D_{ŽK\ vienanariame\ pasėlyje} \times 0{,}83) - D_{PŽ\ dvinariame\ pasėlyje} / (D_{PŽ\ vienanariame\ pasėlyje} \times 1{,}0);$$

$$KS = (D_{ŽK\ dvinariame\ pasėlyje} / D_{ŽK\ vienanariam\ epasėlyje}) / (D_{PŽ\ dvinariame\ pasėlyje} / D_{PŽ\ vienanariame\ pasėlyje}).$$

Augalų cheminė analizė. Augalų biomasėje, grūduose ir šiauduose N koncentracija buvo nustatyta Kjeldahl metodu su Kjeltec sistema 1002 (Foss Tecator, Švedija), P koncentracija – spektrofotometriškai spalvota reakcija su amonio molibdato-vanadatu 430 nm bangos ilgiu Cary 50 UV-Vis spektrofotometru (Varian Inc., JAV), K koncentracija – atominės absorbcijos spektrometru Analyst 200 (Perkin Elmer, JAV) pagal gamintojo instrukcijas. Augalų analizės buvo atliktos LAMMC ŽI Cheminių tyrimų laboratorijoje.

2.5. Dirvožemio analizės

Eksperimentų pabaigoje (2020 ir 2021 m.) dirvožemio ėminiai buvo paimti iš 0–25 ir 25–50 cm sluoksnių cheminėms savybėms nustatyti: pH, suminis azotas (N_{sum}), organinė anglis (C_{org}), judrieji P_2O_5 ir K_2O. Vidutinį mėginį sudarė 6–8 ėminiai, paimti einant kiekvieno laukelio įstrižaine. Ėminiai išdžiovinti kambario temperatūroje. Ruošiant nustatyti humuso ir azoto kiekį, išrinktos matomos augalų šaknys ir augalų liekanos. Dirvožemio cheminės analizės buvo atliktos LAMMC Agrocheminių tyrimų laboratorijoje ir LAMMC ŽI Cheminių tyrimų laboratorijoje. Dirvožemio pH buvo nustatytas 1 M KCl pagal standartą ISO 10390:2005 (dirvožemio ir tirpalo

santykis 1:2,5) pH matuokliu IONLAB, C_{org} – pagal ISO 10694:1995, N_{sum} – Kjeldahl metodu, judrieji fosforas (P_2O_5) ir kalis (K_2O) – Egner-Riehm-Domingo (A-L) metodu.

Nitratinio ($N\text{-}NO_3$) ir amoniakinio ($N\text{-}NH_4$) azoto kiekiui nustatyti dirvožemio mėginiai (iš 0–30 ir 30–60 cm sluoksnių) buvo renkami keturis kartus: žieminių kviečių sėjos metais, žieminių kviečių vegetacijos pabaigoje – 2018 m. lapkričio 21 d. ir 2019 lapkričio 16 d. (1 apskaita), pavasarį, atsinaujinus žieminių kviečių vegetacijai – 2019 m. kovo 25 d. ir 2020 m. kovo 25 d. (2 apskaita); po dvinarių pasėlių auginimo, vegetacijos pabaigoje – 2019 m. spalio 16 d. ir 2020 m spalio 20 d. (3 apskaita) ir pavasarį, vasarinių kviečių pasėlyje – 2020 m. balandžio 23 d. ir 2021 m. balandžio 22 d. (4 apskaita). $N\text{-}NO_3$ kiekis nustatytas jonometriniu metodu, amoniakinis azotas ($N\text{-}NH_4$) – spektrofotometriniu metodu.

2.6. Duomenų statistinė analizė

Duomenys apdoroti ir susisteminti taikant kompiuterinės duomenų įvertinimo programos *SAS* 9.4 versiją. Eksperimento duomenys buvo statistiškai apdoroti taikant vieno veiksnio dispersinės analizės, taip pat koreliacijos ir regresijos metodus. Skirtumai tarp analizuotų variantų nustatyti taikant Fišerio *F*-testą. Duomenys analizuoti taikant dispersinę analizę (ANOVA). Mažiausias reikšmingas skirtumas (R_{05}) laikytas, kai patikimumo lygmuo buvo $p < 0,05$.

3. TYRIMŲ REZULTATAI IR DISKUSIJA

3.1. Avižų ir pupinių žolių vienanarių ir dvinarių pasėlių formavimosi dėsningumai ir produktyvumas

3.1.1. Pupinių žolių ir avižų antžeminė masė

Augalų antžeminės masės pirmas vertinimas atliktas avižų žydėjimo pradžioje (BBCH 61–63). Avižų antžeminės masės derliui metų įtaka buvo esminė, t. y. 2019 m. avižos užaugino vidutiniškai 23,0 % didesnę antžeminę masę palyginus su 2018 m. Šiuo tyrimo laikotarpiu nė vienais metais pupinių žolių įsėlis neturėjo neigiamos įtakos avižų antžeminės masės derliui. Augalų antžeminės masės antrą vertinimą atlikus avižų grūdų vystymosi tarpsniu (BBCH 71–73) nustatyta, kad avižų antžeminės masės prieaugio intensyvumas buvo nevienodas ir didėjo taip: 2018 m. – 18,1 % ir 2019 m. – 73,7 %, palyginus su pirma apskaita (3.1 lentelė). Avižų pilnos brandos tarpsniu (BBCH 89) jų antžeminės masės pokyčiai buvo nevienareikšmiai: 2019 m. antžeminės masės sausųjų medžiagų (SM) derlius buvo mažesnis, palyginus su antra apskaita, tačiau vidutiniškai 43.8 % didesnis, palyginus su 2018 m. analogiškais duomenimis. Abiem metais avižų ir avižų su pupinių žolių įsėliu pasėlių derlius vertinami pagal esmingumo kriterijus nesiskyrė.

3.1 lentelė. Avižų antžeminės masės (kg ha^{-1} SM) kitimas vegetacijos laikotarpiu

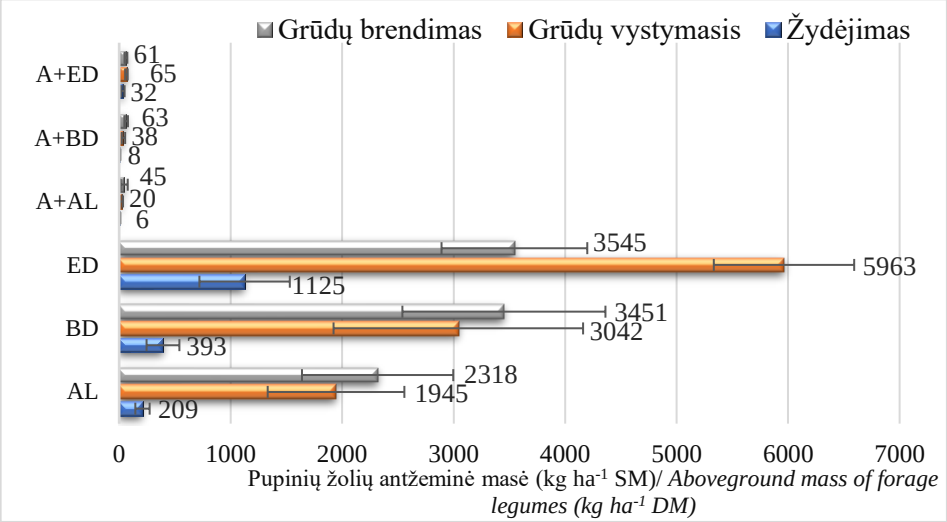
Table 3.1. *Change in aboveground mass of oat (kg ha^{-1} DM) during the vegetation period*

Variantai / *Treatment*	2018 m. / *2018*			2019 m. / *2019*		
	Avižų augimo tarpsnis (BBCH) / *Oat growth stage (BBCH)*					
	žydėjimas (61–63) / *fowering*	grūdų vystymasis (71–73) / *grain development*	grūdų brendimas (87–89) / *ripened grain*	žydėjimas (61–63) / *fowering*	grūdų vystymasis (71–73) / *grain development*	grūdų brendimas (87–89) / *ripened grain*
A	4733	5154	5714	6047	10,138	8283
A+AL	4681	5538	5739	5612	10,514	8219
A+BD	4595	5842	5469	5423	9930	8023
A+ED	5096	6023	5729	5076	10,237	8048
Sąveika M × Dp / *Interaction Y × Ic*	4776 a	5639 ab	5663 b	5540 ab	10,205 c	8143 c

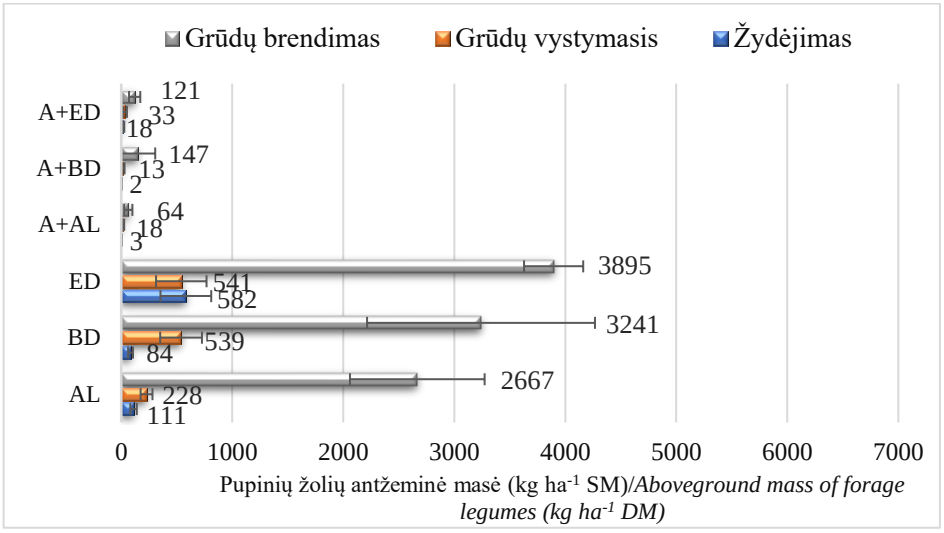
Pastaba: vienanariai pasėliai: A – avižos; dvinariai pasėliai: A+AL – avižos + apyninių liucernų įsėlis, A+BD – avižos + baltųjų dobilų įsėlis, A+ED – avižos + egiptinių dobilų įsėlis; vidurkiai, pažymėti tomis pačiomis raidėmis esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

Note: monocropping system: A – oat; intercropping systems: A+AL – oat intercropped with black medick, A+BD – oat intercropped with white clover, A+ED – oat intercropped with Egyptian clover; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.

2018 m. pirmos apskaitos (BBCH 61–63) duomenimis, pupinių žolių antžeminė masė buvo vidutiniškai 2,2 karto didesnė nei 2019 m. (3.1 paveikslas). Abiem metais iš esmės didesnė antžeminė masė nustatyta egiptinių dobilų juos auginant vienanariame pasėlyje, palyginus su kitomis pupinėmis žolėmis.



a) 2018 m./ *2018*



b) 2019 m./*2019*

3.1 paveikslas. Pupinių žolių antžeminė masė skirtingais avižų vystymosi tarpsniais 2018 (a) ir 2019 (b) metais

Figure 3.1. *Aboveground mass of forage legumes in different oat development stages 2018 (a) and 2019 (b)*

Pastaba: vienanariai pasėliai: AL – apyninės liucernos, BD – baltieji dobilai, ED – egiptiniai dobilai; dvinariai pasėliai: A+AL – avižos + apyninių liucernų įsėlis, A+BD – avižos + baltųjų dobilų įsėlis, A+ED – avižos + egiptinių dobilų įsėlis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

Note: monocropping systems: AL – black medick, BD – white clover, ED – Egyptian clover; intercropping systems: A+AL – oat undersown with black medick, A+BD – oat undersown with white clover, A+ED – oat undersown with Egyptian clover; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.

Antžeminės masės antrą vertinimą atlikus avižų grūdų vystymosi tarpsniu (BBCH 71–73) nustatyta, kad pupinių žolių vienanarių pasėlių antžeminė masė 2019 m. augo sparčiau (padidėjo 4,1 karto, palyginti su pirma apskaita) nei 2018 m. (padidėjo 2,7 karto). Abiem metais pupinių žolių, augintų su avižomis, antžeminė masė padidėjo panašiai (2,7–2,8 karto), palyginus su pirma apskaita. Pupinių žolių rūšių, jas auginant vienanariame pasėlyje ir su avižomis, masė skyrėsi iš esmės. Avižoms bręstant antžeminėje masėje sukaupti asimiliantai iš lapų buvo transportuojami į sėklas. Antžeminė masė džiūvo, atidengdama apatinį pasėlio ardą. 2018 m. per tyrimo laikotarpį (BBCH 71–89) daugiamečių pupinių žolių masė padidėjo ir monopasėlyje, ir dvinariame pasėlyje, išskyrus vienamečius egiptinius dobilus. 2019 m. orai buvo palankūs formuotis pupinių žolių antžeminei masei (ji padidėjo vidutiniškai 4,7 karto).

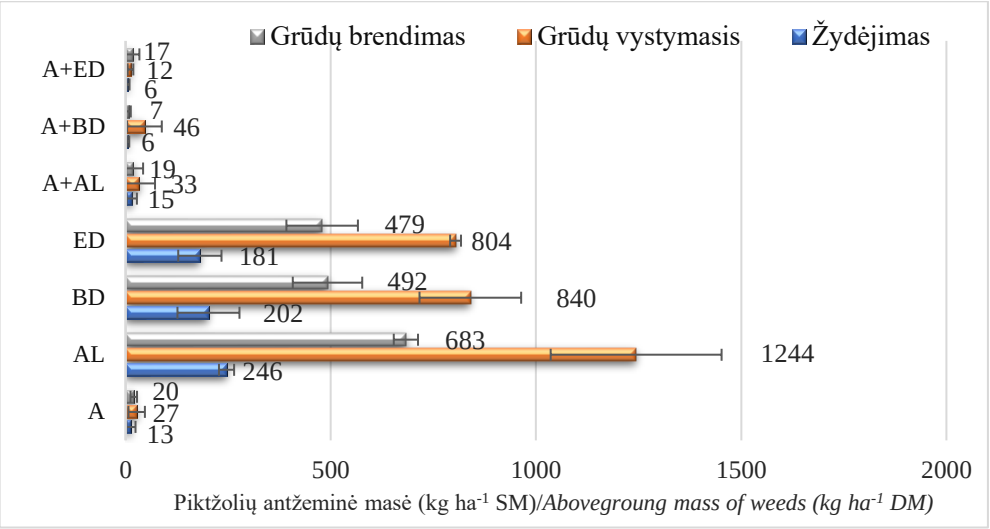
Vertinant vienanarių pasėlių skirtingas pupinių žolių rūšis nustatyta, kad lėčiausiai vystėsi ir mažiausiai antžeminės masės užaugino apyninės liucernos. Skirtingų pupinių žolių antžeminės masės derlius iš esmės nesiskyrė: pupinių žolių vienanarių pasėlių antžeminė masės derlius buvo 80–97 kartus (2018 m.) ir 13–42 kartus (2019 m.) didesnis, palyginus su pupinių žolių, augintų su avižomis.

Apibendrinus tyrimo rezultatus galima teigti, kad pupinių žolių antžeminė masė priklausė nuo metų meteorologinių sąlygų, augalų augimo tarpsnio ir auginimo būdo (monopasėlyje ar su avižomis). Pupinių žolių įsėlis neturėjo neigiamos įtakos avižų antžeminės masės derliui. Palyginus skirtingų rūšių pupines žoles nustatyta, kad antžeminės masės mažiausias derlius buvo apyninių liucernų, didžiausias – baltųjų ir egiptinių dobilų.

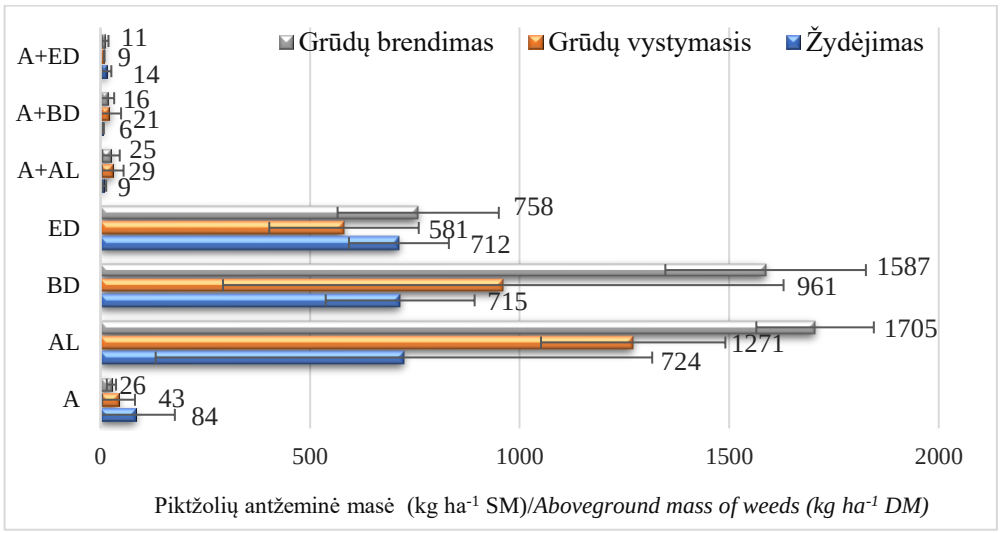
3.1.2. Pasėlio piktžolėtumas

2019 m. buvo palankesni augti ne tik kultūriniams augalams, bet ir piktžolėms, ypač pupinių žolių vienanariuose pasėliuose, palyginus su 2018 m. Pupinės žolės, augdamos be antsėlio, lėčiau dygsta, pirmaisiais augimo tarpsniais silpniau vystosi nei javai, todėl susidaro labai palankios sąlygos piktžolėms dygti ir augti. Didžiausia piktžolių masė nustatyta apyninių liucernų monopasėlyje, mažiausia – egiptinių dobilų (3.2 paveikslas). Egiptiniai dobilai yra vienamečiai augalai, todėl jie greičiau auga ir vystosi nei kitos šio tyrimo metu augintos pupinės žolės, o tai ir lėmė mažesnį piktžolių skaičių pasėlyje. Iš visų vasarinių javų didžiausia konkurencine geba pasižymi avižos, todėl piktžolių masė buvo gerokai mažesnė jų pasėlyje nei pupinių žolių vienanariuose. Piktžolių masė avižų ir pupinių žolių pasėliuose skyrėsi iš esmės. 2018 m. didžiausia piktžolių masė nustatyta apyninių liucernų pasėlyje – ji buvo esmingai didesnė nei avižų ir avižų su žolių įsėliu pasėliuose. 2019 m. piktžolių masės duomenys kito analogiškai, tik esmingai didesnė piktžolių masė buvo visų pupinių žolių pasėliuose. Tais metais nustatytas

piktžolių masės sumažėjimas avižas auginant su pupinių žolių įsėliu, palyginus su avižų vienanariu pasėliu, tačiau skirtumai nebuvo esminiai.



a) 2018 m./ *2018*



b) 2019 m./*2019*

3.2 paveikslas. Piktžolių antžeminė masė avižų vystymosi tarpsniais 2018 (a) ir 2019 (b) metais

Figure 3.2. *Aboveground mass of weeds in oat development stages 2018 (a) and 2019 (b)*

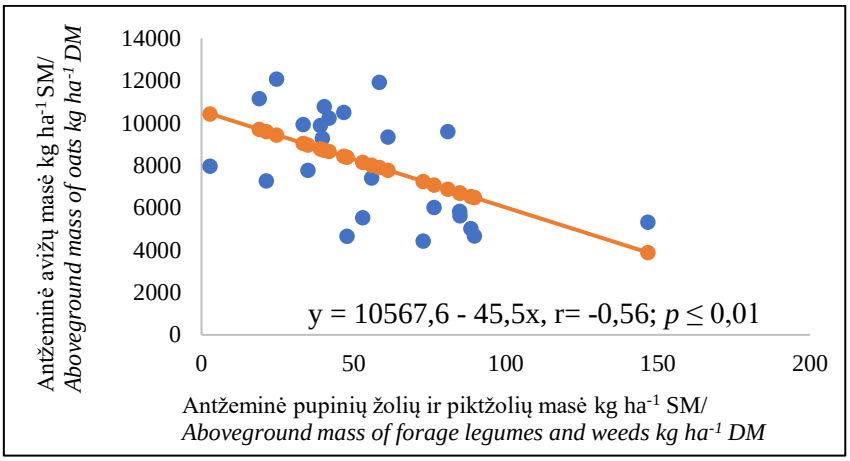
Pastaba: vienanariai pasėliai: A – avižos, AL – apyninės liucernos, BD – baltieji dobilai, ED – egiptiniai dobilai; dvinariai pasėliai: A+AL – avižos + apyninių liucernų įsėlis, A+BD – avižos + baltųjų dobilų įsėlis, A+ED – avižos + egiptinių dobilų įsėlis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

Note: monocropping systems: A – oat, AL – black medick, BD – white clover, ED – Egyptian clover; intercropping systems: A+AL – oat undersown with black medick, A+BD – oat undersown with white clover, A+ED – oat undersown with Egyptian clover; means followed by the same letters are not significantly different at $p < 0.05$.

Piktžolėtumą vertinant skirtingais avižų augimo tarpsniais nustatyta, kad jų žydėjimo metu (BBCH 61–63) didžiausia piktžolių masė nustatyta visuose pupinių žolių vienanariuose pasėliuose. Avižų grūdams pradėjus vystytis piktžolių masė, palyginus su žydėjimo tarpsniu, 2018

ir 2019 m. padidėjo 4,5 ir 1,3 karto. Abiem tyrimo metais pupinių žolių vienanariuose pasėliuose nustatyta esmingai didesnė piktžolių masė. Didžiausia piktžolių masė nustatyta apyninių liucernų pasėlyje. Apyninės liucernos buvo vienos iš lėčiausiai augančių pupinių žolių, todėl mažiau dengė dirvos paviršių ir prastai stelbė piktžoles. Avižų su pupinių žolių įsėliu pasėliuose piktžolių masė buvo esmingai mažesnė, palyginus su pupinių žolių vienanariais pasėliais.

Abiejų tyrimo metų duomenimis, avižų grūdų vystymosi tarpsniu (BBCH 71–73) dvinariuose pasėliuose buvo nustatytas esminis ryšys tarp apatinio ardo augalų (pupinių žolių bei piktžolių) ir avižų. Gautas vidutinio stiprumo atvirkštinis tiesinis ryšys tarp avižų antžeminės masės ir apatinio ardo augalų (pupinių žolių bei piktžolių) masės (3.3 paveikslas).



3.3 paveikslas. Avižų dvinarių pasėlių antžeminės masės derliaus priklausomumas nuo bendros pupinių žolių ir piktžolių antžeminės masės

Figure 3.3. *Dependence of the yield of the aboveground mass of oat intercropping on the total aboveground mass of forage legumes and weeds*

Avižų grūdų brendimo tarpsniu (BBCH 87–89) tarp šių rodiklių esminių ryšių nenustatyta. Avižų su pupinių žolių įsėlių pasėliuose visų apskaitų metu piktžolių antžeminės masės ir pupinių žolių masės koreliacijos buvo silpnos ir nereikšmingos.

Apibendrinus dviejų eksperimentų duomenis galima teigti, kad piktžoles labiausiai stelbė avižos, o joms brėstant pupinių žolių įsėlis šį poveikį tik sustiprino. Iš visų tirtų pupinių žolių vienanarių pasėlių mažiausia piktžolių mase pasižymėjo egiptiniai dobilai.

3.1.3. Avižų ir pupinių žolių konkurencingumas

Didžiulę avižų konkurencinę gebą rodo pupinių žolių masės sumažėjimas dvinariuose pasėliuose. Avižų konkurencingumas (K_A) buvo išreikštas pupinių žolių, jas auginant su avižomis, antžeminės masės sumažėjimu (%), palyginus su vienanario pasėlio žolių antžemine mase (3.2 lentelė). Tyrimo duomenimis, pupines žoles auginant su avižomis, jų antžeminė masė sumažėjo

91,4–98,9 %, palyginus su vienanarių pasėlių žolių derliumi. Konkurencingumo rodikliui esminės įtakos turėjo metai ($p < 0,01$). Vidutiniais duomenimis, K_A vertė buvo 2,5 proc. vnt. mažesnė 2019 nei 2018 metais. 2018 m. dėl sausringų laikotarpių pupinės žolės dygo lėtai, lėtai vystėsi ir jų antžeminė masė, todėl jų konkurencinė geba buvo labai menka.

3.2 lentelė. Avižų konkurencingumas (%) jas auginant kartu su pupinėmis žolėmis

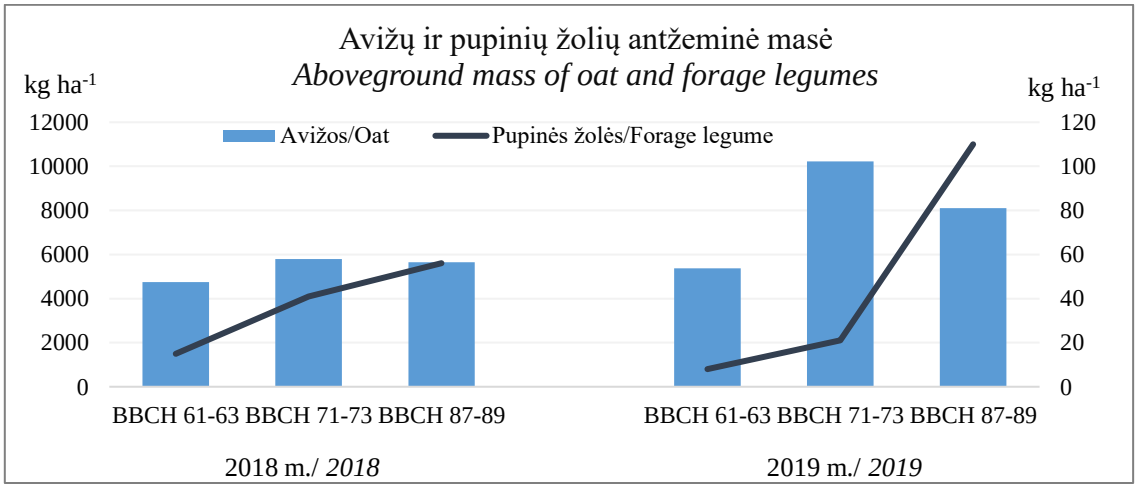
Table 3.2. *Competitiveness of oat (%) when grown together with forage legumes*

Variantai / *Treatment*	2018 m. / *2018*			2019 m. / *2019*		
	Avižų augimo etapas / *Oat growth stage*			Avižų augimo etapas / *Oat growth stage*		
	žydėjimas / *flowering*	grūdų vystymasis / *grain development*	grūdų brendimas / *ripened grain*	žydėjimas / *flowering*	grūdų vystymasis / *grain development*	grūdų brendimas / *ripened grain*
A+AL	97,1 ± 1,31	98,9 ± 0,47	98,0 ± 0,81	96,3 ± 2,89	91,4 ± 3,17	97,7 ± 0,53
A+BD	97,7 ± 0,67	98,5 ± 057	98,1 ± 0,28	96,2 ± 2,98	97,5 ± 2,08	95,7 ± 2,11
A+ED	97,0 ± 1,07	98,9 ± 0,17	98,2 ± 0,34	95,9 ± 2,33	92,5 ± 3,95	97,0 ± 0,65
Metų vidurkis / Year average	*98,1 a*			*95,6 b*		

Pastaba: dvinariai pasėliai: A+AL – avižos + apyninių liucernų įsėlis, A+BD – avižos + baltųjų dobilų įsėlis, A+ED – avižos + egiptinių dobilų įsėlis.

Note: intercropping: A+AL – oat undersown with black medick, A+BD – oat undersown with white clover, A+ED – oat undersown with Egyptian clover.

Pupinių žolių antžeminės masės augimo intensyvumas įvairiais metais buvo skirtingas (3.4 paveikslas). Pupinės žolės intensyviausiai augo 2018 m. – BBCH 61–73, 2019 m. – BBCH 71–89 avižų augimo tarpsniais.



3.4 paveikslas. Avižų ir pupinių žolių antžeminės masės kitimas vegetacijos metu avižų su pupinių žolių dvinariuose pasėliuose

Figure 3.4. *Changes in the aboveground mass of oat and forage legumes during vegetation in oat and forage legumes intercropping*

Apibendrinus tyrimo duomenis galima teigti, kad avižų konkurencijos rodiklis buvo didelis. Visiškai sudygusios pupinės žolės geba prisitaikyti prie avižų augimo ritmo ir intensyvumo. Didžiausias pupinių žolių derlius nustatytas, kai avižų konkurencingumas susilpnėjo – dažniausiai po avižų žydėjimo tarpsnio. Pupines žoles auginant su avižomis žolių derlius yra mažas, o pagrindinis jų augimas vyksta nuėmus avižų derlių.

3.1.4. Avižų produktyvumas

Palyginus skirtingų vegetacijos laikotarpių duomenis nustatyta, kad 2019 m. sudygusių augalų ir produktyvių stiebų skaičius buvo mažesnis, o šluotelės grūdų skaičius bei masė ir 1000 grūdų masė (TGM) didesnė, palyginus su 2018 m. (3.3 lentelė). Tai lėmė nevienodos metų meteorologinės sąlygos. Dėl pupinių žolių įsėlių auginimo 2018 m. avižų šluotelės grūdų skaičius ir masė buvo esmingai mažesni, palyginus su avižomis be įsėlio. 2019 m. mažiau palankios augalų dygimo sąlygos lėmė retesnį avižų pasėlį ir ne tokį nuoseklų produktyvumo rodiklių formavimąsi.

3.3 lentelė. Avižų vienanarių ir dvinarių pasėlių derlingumo komponentų kitimas 2018 ir 2019 m

Table 3.3. *Changes in yield components of oat in monocropping and intercropping systems in 2018 and 2019*

Vienanariai ir dvinariai pasėliai / *Mono- and intercrops*	Augalų skaičius (vnt. m^{-2}) / *Crop number (Plant m^{-2})*		Šluotelių skaičius (vnt. m^{-2}) / *Number of panicles (panicle m^{-2})*	Grūdų skaičius šluotelėje / *Grain number per panicle*	Grūdų svoris šluotelėje g / *Grain weight per panicle g*	TGM g / *TGW g*	Grūdų derlingumas kg ha^{-1} / *Grain yield kg ha^{-1}*
	pupinės žolės/ *forage legumes*	Avižos/ *Oat*					
2018 m./*2018*							
A		381 a	406 ab	44,3 b	1,46 b	32,3 a	2889 ab
A+AL	33 b	429 ab	445 b	34,3 a	1,11 a	32,9 ab	2900 ab
A+BD	32 ab	413 ab	425 b	37 a	1,16 a	32,9 ab	2932 ab
A+ED	29 ab	440 bc	451 bc	36 a	1,15 a	32,7 ab	3058 b
Vidurkis/ Average	*31*	*416*	*432*	*37,9*	*1,22*	*32,7*	*2945*
2019 m./*2019*							
A		199 a	371 abc	55 ab	1,99 ab	38,1 ab	4087 b
A+AL	38 ab	194 ab	380 bc	57 ab	2,01 ab	38,5 ab	4075 ab
A+BD	42 ab	188 ab	382 c	55 ab	2,02 b	39,2 b	3974 ab
A+ED	49 b	201 b	348 a	57 b	2,02 ab	38,9 ab	3892 ab
Vidurkis/ Average	*43*	*195*	*370*	*55,8*	*2,01*	*38,7*	*4007*

Pastaba: vienanariai pasėliai: A – avižos; dvinariai pasėliai: A+AL – avižos + apyninių liucernų įsėlis, A+BD – avižos + baltųjų dobilų įsėlis, A+ED – avižos + egiptinių dobilų įsėlis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

Note: monocropping system:A – oat; intercropping systems: A+AL – oat undersown with black medick, A+BD – oat undersown with white clover, A+ED – oat undersown with Egyptian clover; means followed by the same letters are not significantly different at $p < 0.05$.

Avižų šluotelės produktyvumo rodikliai buvo gerokai didesni retesniame pasėlyje nei tankesniame ir tarp variantų iš esmės nesiskyrė. Nustatyta, kad avižų derliaus skirtumus lėmė nevienodi produktyvumo rodikliai. Dvejų metų tyrimo rezultatai parodė, kad optimalaus tankumo pasėlyje susiformuoja daugiau grūdų, jie būna stambesni, todėl TGM pasižymi didesniu svoriu, o tai ir lemia didesnį avižų derlių. Nustatyta, kad pupinių žolių įsėlis neturėjo esminės įtakos avižų grūdų derliui. Didžiausias grūdų derlius gautas avižas auginant su egiptinių dobilų įsėliu. 2018 m. avižų grūdų derlius buvo 25,6 % mažesnis, palyginus su 2019 m.

Avižų derliaus formavimuisi esminės įtakos turėjo meteorologinės sąlygos, kurios lėmė produktyvumo komponentų formavimosi dėsningumus ir derlių. Pupinių žolių įtaka šiems rodikliams buvo mažesnė.

3.1.5. Maisto medžiagų kiekis, sukauptas avižų grūduose ir pupinių žolių antžeminėje masėje

Avižų grūduose 2018 ir 2019 m. nustatyta 15,0–15,80 ir 20,79–21,54 g kg^{-1} N SM, 3,29–3,64 ir 3,12–3,33 g kg^{-1} P SM 6,62–7,09 ir 3,04–3,30 g kg^{-1} K SM (duomenys nepateikti). Azoto ir kalio koncentracija grūduose priklausė nuo metų ($p < 0,01$), o pupinės žolės esminio poveikio neturėjo. Grūduose sukauptam maisto medžiagų kiekiui turėjo įtakos avižų derlius ir meteorologinės sąlygos. 2019 m. azoto koncentracija grūduose buvo vidutiniškai 38,7 % didesnė, o derliuje sukauptas jo kiekis beveik du kartus didesnis, palyginus su 2018 m. Dėl metų įtakos fosforo koncentracija avižų grūduose skyrėsi nedaug. 2018 m. užauginti 1 kg avižų grūdų buvo sunaudota žymiai daugiau kalio, palyginus su 2019 m. Tyrimo duomenys parodė dvinario avižų ir egiptinių dobilų pasėlio augalų konkurenciją dėl maisto medžiagų, kitaip nei daugiamečių žolių. Reikšmingesni NPK koncentracijos skirtumai buvo nustatyti pupinių žolių antžeminėje masėje (3.4 lentelė).

3.4 lentelė. Pupinių žolių antžeminėje masėje sukauptas maisto medžiagų kiekis
Table 3.4. *The amount of nutrients accumulated in the aboveground mass of forage legumes*

Vienanariai ir dvinariai pasėliai / *Mono- and intercrops*	Maisto medžiagų koncentracija, g kg^{-1} SM / *Concentration of nutrients, g kg^{-1} DM*			Sukauptų maisto medžiagų kiekis, kg ha^{-1} SM / *Accumulated nutrients, kg ha^{-1} DM*		
	N	P	K	N	P	K
2018 m. / *2018*						
AL	28,10 bc	2,84 ab	22,77 ab	65,13	6,58	52,32
A+AL	27,80 b	2,99 abcd	40,17 def	1,33	0,14	1,60
BD	28,87 bcde	2,95 ab	32,40 cd	117,01	10,22	111,48
A+BD	27,83 b	2,98 ab	41,27 f	1,75	0,19	2,61
ED	28,50 bc	3,29 d	30,37 c	100,72	11,65	106,32
A+ED	22,20 a	3,29 cd	33,87 cdef	1,36	0,20	2,06
Vidurkis / *Average*	*27,22*	*3,06*	*33,48*	*47,88*	*4,83*	*46,07*

2019 m. / *2019*						
AL	30,9 bcde	2,97 ab	27,93 bc	82,51	7,95	74,51
A+AL	31,75 cde	3,10 bcd	0,93 a	2,09	0,20	1,33
BD	28,87 bcde	2,75 a	34,13 cdef	96,36	8,84	110,63
A+BD	32,68 e	2,88 ab	31,68 c	4,86	0,43	4,56
ED	29,63 bcde	2,88 ab	26,90 abc	115,74	11,25	105,12
A+ED	29,63 bcde	2,88 ab	26,90 abc	3,63	0,35	3,31
Vidurkis / *Average*	*30,58*	*2,91*	*24,75*	*50,87*	*4,84*	*49,91*
Vidurkiai / *Averages*						
AL				73,82 d	7,26 b	63,41 b
A+AL				1,71 a	0,17 a	1,47 a
BD				106,69 c	9,53 c	105,72 c
A+BD				3,3 a	0,31 a	3,59 a
ED				108,23 c	11,45 d	111,05 c
A+ED				2,50 a	0,28 a	2,69 a

Pastaba: vienanariai pasėliai: AL – apyninės liucernos, BD – baltieji dobilai, ED – egiptiniai dobilai; dvinariai pasėliai: A+AL – avižos + apyninių liucernų įsėlis, A+BD – avižos + baltųjų dobilų įsėlis, A+ED – avižos + egiptinių dobilų įsėlis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

Note: monocropping systems: AL – black medick, BD – white clover, ED – Egyptian clover; intercropping systems: A+AL – oat undersown with black medick, A+BD – oat undersown with white clover, A+ED – oat undersown with Egyptian clover; means followed by the same letters are not significantly different at $p < 0.05$.

2018 m. pupines žoles auginant su avižomis, jų masėje azoto koncentracija turėjo tendenciją mažėti, palyginus su žolių vienanariais pasėliais. Egiptinių dobilų antžeminėje masėje nustatyta iš esmės mažesnė azoto koncentracija, palyginus su kitomis vienanarėmis pupinėmis žolėmis. 2019 m. baltųjų dobilų antžeminėje masėje (dvinaris A+BD pasėlis) nustatyta iš esmės didesnė azoto koncentracija, palyginus su 27baltųjų dobilų vienanariu pasėliu. Vidutiniais dvejų metų duomenimis, antžeminėje masėje iš esmės daugiau azoto sukaupė baltųjų ir egiptinių dobilų vienanariai pasėliai. Tarp pupinių žolių, augintų dvinariuose pasėliuose su avižomis, esminių skirtumų nenustatyta. Egiptiniai dobilai (2018 m.) ir apyninės liucernos (2019 m.) sukaupė didžiausią kiekį fosforo 1 kg antžeminės masės SM, nepriklausomai nuo auginimo būdo. Pupinių žolių, augintų su avižomis, antžeminėje masėje fosforo buvo sukaupta labai mažai. Didžiausia kalio koncentracija nustatyta baltųjų dobilų masėje, nepriklausomai nuo auginimo metų ir būdo. 2018 m. apyninių liucernų ir baltųjų dobilų vienanariuose pasėliuose kalio koncentracija žolių antžeminėje masėje žymiai padidėjo, palyginus su atitinkamais pupinių žolių vienanariais pasėliais, o 2019 m., priešingai, sumažėjo (apyninių liucernų – esmingai). Tyrimo duomenys rodo, kad mažiausiai maisto medžiagų sukaupė apyninės liucernos, daugiausia – baltieji dobilai.

Apibendrinus dvejų metų avižų auginimo su pupinėmis žolėmis duomenis galima teigti, kad avižos buvo dominuojantis augalas. Augalų antžeminės masės formavimosi dėsningumus ir avižų derlių lėmė meteorologinės sąlygos. Pupinės žolės intensyviausiai augo šiais avižų augimo tarpsniais: 2018 m. – BBCH 61–73, 2019 m. – BBCH 71–89. Antžeminę masę greičiausiai

formavo vienamečiai egiptiniai dobilai. Dėl avižų konkurencingumo pupinių žolių antžeminė masė sumažėjo 91,4–98,9 %, palyginus su vienanariais pasėliais. Avižoms pradėjus formuoti grūdus (BBCH 71–73 tarpsniais) jų konkurencingumas pradėjo mažėti. Piktžolių masė nustatyta mažesnė avižų ir pupinių žolių pasėlyje, palyginus su pupinių žolių vienanariu pasėliu. Avižos ir pupinės žolės labiausiai konkuravo dėl fosforo, o azoto ir kalio kiekis reikšmingos įtakos neturėjo. Pupinės žolės, augdamos dvinariame pasėlyje su avižomis, sukaupė nedidelį kiekį maisto medžiagų: N – 1,33–4,86 kg ha^{-1} SM, P – 0,14–0,43 kg ha^{-1} SM ir K – 1,33–4,56 kg ha^{-1} SM.

Diskusija

Avižų derliaus formavimosi dėsningumus lėmė meteorologinės sąlygos. Šio tyrimo duomenimis, pupinių žolių įsėlis galėjo turėti neigiamos įtakos vėliau besiformuojantiems derliaus komponentams (grūdų skaičiui ir masei), tačiau derliaus nesumažino. Duomenys sutampa su kitų tyrėjų, kurie teigia, kad pupinių žolių įsėlis javų derliui reikšmingos įtakos neturi (Amosse ir kt., 2013). Avižoms bręstant (nuo liepos vidurio iki rugpjūčio pradžios), sukauptų asimiliantų perskirstymas augale lėmė avižų antžeminės masės sumažėjimą (2019 m.) arba nežymų kitimą (2018 m.), pasėlio apatinio ardo atidengimą. Javų konkurencijos sumažėjimą augalų vegetacijos pabaigoje pastebi ir kiti tyrėjai (Wanic ir kt., 2016). Šiuo laikotarpiu susidarė palankios sąlygos pasėlio apatinio ardo augalams augti. Teigiama, kad javų dominavimas prieš pupines žoles yra būtinas, kad būtų išvengta javų derliaus nuostolių (Andersen ir kt., 2007).

Pupinių žolių tankumas priklauso nuo dygimo sąlygų, t. y. kritulių kiekio ir pasiskirstymo. Tyrimo metu po sėjos užsitęsusi sausra lėmė ilgesnį ir netolygų augalų dygimą. Pupinių žolių įsėlio antžeminė masė pradėjo intensyviau formuotis išplaukėjus avižoms. Jos prieaugis priklausė nuo avižų antžeminės masės: jai didėjant pupinių žolių masė mažėjo. Intensyviausiai vystėsi vienamečiai egiptiniai dobilai – jų masė buvo didžiausia. Dvinariam javų ir egiptinių dobilų pasėlio derlingumui turi įtakos javų veislės, tankumas, sėklos dygimo laikas ir meteorologinės sąlygos (Ross ir kt., 2004; Haq ir kt., 2020). Wanic ir kt. (2016) nurodo, kad vasarinių kviečių (*Triticum aestivum* L.) ir vienamečių persinių dobilų (*Trifolium resupinatum* L.) didžiausia konkurencija vyksta javų esant bamblėjimo tarpsniu (BBCH 31–32) – per visą vegetacijos laikotarpį vienamečių dobilų masė sumažėja du kartus. Skirtingai nei pateikia kiti tyrėjai (Barilli ir kt., 2017; Sharpe ir kt., 2018), apyninių liucernų antžeminė masė buvo mažiausia. Tai galėjo lemti rūšies genetinė įvairovė ir veislė. Kitų tyrėjų duomenimis, su žieminiais kviečiais geriausiai konkuravo apyninės liucernos ir raudonieji dobilai – išaugino didžiausią antžeminę biomasę ir sukaupė daugiau azoto (Boe ir kt., 2016; McKenna ir kt., 2018). Mūsų tyrimo duomenys patvirtina teiginį, kad pupinių žolių masės kaupimasis javų pasėlyje yra minimalus, o didžioji dalis biomasės

formuojasi po javų derliaus nuėmimo (Bybee-Finley ir Ryan, 2018). Nustatyta, kad javų popjūtiniu laikotarpiu pupinių augalų masė padidėja 6 kartus (Bergkvist ir kt., 2011). Gaudin ir kt. (2013) nustatė, kad augalų biomasės kaupimuisi turi įtakos aplinkos veiksniai – dirvožemio granuliometrinė sudėtis, kritulių kiekis ir jo pasiskirstymas augimo laikotarpiu.

Dobilų įsėlis įsitvirtina žemesniame pasėlio arde ir taip konkuruoja su piktžolėmis. Tai ypač svarbu vasaros antroje pusėje, kai pradeda džiūti javų lapai ir dobilai pradeda dengti dirvos paviršių (Gaudin ir kt., 2013;). Augalai ir piktžolės konkuruoja dėl šviesos, vandens ir maisto medžiagų (Liebman ir Davis 2000; Lu ir kt., 2000; Teasdale ir kt. 2007). Hollander ir kt. (2007) teigia, kad santykinį augimo greitį lemia dobilų savybės, pavyzdžiui, efektyvus šviesos panaudojimas ir specifinis lapų plotas. Nustatyta, kad dirvos paviršių greičiausias padengia vienamečiai persiniai dobilai (Maighany ir kt., 2007). Gaudin ir kt. (2013) nustatė, kad pupinių žolių rūšys, kurios duoda didelį antžeminės masės derlių, yra laikomos vienomis konkurencingiausių augalų dėl maisto medžiagų. Pupinių augalų konkurencingumas taip pat priklauso nuo sėjos normų ir sėjos laiko (Hollander ir kt., 2007). Kaip teigia kiti tyrėjai, kartu su javais pupiniai augantys augalai gali slopinti piktžoles, tačiau gali ir su jais konkuruoti (Hollander ir kt., 2007; Pfeiffer ir kt. 2015). Verret ir kt. (2017) nurodo, kad pupinių augalų auginimas dažniausiai padidina piktžolių kontrolę nesumažinant pasėlių derlingumo. Mūsų tyrimo metu su piktžolėmis geriausiai konkuravo egiptiniai dobilai; tai patvirtina ir kiti tyrėjai (Ross ir kt., 2004; Hannaway ir Larson, 2018). Pupinių žolių vienanariai pasėliai silpnai konkuravo su piktžolėmis. Daugelis piktžolių rūšių yra prisitaikiusios plisti javuose, todėl prieš derliaus nuėmimą daugelis jų jau būna nudžiūvusios, subrandinusios sėklas ir išbarsčiusios dirvos paviršiuje.

Pupinių žolių įsėlio auginamas ne tik sumažina pasėlio piktžolėtumą, bet ir sėjomainoje padidina azoto atsargas. Pupinių žolių įsėlis iki rudens iš atmosferos gali sukaupti 71–96 % N, skaičiuojant nuo bendro antžeminėje masėje sukaupto azoto kiekio (Amossé ir kt., 2014). Mūsų tyrimo metu dvinariuose pasėliuose pupinės žolės sukaupė mažai azoto; tai patvirtina ir kiti tyrėjai (Känkänen ir Eriksson, 2007). Tai vyksta todėl, kad stelbiamos javų pupinės žolės mažiau gauna saulės šviesos, drėgmės, prasčiau formuojasi gumbelinės bakterijos, jų efektyvumas mažesnis (Engin ir Sprent, 1973; Silsbury, 1981). Kitų tyrėjų duomenimis, pupiniai augalai gali fiksuoti daugiau azoto auginami kartu su javais nei atskirai (Schipanski ir Drinkwater, 2011). Mažėjant pupinių žolių derliui, derliuje sukauptas suminis azoto kiekis yra nedidelis (Schipanski ir Drinkwater, 2011). Teigiama, kad konkurencija dėl azoto gali pakenkti, kai javai ir pupiniai augalai sėjami pavasarį tuo pačiu metu (Amosse ir kt., 2014). Augalų rūšys su skirtingais augimo ciklais gali užtikrinti efektyvesnį aplinkos išteklių naudojimą (Liu ir kt., 2015). Mūsų tyrimo metu silpnesnį pupinių žolių išsivystymą ir konkurenciją dėl išteklių galėjo lemti sausra po sėjos.

Nurodoma, kad azoto pasisavinimą skatino konkurencija su pagrindiniais pasėliais (Doltra ir Olesen, 2013).

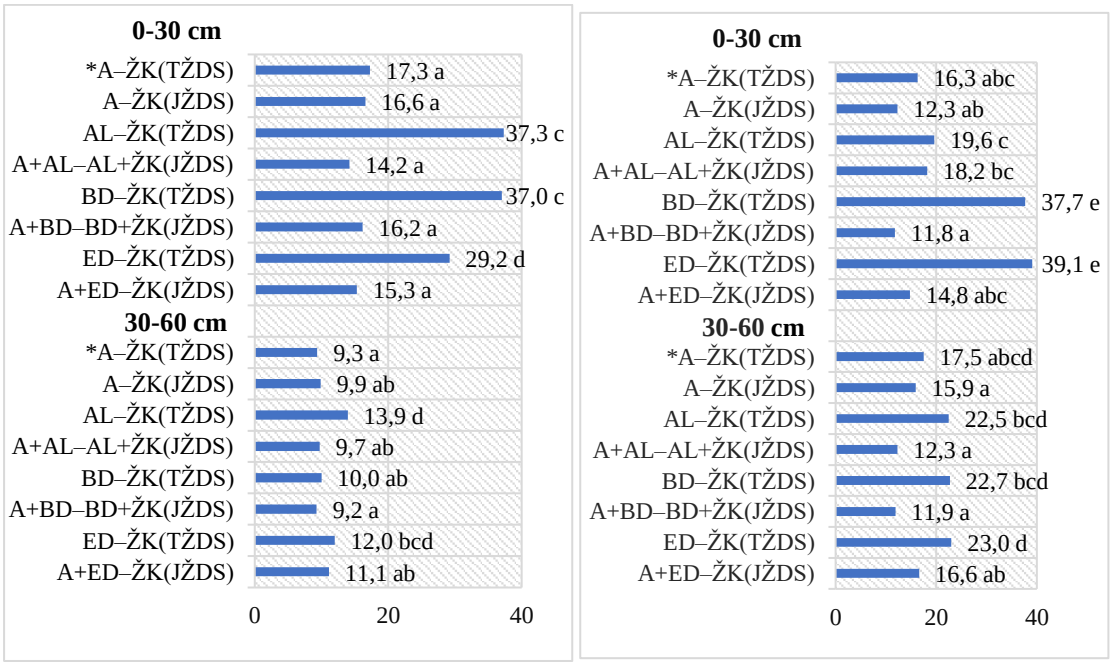
3.2. Pupinių žolių ir žieminių kviečių dvinario pasėlio formavimosi dėsningumai ir produktyvumas

3.2.1. Dirvožemio mineralinio azoto formų kitimas

Nitratinis azotas (N-NO_3). N-NH_4 ir N-NO_3 kiekiai buvo nustatyti ir įvertinti tris kartus: 1) žieminių kviečių sėjos metais, žieminių kviečių vegetacijos pabaigoje, 2) pavasarį, atsinaujinus žieminių kviečių vegetacijai, 3) po dvinarių pasėlių auginimo, vegetacijos pabaigoje.

Žieminių kviečių sėjos metais, vegetacijos pabaigoje. Žemės dirbimas ir žieminių kviečių sėja turėjo esminės įtakos ($p < 0,01$) N-NO_3 kiekio kitimui vėlai rudenį (pirma apskaita) (3.5a paveikslas). Pupines žoles (apynines liucernas ir baltuosius bei egiptinius dobilus) aparus vėlai rudenį, prieš žieminių kviečių sėją, N-NO_3 kiekis dirvožemio 0–30 cm sluoksnyje esmingai padidėjo, palyginus su žieminių kviečių sėja po avižų taikant TŽDS ir JŽDS. Žieminius kviečius auginant po apyninių liucernų aparimo, N-NO_3 padidėjo 2,2 karto, po baltųjų dobilų – 2,1 karto, po egiptinių dobilų – 68,8 %, palyginus su žieminių kviečių sėja po avižų (JŽDS). Juostinis žemės dirbimas ir sėja turėjo tendenciją 4,0–17,9 % mažinti NO_3 kiekį. Gilesniame dirvožemio sluoksnyje N-NO_3 kiekio kitimo tendencijos buvo panašios. Esmingai didesnis NO_3 kiekis nustatytas po apyninių liucernų ir egiptinių dobilų aparimo, palyginus su sėja po avižų lauką suarus.

II eksperimento duomenimis, N-NO_3 kiekis dirvožemyje kito panašiai kaip ir I eksperimente, tačiau skirtumai buvo ryškesni gilesniame dirvožemio sluoksnyje (3.5b paveikslas). Didžiausias N-NO_3 kiekis (0–30 cm sluoksnyje) nustatytas aparus pupines žoles baltuosius ir egiptinius dobilus; tai sudarė atitinkamai 2,3 ir 2,4 karto daugiau nei aparus avižų ražienas. Žieminius kviečius auginant po apyninių liucernų aparimo N-NO_3 kiekis padidėjo neesmingai (20,2 %). Dirvožemio gilesniame (30–60 cm) sluoksnyje didžiausias N-NO_3 kiekis nustatytas aparus pupines žoles (po egiptinių dobilų – skirtumas esminis). Juostinis žemės dirbimas ir žieminių kviečių sėja į pupines žoles arba avižų ražienas pagal N-NO_3 kiekį buvo beveik lygiaverčiai. Pupinėms žolėms taikant JŽDS, N-NO_3 kiekis buvo esmingai mažesnis (27,8–47,6 %) nei jas aparus.



a) 2018 m./ *2018* b) 2019 m./ *2019*

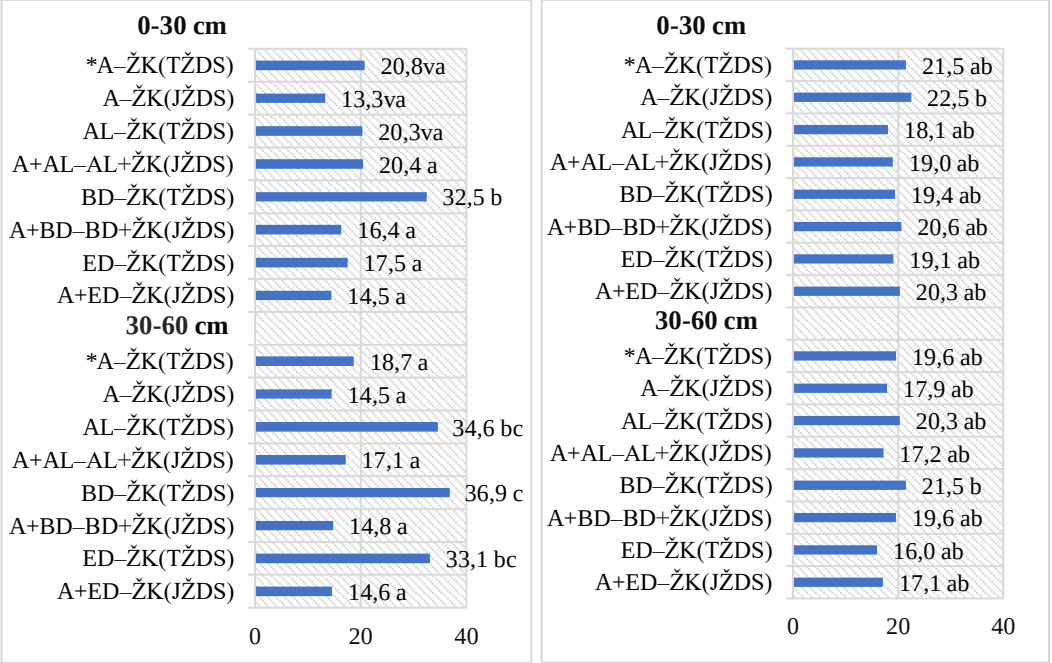
3.5 paveikslas. Dirvožemio N-NO_3 kiekis žieminių kviečių vegetacijos pabaigoje 2018 (a) ir 2019 (b)

Figure 3.5. *Soil N-NO_3 content at the end of winter wheat vegetation 2018 (a) and 2019 (b)*

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai, AL–ŽK – apyninės liucernos – žieminiai kviečiai, BD–ŽK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai, ED–ŽK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+ED–ŽK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat , AL–ŽK – black medick – winter wheat, BD–ŽK – white clover – winter wheat, ED–ŽK – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; A+ED–ED+ŽK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – controlt; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

Pavasarį, atsinaujinus žieminių kviečių vegetacijai. I eksperimento duomenų analizė parodė, kad N-NO_3 kiekiui (0–30 cm sluoksnyje) didėjant rudenį, jo kiekis didėjo ir pavasarį (viršutiniame sluoksnyje $r = 0,58$*, gilesniame $r = 0,97$**) (antra apskaita, duomenys nepateikti). 2019 m. pavasarį, atsinaujinus žieminių kviečių vegetacijai, N-NO_3 kiekį didino dirvų arimas iš rudens. N-NO_3 kiekis esmingai didėjo kviečius auginant dirvožemio 0–30 cm sluoksnyje po baltųjų dobilų (TŽDS) – 56,2 % ir 30–60 cm sluoksnyje po visų pupinių žolių (TŽDS) – 77,0–97,3 %, palyginus su sėja po avižų (TŽDS) (3.6a paveikslas). Juostinis žemės dirbimas ir sėja į pupines žoles turėjo tendenciją mažinti N-NO_3 kiekį abiejuose dirvožemio sluoksniuose, palyginus su kviečių sėja po avižų (TŽDS). II eksperimente ryškių N-NO_3 kiekio pokyčių abiejuose dirvožemio sluoksniuose tarp žemės dirbimo ir žieminių kviečių sėjos būdų nenustatyta (3.6b paveikslas).



a) 2019 m./ *2019* b) 2020 m./ *2020*

3.6 paveikslas. Dirvožemio N-NO_3 kiekis pavasarį, atsinaujinus žieminių kviečių vegetacijai 2019 (a) ir 2020 (b) metais

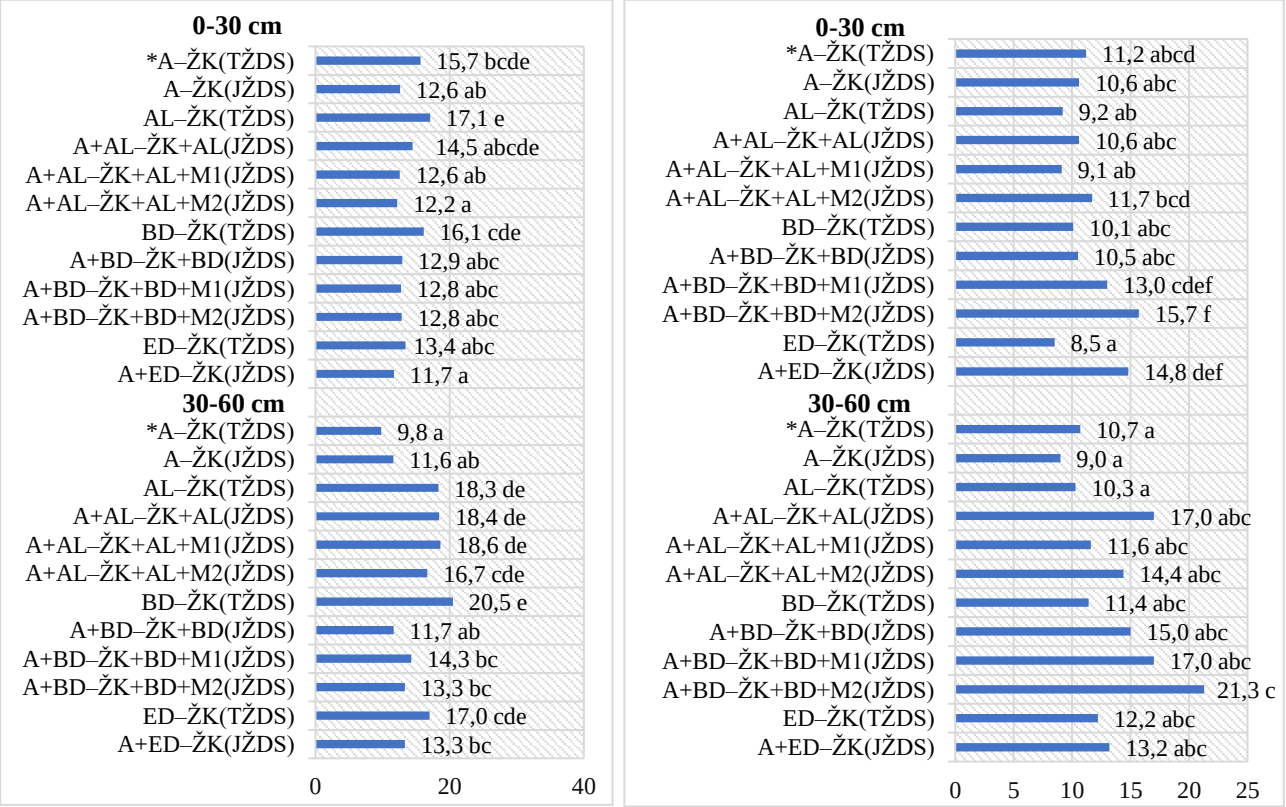
Figure 3.6. *Soil N-NO_3 content after renewal of winter wheat vegetation in spring 2019 (a) and 2020 (b)*

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai, AL–ŽK – apyninės liucernos – žieminiai kviečiai, BD–ŽK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai, ED–ŽK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+ED–ŽK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat , AL–ŽK – black medick – winter wheat, BD–ŽK – white clover – winter wheat, ED–ŽK – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; A+ED–ED+ŽK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – controlt; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

Po dvinarių pasėlių auginimo vegetacijos pabaigoje. 2019 m. vegetacijos pabaigoje (I eksperimentas, trečia apskaita) nustatyta, kad didžiausias N-NO_3 kiekis dirvožemio 0–30 cm sluoksnyje buvo žieminius kviečius auginant po apyninių liucernų ir baltųjų dobilų taikant tradicinį žemės dirbimo ir sėjos būdą (3.7a paveikslas). Palyginus su šiais variantais, juostinis žemės dirbimas ir sėja esmingai sumažino N-NO_3 kiekį, žieminius kviečius sėjant į avižų ražienas, egiptinių dobilų ir apyninių liucernų antžeminę masę mulčiuojant. N-NO_3 buvo nežymiai daugiau ir skirtumai tarp variantų ryškesni dirvožemio 30–60 cm sluoksnyje nei viršutiniame. Mažiausias N-NO_3 kiekis nustatytas žieminius kviečius auginant po avižų (TŽDS). Visos pupinės žolės

(TŽDS) kaip žieminių kviečių priešsėlis N-NO_3 kiekį padidino esmingai (nuo 73,5 % iki 2 kartų), palyginus su avižų priešsėliu (TŽDS). Juostinis žemės dirbimas ir sėja N-NO_3 kiekį padidino esmingai, išskyrus sėją į avižų ražienas ir į baltuosius dobilus, palyginus su sėja po avižų (TŽDS). Didžiausias N-NO_3 kiekis dirvožemyje nustatytas auginant dvinarį dvinarį apyninių liucernų ir žieminių kviečių pasėlį.



a) 2019 m./ *2019* b) 2020 m./ *2020*

3.7 paveikslas. Dirvožemio N-NO_3 kiekis po dvinarių pasėlių auginimo vegetacijos pabaigoje 2019 (a) ir 2020 (b) metais

Figure 3.7. *Soil N-NO_3 content after the cultivation intercrops in 2019 (a) and 2020 (b) at the end of vegetation*

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai, AL–ŽK – apyninės liucernos – žieminiai kviečiai, BD–ŽK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai, ED–ŽK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+ED–ŽK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai; M1 – pupinių žolių mulčiavimas vieną kartą, M2 – pupinių žolių mulčiavimas du kartus; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat , AL–ŽK – black medick – winter wheat, BD–ŽK – white clover – winter wheat, ED–ŽK – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; A+ED–ED+ŽK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; M1 – mulching once, M2 – mulching twice; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – controlt; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

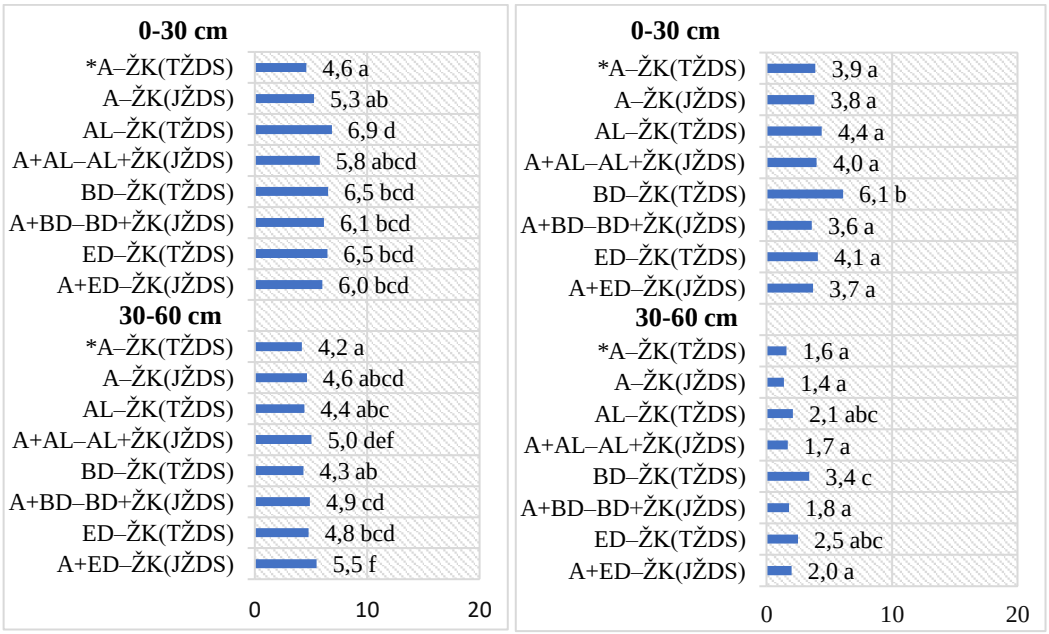
II eksperimento duomenimis, augalų vegetacijos pabaigoje dirvožemio viršutiniame sluoksnyje tendenciją mažinti N-NO_3 kiekį turėjo suarimas po pupinių žolių (3.7b paveikslas). Daugiausia N-NO_3 nustatyta po baltųjų dobilų (JŽDS), jų antžeminę masę mulčiuojant arba taikant juostinį žemės dirbimą ir kviečių sėją į egiptinius dobilus. Pagal N-NO_3 kiekį dirvožemyje, juostinė sėja ir į avižų ražienas, ir į baltuosius dobilus arba apynines liucernas (be antžeminės masės mulčiavimo) buvo lygiavertės.

Pupinės žolės padidino N-NO_3 kiekį dirvožemio 30–60 cm sluoksnyje. Dirvožemyje po dvinario AL+ŽK pasėlio daugiausia N-NO_3 buvo pupinių žolių antžeminę masę nemulčiuojant arba mulčiuojant du kartus. Daugiausia N-NO_3 nustatyta po dvinario BD+ŽK pasėlio. Didinant mulčiavimų skaičių šis kiekis nuosekliai didėjo.

Apibendrinus nitratinio azoto (N-NO_3) tyrimo rezultatus galima padaryti išvadą, kad esminės įtakos N-NO3 kiekio kitimui dirvožemyje turėjo skirtingas žemės dirbimo ir žieminių kviečių sėjos būdas. N-NO_3 kiekis dirvožemyje esmingai didėjo po apartų pupinių žolių (apyninių liucernų ir baltųjų bei egiptinių dobilų) ir tradicinės žieminių kviečių sėjos, vėlai rudenį. Pavasarį, atsinaujinus žieminių kviečių vegetacijai, N-NO_3 kiekis esmingai didėjo viršutiniame ir gilesniame sluoksniuose po vienanarių pupinių žolių aparimo. Dvinaris pasėlis ir juostinis žemės dirbimas bei sėja turėjo tendenciją mažinti N-NO_3 kiekį abiejuose dirvožemio sluoksniuose. Po žieminių kviečių derliaus nuėmimo, vėlai rudenį, pupinės žolės didino N-NO_3 kiekį. Daugiausia N-NO_3 buvo tradicinio žemės dirbimo laukeliuose. Juostinis žemės dirbimas ir sėja iš esmės didino N-NO_3 kiekį dirvožemyje, labiausiai – AL+ŽK ir BD+ŽK variantuose.

Amoniakinis azotas (N-NH_4). *Žieminių kviečių sėjos metais, vegetacijos pabaigoje.* Palyginus su N-NO_3, N-NO_4 sudarė mažesnę dalį mineralinio azoto. I eksperimento duomenimis, žieminių kviečių sėjos metais (2018 m., pirma apskaita), esmingai didesnis N-NH_4 kiekis (0–30 cm sluoksnyje) nustatytas pupines žoles aparus (41,3–50,0 %) arba taikant juostinį žemės dirbimą ir sėją (30,4–32,6 %, išskyrus apynines liucernas), palyginus su sėja po avižų (TŽDS) (3.8a paveikslas). Dirvožemio gilesniame (30–60 cm) sluoksnyje N-NH_4 kiekį esmingai padidino (16,7–31,0 %) juostinis žemės dirbimas ir žieminių kviečių sėja į pupines žoles, palyginus su tradiciniu žemės dirbimu ir sėja po avižų. Dirvožemio viršutiniame sluoksnyje mažėjant N-NO_3, apatiniame N-NH_4 kiekis didėjo; šis vidutinio stiprumo atvirkštinis tiesinis ryšys buvo esminis (r = −0,61*).

II eksperimento duomenimis, 2019 m. esmingai didesnis N-NH_4 kiekis dirvožemio 0–30 cm sluoksnyje nustatytas baltuosius dobilus aparus; skirtumas sudarė 56,4 %, palyginus su kontroliniu laukeliu (3.8b paveikslas). Dirvožemio gilesniame sluoksnyje N-NH_4 kiekį didino pupinių žolių aparimas (baltųjų dobilų – esmingai).



a) 2018 m./ *2018* b) 2019 m./ *2019*

3.8 paveikslas. Dirvožemio N-NH_4 kiekis žieminių kviečių vegetacijos pabaigoje 2018 (a) ir 2019 (b)

Figure 3.8. *Soil N-NH_4 content at the end of winter wheat vegetation 2018 (a) and 2019 (b)*

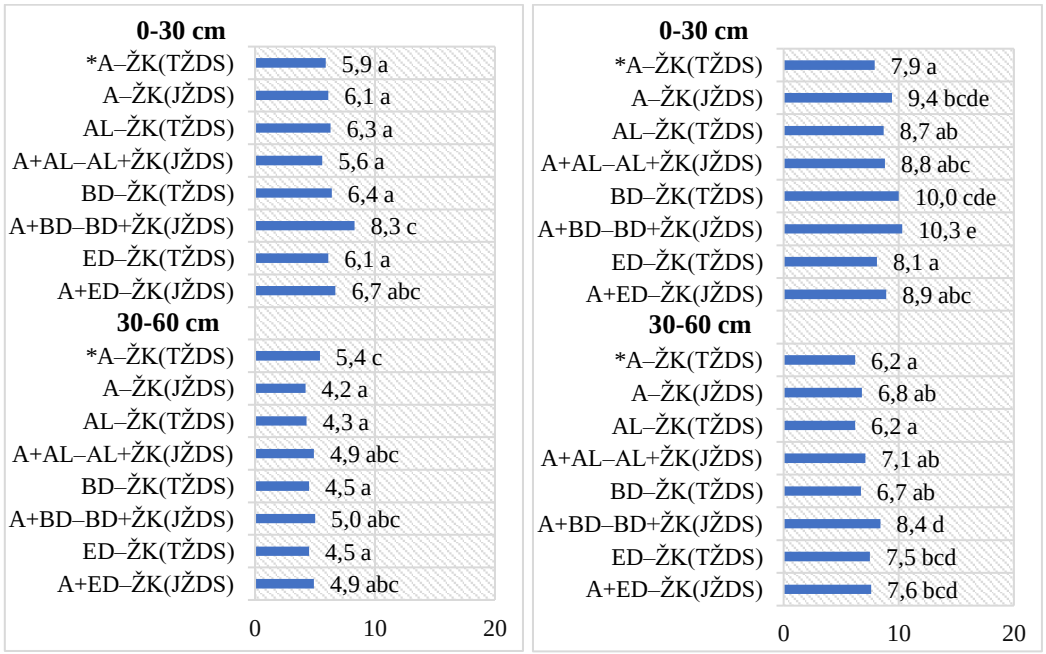
Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai, AL–ŽK – apyninės liucernos – žieminiai kviečiai, BD–ŽK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai, ED–ŽK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+ED–ŽK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat , AL–ŽK – black medick – winter wheat, BD–ŽK – white clover – winter wheat, ED–ŽK – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; A+ED–ED+ŽK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – controlt; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

Pavasarį, atsinaujinus žieminių kviečių vegetacijai. I eksperimente antros apskaitos metu (2019 m., atsinaujinus žieminių kviečių vegetacijai) nustatyta, kad N-NH_4 buvo sukaupta vidutiniškai 36,1 % daugiau dirvožemio viršutiniame sluoksnyje nei gilesniame (3.9a paveikslas). Taikant juostinį žemės dirbimą ir žieminių kviečių sėją, egiptiniai ir baltieji dobilai (pastarieji – esmingai) padidino N-NH_4 kiekį. Dirvožemio gilesniame sluoksnyje daugiausia N-NH_4 nustatyta aparus avižų ražienas ir taikant juostinį žemės dirbimą bei sėją į apynines liucernas, baltuosius ir egiptinius dobilus. Aparus pupines žoles arba taikant juostinę sėją, N-NH_4 kiekis iš esmės nesiskyrė.

II eksperimento (2020 m.) duomenimis, atsinaujinus žieminių kviečių vegetacijai dirvožemio 0–30 cm sluoksnyje didžiausią N-NH_4 kiekį lėmė baltieji dobilai, nepriklausomai nuo

žemės dirbimo ir sėjos būdo (3.9b paveikslas). Palyginus su kontroliniu laukeliu, skirtumai buvo esminiai. N-NH_4 kiekį taip pat esmingai padidino juostinis žemės dirbimas ir sėja į avižų ražienas, palyginus su jų aparimu.



a) 2019 m./ *2019* b) 2020 m./ *2020*

3.9 paveikslas. Dirvožemio N-NH_4 kiekis pavasarį, atsinaujinus žieminių kviečių vegetacijai 2019 (a) ir 2020 (b) metais

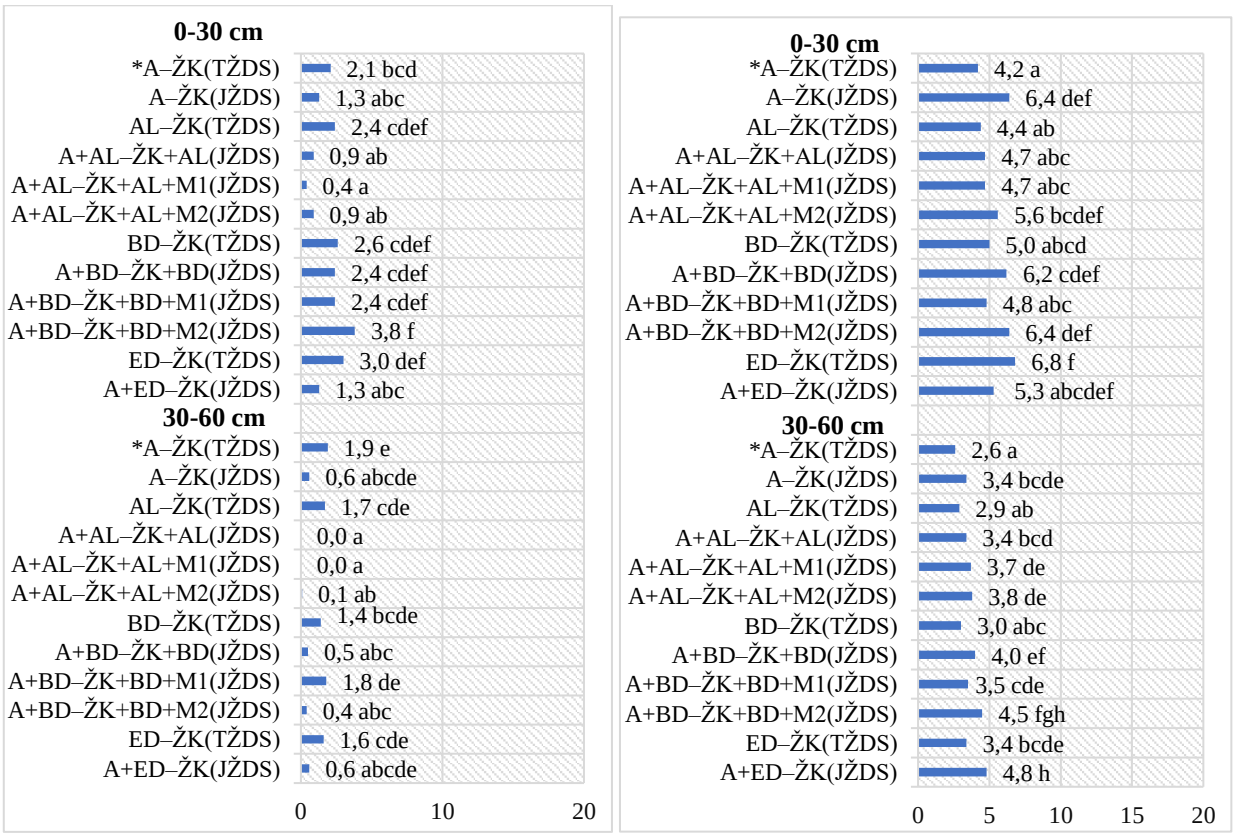
Figure 3.9. *Soil N-NH_4 content after renewal of winter wheat vegetation in spring 2019 (a) and 2020 (b)*

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai, AL–ŽK – apyninės liucernos – žieminiai kviečiai, BD–ŽK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai, ED–ŽK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+ED–ŽK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; vidurkiai, pažymėti tomis pačiomis raidėmis esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat , AL–ŽK – black medick – winter wheat, BD–ŽK – white clover – winter wheat, ED–ŽK – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; A+ED–ED+ŽK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – controlt; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

Po dvinarių pasėlių auginimo vegetacijos pabaigoje. I eksperimento (2019 m.) duomenimis, dirvožemio viršutiniame sluoksnyje N-NH_4 buvo 2,3 karto daugiau nei apatiniame (3.10a paveikslas). Arimas žieminius kviečius sėjant ir po avižų, ir po pupinių žolių turėjo tendenciją didinti N-NH_4 kiekį, palyginus su juostine sėja. Palyginus su tradiciniu žemės dirbimu

ir kviečių sėja po avižų, esmingai mažiau N-NH_4 nustatyta apyninių liucernų variantuose (išskyrus kviečių sėją po jų aparimo).



a) 2019 m./ *2019* b) 2020 m./ *2020*

3.10 paveikslas. Dirvožemio N-NH_4 kiekis po dvinarių pasėlių auginimo 2019 (a) ir 2020 (b) metais vegetacijos pabaigoje

Figure 3.10. *Soil N-NH_4 content after the cultivation intercrops in 2019 (a) and 2020 (b) at the end of their vegetation*

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai, AL–ŽK – apyninės liucernos – žieminiai kviečiai, BD–ŽK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai, ED–ŽK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+ED–ŽK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai; M1 – pupinių žolių mulčiavimas vieną kartą, M2 – pupinių žolių mulčiavimas du kartus; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat , AL–ŽK – black medick – winter wheat, BD–ŽK – white clover – winter wheat, ED–ŽK – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; A+ED–ED+ŽK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; M1 – mulching once, M2 – mulching twice; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – controlt; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

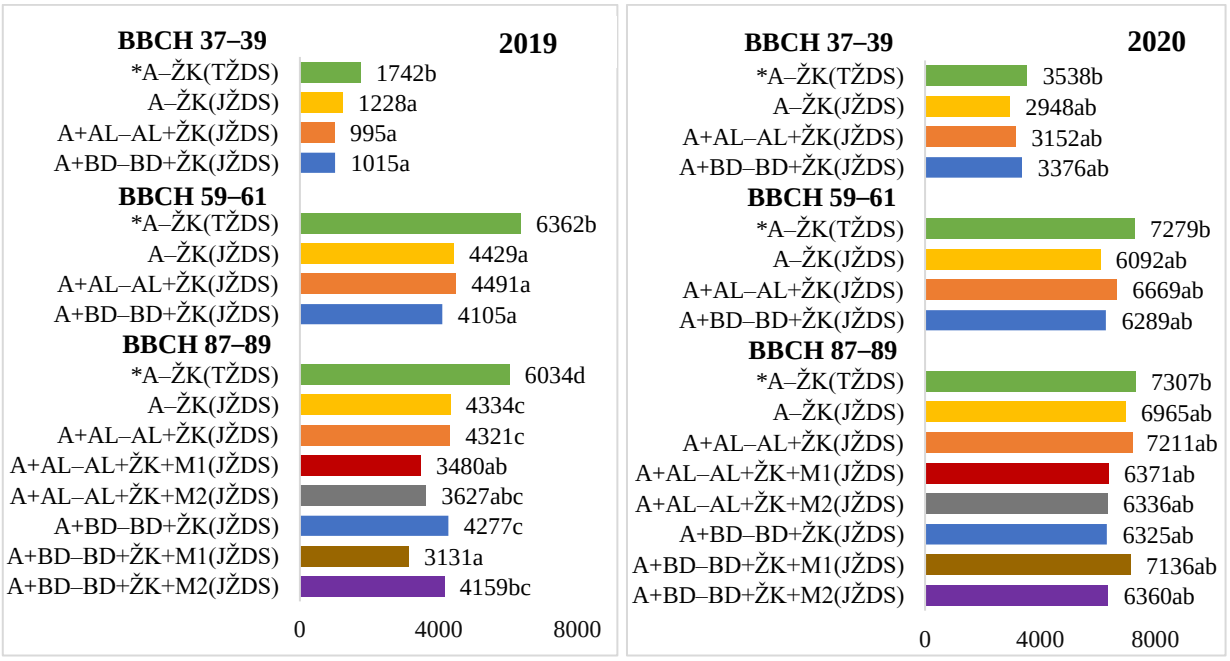
Didžiausias $N\text{-}NH_4$ kiekis buvo sėjomainos grandyje auginant baltuosius dobilus (nepriklausomai nuo žemės dirbimo ir sėjos būdų). Dirvožemio gilesniame sluoksnyje didžiausias $N\text{-}NH_4$ kiekis nustatytas prieš žieminių kviečių sėją artuose laukeliuose.

Panaši skirtingų pupinių augalų rūšių įtaka $N\text{-}NH_4$ kiekio kitimui, kaip ir I eksperimente (0–30 cm), išliko ir II eksperimente dirvožemio 0–30 cm sluoksnyje (3.10b paveikslas). Tačiau žemės dirbimo būdų įtaka nebuvo dėsninga. Pupinių žolių antžeminės masės mulčiavimas du kartus $N\text{-}H_4$ kiekį padidino iš esmės, palyginus su kontroliniu laukeliu. Vertinant dirvožemio 30–60 cm sluoksnį nustatyta, kad arimas $N\text{-}NH_4$ kiekį mažino (išskyrus arimą po egiptinių dobilų), o juostinė sėja didino. Vidutiniais duomenimis, JŽDS $N\text{-}NH_4$ kiekį padidino 34,1 %, palyginus su kontroliniu laukeliu.

Apibendrinus amoniakinio azoto ($N\text{-}NH_4$) tyrimo duomenis nustatyta, kad pupinės žolės didino $N\text{-}NH_4$ kiekį dirvožemyje. Žieminių kviečių sėjos metais, vegetacijos pabaigoje apartos pupinės žolės esmingai didino $N\text{-}NH_4$ kiekį dirvožemyje. Didžiausias $N\text{-}NH_4$ kiekis nustatytas po egiptinių dobilų. Pavasarį, atsinaujinus žieminių kviečių vegetacijai, $N\text{-}NH_4$ kiekio kitimas buvo panašus abiejuose dirvožemio sluoksniuose. Tradicinis ir juostinis žemės dirbimas ir sėja turėjo tendenciją didinti $N\text{-}NH_4$ kiekį. Didžiausią $N\text{-}NH_4$ kiekį lėmė baltieji dobilai. Vėlai rudenį, po žieminių kviečių derliaus nuėmimo, dirvožemio viršutiniame sluoksnyje $N\text{-}NH_4$ buvo 2,3 karto daugiau nei apatiniame. $N\text{-}NH_4$ kiekį dirvožemyje juostinis žemės dirbimas ir sėja didino, o tradicinis žemės dirbimas daugeliu atvejų jį mažino (išskyrus egiptinius dobilus).

3.2.2. Pupinių žolių ir žieminių kviečių antžeminės masės kitimas vegetacijos metu

Žieminiai kviečiai. Žieminių kviečių antžeminės masės formavimosi intensyvumas vegetacijos metu pateiktas 3.11 paveiksle. I eksperimento duomenimis, žieminiams javams pasiekus BBCH 37–39 augimo tarpsnį, juostinė sėja kviečių antžeminės masės derlių sumažino iš esmės (nuo 29,5 iki 42,9 %), palyginus su sėtais tradiciniu būdu. II eksperimento duomenimis, žieminių kviečių antžeminės masės derlius buvo vidutiniškai 2,6 karto didesnis, palyginus su I eksperimento duomenimis, ir skirtumai tarp žieminių kviečių sėjos būdų buvo neesminiai. Žieminiams kviečiams išplaukėjus ir pasiekus žydėjimo pradžios tarpsnį (BBCH 59–61), antžeminė masė padidėjo vidutiniškai 3,9 karto (I eksperimentas) ir 2 kartus (II eksperimentas), palyginus su javų BBCH 37–39 tarpsnio duomenimis. Pupinių žolių ir žemės dirbimo bei sėjos būdų analogiška įtaka išliko ir antros apskaitos metu. Didžiausia žieminių kviečių antžeminė masė buvo aparus avižų ražienas.



a) 2019 m./ *2019* b) 2020 m./ *2020*

3.11 paveikslas. Vienanariuose ir dvinariuose pasėliuose augintų žieminių kviečių antžeminės masės (kg ha^{-1} SM) kitimas vegetacijos metu

Figure 3.11. *Changes in the aboveground mass (kg ha^{-1} DM) of winter wheat grown in monocropping and intercropping systems during their vegetation*

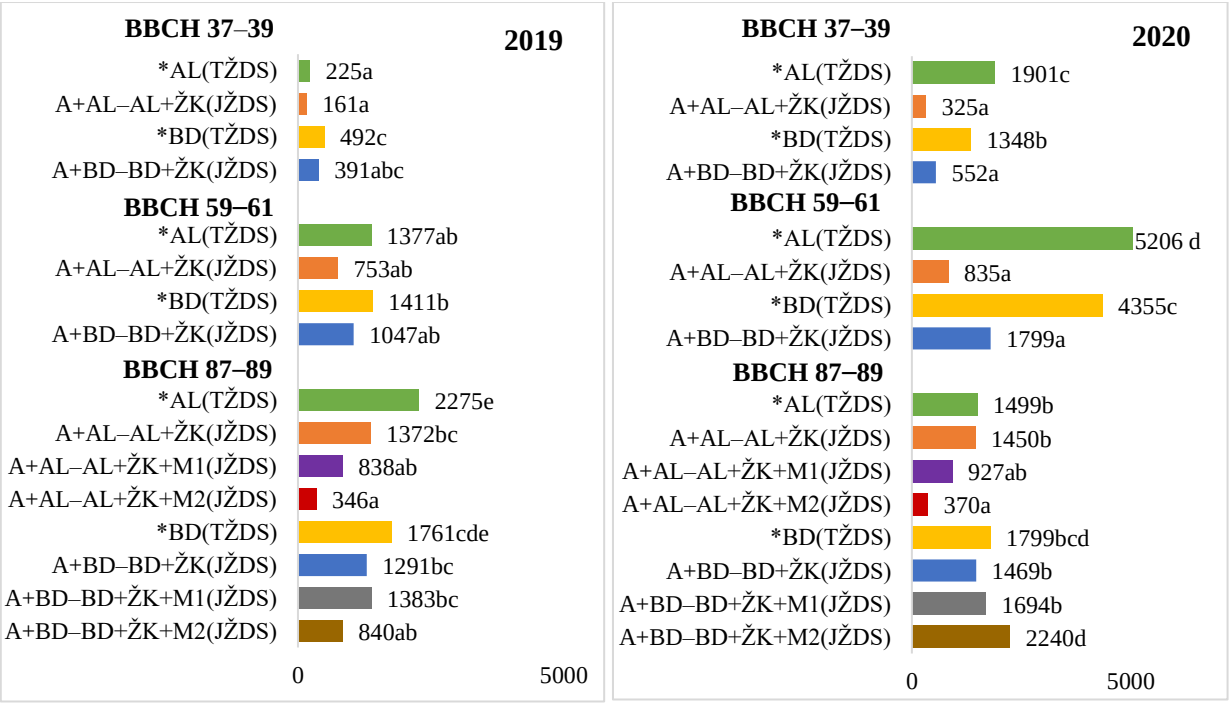
Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai; M1 – pupinių žolių mulčiavimas vieną kartą, M2 – pupinių žolių mulčiavimas du kartus; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; M1 – mulching once, M2 – mulching twice; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

Žieminiams kviečiams pasiekus visišką brandą, jų antžeminė masė turėjo tendenciją mažėti, palyginus su prieš tai buvusia apskaita. I eksperimente iš esmės didesnė žieminių kviečių antžeminė masė nustatyta juos auginant po apartų avižų. II eksperimento duomenys parodė tik šio rodiklio kitimo tendencijas. Antžeminės masės mulčiavimas mažino pupinių žolių produktyvumą. II eksperimento žieminių kviečių, augintų tradiciniu ir juostiniu būdu dvinariuose pasėliuose, antžeminės masės duomenys iš esmės nesiskyrė. Didžiausias derlius nustatytas žieminius kviečius auginant tradiciniu būdu ir dvinariuose pasėliuose su apyninėmis liucernomis ir baltųjų dobilų antžeminę masę mulčiuojant vieną kartą.

Pupinės žolės. Žieminių kviečių augimo tarpsniais (BBCH 37–39 bei BBCH 59–61) įvertintas pupinių žolių, augintų dvinariuose ir vienanariuose pasėliuose, antžeminės masės

kitimas pateiktas 3.12 paveiksle. I eksperimento vegetacijos pirmoje pusėje pupinėms žolėms augti meteorologinės sąlygos buvo patenkinamos. Apskaitą atliekant javų BBCH 37–39 augimo tarpsniu nustatyta, kad baltųjų dobilų antžeminė masė buvo didesnė nei apyninių liucernų. II eksperimente gauti priešingi pupinių žolių antžeminės masės duomenys. 2020 m. (II eksperimentas) buvo palankesni pupinėms žolėms sudygti ir augti. Palyginus dvinariuose pasėliuose augintas pupines žoles su augintomis vienanariuose pasėliuose, abiem tyrimo metais gautas antžeminės masės sumažėjimas (II eksperimente – esminis). su atitinkamais vienanariais pasėliais.



a) 2019 m./ *2019* b) 2020 m./ *2020*

3.12 paveikslas. Vienanariuose ir dvinariuose pasėliuose augintų pupinių žolių antžeminės masės (kg ha^{-1} SM) kitimas vegetacijos metu

Figure 3.12. *Change of aboveground mass (kg ha^{-1} SM) of forage legumes grown in monocropping and intercropping systems during vegetation*

Pastaba: vienanariai pasėliai: AL – apyninės liucernos, BD – baltieji dobilai; dvinariai pasėliai: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai; M1 – pupinių žolių mulčiavimas vieną kartą, M2 – pupinių žolių mulčiavimas du kartus; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: AL – black medick, BD – white clover; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; M1 – mulching once, 2M2 – mulching twice; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

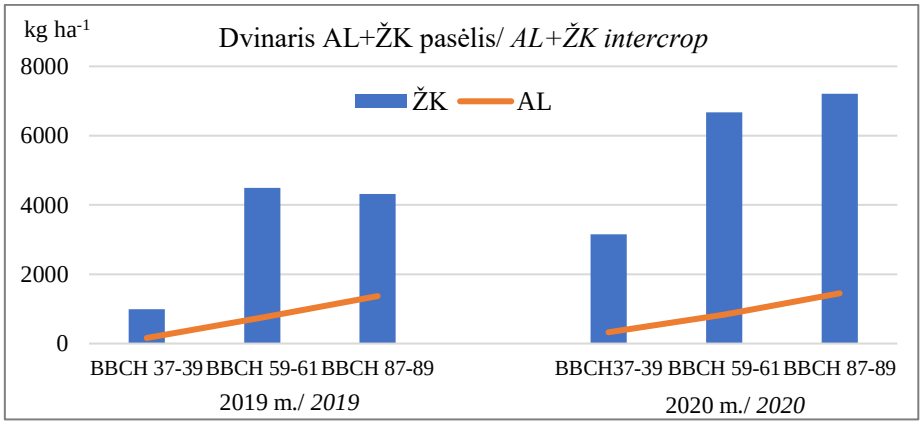
Javų žydėjimo pradžios tarpsniu skirtingų rūšių pupinių žolių, augintų vienanariuose pasėliuose, masė beveik susilygino ir tarpusavyje iš esmės nesiskyrė. Tačiau I eksperimento apyninių liucernų ir baltųjų dobilų antžeminė masė buvo gerokai mažesnė (73,5 ir 67,6 %) nei II eksperimento. I ir II eksperimento duomenimis, dvinariuose pasėliuose augintų apyninių liucernų antžeminė masė buvo 45,3 ir 84,0 %, o baltųjų dobilų – 25,2 ir 58,7 % mažesnė, palyginus su atitinkamais vienanariais pasėliais.

Javams pasiekus visišką brandą (BBCH 87–89), pupinių žolių antžeminė masė priklausė nuo jų antžeminės masės mulčiavimo. Pupinės žolės, augintos vienanariuose ir dvinariuose be mulčiavimo pasėliuose, brandino sėklas, jų antžeminė masė mažėjo. Abiem tyrimo metais nustatyta didžiausia vienanarių pupinių žolių antžeminė masė. Pupines žoles auginant dvinariuose pasėliuose su žieminiais kviečiais, antžeminė masė mažėjo, tačiau skirtumai tarp variantų buvo neesminiai ($p \leq 0,05$). I eksperimento duomenimis, dvinarių pupinių žolių (apyninių liucernų ir baltųjų dobilų) antžeminė masė ir mulčiuojant vieną kartą, ir be mulčiavimo esmingai nesiskyrė. Pupinių žolių mulčiavimas du kartus gerokai padidino antžeminės masės nuostolius (apyninių liucernų – esmingai). II eksperimento duomenimis, apyninių liucernų mulčiavimas esmingai mažino antžeminę masę: mulčiuojant vieną kartą – 36,1 %, du kartus – 74,5 %, palyginus su variantu be mulčiavimo. Baltųjų dobilų antžeminės masės mulčiavimas, antžeminei masei reikšmingos įtakos neturėjo.

Apibendrinus tyrimo rezultatus galima teigti, kad visos vegetacijos metu pupinės žolės mažino žieminių kviečių antžeminės masės derlių. Didžiausia žieminių kviečių antžeminė masė nustatyta aparus avižų ražienas (TŽDS). Pirmaisiais augimo tarpsniais (BBCH 37–39 ir 59–61) didžiausia antžeminė masė buvo vienanarių baltųjų dobilų, vėlesniais (BBCH 87–89) – apyninių liucernų pasėlio. Pupinių žolių mulčiavimas esmingai sumažino jų antžeminę masę. Intensyviam mulčiavimui apyninės liucernos mažiau atsparios nei baltieji dobilai.

3.2.3. Pupinių žolių ir žieminių kviečių, augintų dvinariuose pasėliuose, konkurencijos intensyvumas

Vertinant dvinario pasėlio produktyvumą, išryškėjo kelios pagrindinės derliaus formavimosi tendencijos. Visų pirma, antžeminės masės SM kaupimosi dėsningumus ir augalų tarpusavio sąveiką lėmė metų meteorologinės sąlygos. Dvinariame AL+ŽK pasėlyje kviečiams pasiekus BBCH 59–61 tarpsnį, 2019 ir 2020 m. antžeminės masės SM kiekis padidėjo 4,5 ir 2,1 karto, palyginus su BBCH 37–39 augimo tarpsniu (3.13 paveikslas).

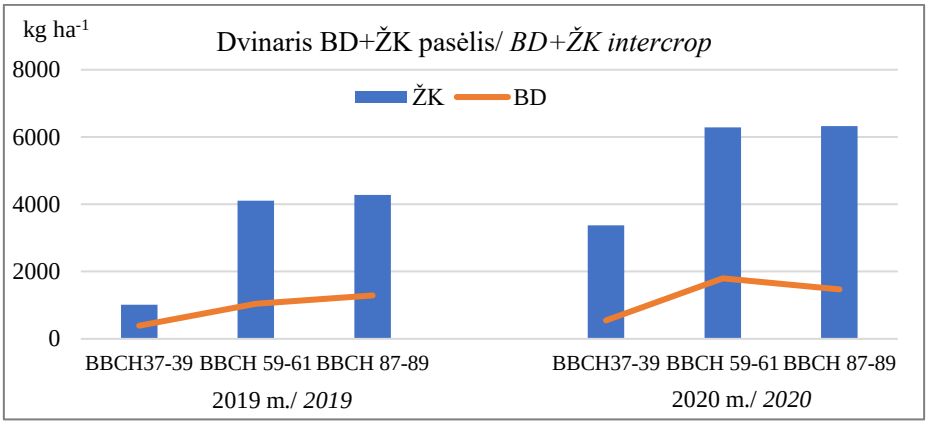


3.13 paveikslas. Augalų antžeminės masės kitimas dvinariame apyninių liucernų ir žieminių kviečių pasėlyje vegetacijos metu

Figure 3.13. *Change of aboveground mass of plants in black medick and winter wheat intercropping during vegetation*

Vėlesniais tarpsniais antžeminės masės prieaugis mažai kito, tuo metu apyninių liucernų antžeminė masė nuosekliai didėjo iki javų pilnos brandos tarpsnio ir mažai priklausė nuo metų. Apyninės liucernos žydi nuo balandžio iki rugpjūčio, o sėklos noksta nuo liepos iki rugsėjo mėnesio, todėl jų augimo tarpsnių reikšmingesnė įtaka žieminių kviečių derliui nenustatyta. Žieminių kviečių antžeminė masė analogiškai kito ir dvinariame BD+ŽK pasėlyje, tik skirtumai buvo šiek tiek mažesni (3.14 paveikslas). Tačiau javams pasiekus žydėjimo tarpsnį baltųjų dobilų antžeminė masė nežymiai padidėjo (2019 m., I eksperimentas), o palankiais metais (2020 m., II eksperimentas), javams suformavus didelę antžeminę masę, sumažėjo. Baltųjų dobilų žydėjimo ir brandos tarpsniai dažniausiai sutampa su javų, todėl liepos mėnesio antroje pusėje jų antžeminė masė džiūva, nokinamos sėklos.

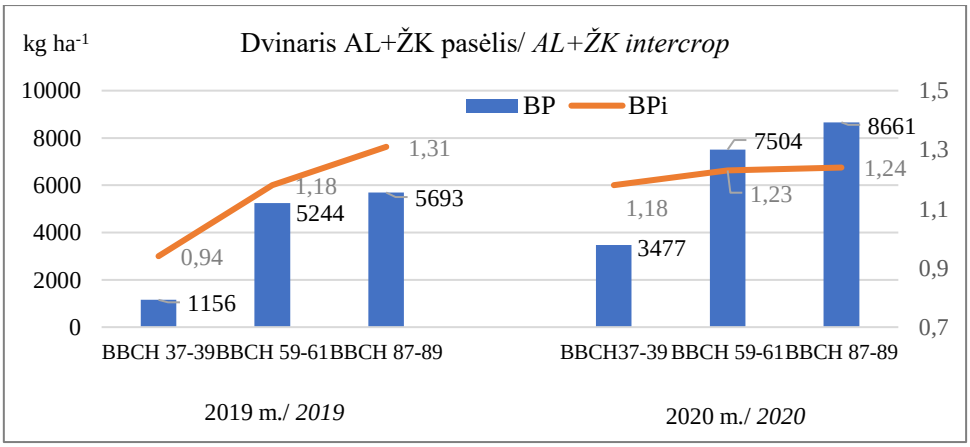
Palyginus skirtingų metų dvinarių pasėlių bendro produktyvumo duomenis matyti, kad bendram produktyvumui daugiau įtakos turėjo žieminiai kviečiai nei pupinės žolės. Augalams mažiau palankiais augti 2019 m. bendras produktyvumas ir AL+ŽK, ir BD+ŽK pasėliuose mažai skyrėsi (3.13 ir 3.14 paveikslai). Tačiau 2020 m. didžiausias DB+ŽK produktyvumas buvo pasiektas javų žydėjimo pradžios (BBCH 59–61) tarpsniu, o AL+ŽK – pilnos brandos tarpsniu.



3.14 paveikslas. Augalų antžeminės masės kitimas dvinariame baltųjų dobilų ir žieminių kviečių pasėlyje vegetacijos metu

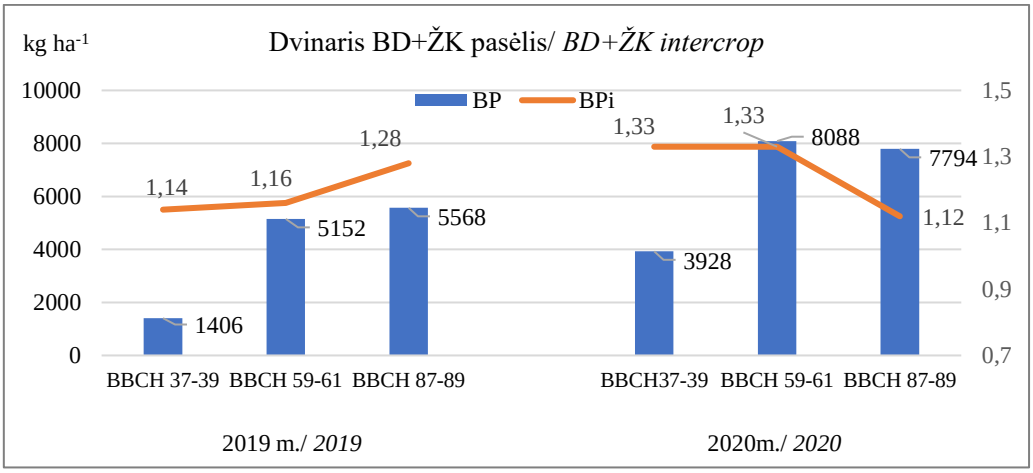
Figure 3.14. *Change of aboveground mass of plants in white clover and winter wheat intercropingp during vegetation*

Žieminius kviečius auginant su pupinėmis žolėmis, saulės energija buvo išnaudojama efektyviau ir pasėlio bendras produktyvumas buvo didesnis nei žieminių kviečių vienanariame pasėlyje (3.15 ir 3.16 paveikslai). Augalams mažiau palankiais augti metais pasėlio bendras produktyvumas didėjo ir javams pasiekus visišką brandą buvo 31,4 % (AL+ŽK) ir 24,4 % (BD+ŽK) didesnis, palyginus su žieminių kviečių vienanariu pasėliu. 2020 m. bendras AL+ŽK produktyvumas žieminių kviečių vienanario pasėlio atžvilgiu kito beveik analogiškai (išskyrus BBCH 37–39 tarpsnį). Tačiau geresnis baltųjų dobilų įsitvirtinimas pavasarį lėmė intensyvesnį jų augimą ir didesnę antžeminę masę ankstyvesniais augimo tarpsniais, todėl bendras dvinario pasėlio produktyvumas padidėjo 33,2 % (BBCH 37–39) ir 32,8 % (BBCH 59–61), palyginus su žieminių kviečių vienanariu pasėliu.



3.15 paveikslas. Dvinario AL+ŽK pasėlio augalų bendro produktyvumo (BP) ir jo indekso (BPi) kitimas vegetacijos metu

Figure 3.15. *Changes in total plant productivity (BP) and it's index (Bpi) in black medick and winter wheat intercropping during vegetation*



3.16 paveikslas. Dvinario BD+ŽK pasėlio augalų bendro produktyvumo (BP) ir jo indekso (Bpi) kitimas vegetacijos metu

Figure 3.16. *Changes in total plant productivity (BP) and its index (Bpi) in white clower and winter wheat intercropping during vegetation*

Augalų konkurencija yra vienas iš daugelio ekologinių procesų, formuojančių augalų bendrijos sudėtį ir produktyvumą. Agresyvumas (A) ir konkurencijos santykis (KS) yra rodikliai, dažniausiai naudojami konkurencijos intensyvumui nustatyti (Weigelt ir Jolliffe, 2003). Agresyvumo vertei esant didesnei už 0, rūšis dominuoja, jei skaitmeninė vertė yra mažesnė už 0, rūšis yra stelbiama (Willey, Rao, 1980). Dvinariuose pasėliuose dominuojant žieminiams kviečiams, agresyvumo rodiklio ($A_{ŽK}$) vertė kito ir priklausė nuo metų, žieminių kviečių augimo tarpsnio ir pupinių žolių rūšies (3.5 lentelė).

3.5 lentelė. Žieminių kviečių, augintų dvinariuose pasėliuose su pupinėmis žolėmis, konkurencingumo rodikliai

Table 3.5. *Competitiveness indicators of winter wheat grown in intercropping with forage legumes*

Augimo tarpsnis / *Growth stage*	2019 m. / *2019*			2020 m. / *2020*		
	$A_{ŽK}$	KS	$SD_{ŽK}$	$A_{ŽK}$	KS	$SD_{ŽK}$
Dvinaris AL+ŽK pasėlis / *AL+ŽK intercrop*						
BBCH 37–39	0,26	1,13	81,9	1,12	6,25	107,8
BBCH 59–61	0,67	1,85	101,8	1,16	6,83	110,7
BBCH 87–89	0,60	1,65	101,1	0,28	1,07	110,1
Dvinaris BD+ŽK pasėlis / *BD+ŽK intercrop*						
BBCH 37–39	0,20	1,04	83,6	0,97	2,80	113,0
BBCH 59–61	0,37	1,25	93,4	0,83	2,50	108,5
BBCH 87–89	0,46	1,35	97,6	0,28	1,11	96,2

Pastaba: dvinariai pasėliai: AL+ŽK – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, BD+ŽK – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai.
Note: intercropping: AL+ŽK – black medick and winter wheat intercrop, BD+ŽK – white clover and winter wheat intercrop.

2019 m. duomenimis, dvinariuose pasėliuose bręstant žieminiams kviečiams, jų agresyvumo rodiklis ($A_{ŽK}$) didėjo. Žieminiams kviečiams palankiais augti 2020 m., kai jų antžeminė masė buvo 1,51–3,3 karto didesnė, palyginus su 2019 m., didžiausias agresyvumo rodiklis nustatytas BBCH 37–39 ir BBCH 59–61 augimo tarpsniais, mažiausias – BBCH 87–89 tarpsniu.

Vertinant pupines žoles nustatyta, kad abiem metais didžiausias žieminių kviečių agresyvumas buvo juos auginant dvinariame pasėlyje su apyninėmis liucernomis – 2020 m. jo vertė buvo >1. Dvinariame pasėlyje su baltaisiais dobilais žieminių kviečių agresyvumo vertė 2020 m. nesiekė 1. Tai galima paaiškinti pupinių žolių morfologiniais ir fiziologiniais ypatumais. Apyninės liucernos stiebus formuoja gulsčius, besidriekiančius dirvos paviršiumi, taip sudarydamos plokščias rozetes. Tačiau augdami dvinariame pasėlyje jų stiebai remiasi į žieminių kviečių stiebus ir kyla į viršų; tokiame pasėlyje jos gali būti 50–60 cm aukščio. Šios pupinės žolės pasižymi sąlygiškai silpnu atžėlimu nupjovus. Sėklų subrendimas ne vienu metu paskatina jų išbarstymą ir papildomą sudygimą. Baltieji dobilai formuoja šliaužiančius stiebus, kurie bamblių vietose įsišaknija ir tvirtai guli ant žemės, todėl javų brandos tarpsniu jie visiškai uždengia dirvos paviršių, kitaip nei apyninės liucernos (3.17 paveikslas). Šios pupinės žolės gali pasiekti 30 cm aukštį, yra atsparios dažnam pjovimui (greitai atželia) ir gerai atlaiko miglinių augalų konkurenciją.

3.17 paveikslas. Apyninių liucernų ir žieminių kviečių (a) bei baltųjų dobilų ir žieminių kviečių (b) dvinariai pasėliai (BBCH 87–89)

Figure 3.17. *Black medick and winter wheat intercropping (a) white clover and winter wheat intercropping (b) (BBCH 87–89)*

Konkurencijos santykis (KS) yra rodiklis, kuris parodo, kokiu intensyvumu vienos rūšies augalai konkuruoja su kitos. Šiam santykiui esant ≈1, tos pačios rūšies augalų, augintų dvinariame ir vienanariame pasėlyje, antžeminės masės derlius nėra paveiktas konkurencijos. I eksperimento duomenimis, javų augimo BBCH 37–39 tarpsniu augalų konkurencija buvo nedidelė, tačiau ji turėjo neigiamos įtakos ir kviečiams, ir pupinėms žolėms. Tikėtina, kad antžeminės masės formavimuisi turėjo įtakos besikartojančios pavasarinės sausros. Žieminių kviečių antžeminės masės derlius sudarė atitinkamai 81,9 % (AL+ŽK) ir 83,6 % (BD+ŽK) žieminių kviečių vienanario pasėlio derliaus. Dvinario AL+ŽK pasėlio augalų KS javų augimo BBCH 59–61 ir 87–89 tarpsniais buvo atitinkamai 1,85 ir 1,65. Tai lėmė mažesnis apyninių liucernų antžeminės masės derliaus santykis dvinariuose ir vienanariuose pasėliuose. Žieminių kviečių antžeminės masės derlius dvinariame pasėlyje sudarė atitinkamai 101,8 ir 101,1 %, žieminių kviečių vienanario pasėlio derliaus. Dvinario BD+ŽK pasėlio augalų KS buvo mažesnis nei AL+ŽK pasėlio dėl mažesnio skirtumo tarp baltųjų dobilų antžeminės masės, juos auginant dvinariame ir vienanariame pasėlyje. Tačiau mažėjo ir žieminių kviečių antžeminės masės derlius, t. y. santykinis derlius ($SD_{ŽK}$) siekė 93,4 % (BBCH 59–61) ir 97,6 % (BBCH 87–89). II eksperimento duomenimis, pupinės žolės buvo stipriai stelbiamos. Ryškus pupinių žolių antžeminės masės derliaus sumažėjimas nustatytas ankstyvesniais (BBCH 37–39 ir 59–61) javų augimo tarpsniais. Dvinariame AL+ŽK pasėlyje KS siekė 6,25 ir 6,83 (BBCH 37–39 ir 59–61). Šis santykis dvinariame BD+ŽK pasėlyje, kaip ir I eksperimente, buvo mažesnis atitinkamai 2,8 ir 2,5. Šiuo laikotarpiu žieminių kviečių antžeminė masė dvinariame ir vienanariame pasėlyje mažai skyrėsi. Žieminius kviečius auginant viename pasėlyje su apyninėmis liucernomis, javų antžeminė masė buvo 7,8–10,7% didesnė, su baltaisiais dobilais – 8,5–13,0 % didesnė, palyginus su kviečių vienanario pasėlio derliumi.

Apibendrinus tyrimo rezultatus galima teikti, kad dvinario pasėlio augalų agresyvumo ir konkurencijos santykio rodiklių vertės priklausė nuo metų meteorologinių sąlygų, augalų augimo tarpsnio ir pupinių žolių rūšies. Dvinariuose AL+ŽK ir BD+ŽK pasėliuose dominavo žieminiai kviečiai, o pupinės žolės buvo stelbiamos. Didesnė agresyvumo rodiklio vertė nustatyta dvinariame AL+ŽK pasėlyje. Žieminiams kviečiams palankiais augti 2020 metais jų agresyvumas pasireiškė ankstyvesniais augimo tarpsniais.

Abiem metais didesnė žieminių kviečių konkurencijos santykio vertė buvo javus auginant su apyninėmis liucernomis nei su baltaisiais dobilais. Nepalankios meteorologinės sąlygos (pasikartojantys sausringi laikotarpiai 2019 m. pavasarį) didino augalų konkurencingumą ir mažino žieminių kviečių santykinį derlių. Tikėtina, kad baltųjų dobilų atsparumas žieminių kviečių konkurencijai buvo didesnis nei apyninių liucernų, todėl nustatytas nežymus žieminių kviečių santykinio derliaus sumažėjimas.

3.2.4. Žieminių kviečių, augintų vienanariuose ir dvinariuose pasėliuose, produktyvumo rodiklių formavimosi dėsningumai ir derlius

Produktyvus tankumas. I ir II eksperimentų duomenimis, žieminiai kviečiai vegetacijos pradžioje (BBCH 30–31) suformavo daugiausia produktyvių stiebų, juos pasėjus tradiciniu būdu (esmingai daugiau po baltųjų dobilų nei kontroliniame laukelyje) (3.6 lentelė).

3.6 lentelė. Žieminių kviečių bendras ir produktyvus tankumas

Table 3.6. *Total and productive density of winter wheat*

Vienanariai ir dvinariai pasėliai / *Mono- and intercrops*	Produktyvus tankumas vegetacijos metu vnt. m^{-2} / *Productive density during vegetation*		
	bendras stiebų skaičius / *total number of stems BBCH 30–31*	produktyvūs stiebai / *productive stems BBCH 37–39*	atmesti stiebai / *rejected stems*
2019 m./ *2019*			
*A–ŽK (TŽDS)	1291 c	599 bc	528 c
A–ŽK (JŽDS)	607 a	412 a	200 a
AL–ŽK (TŽDS)	1391 cde	832 e	499 bc
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	749 ab	483 ab	279 a
BD–ŽK (TŽDS)	1507 e	679 c	485 bc
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	783 ab	479 ab	231 a
ED–ŽK (TŽDS)	1405 cde	735 cde	495 bc
A+ED–ŽK (JŽDS)	833 b	435 a	192 a
Vidurkis/ Average	*1071*	*582*	*364*
2020 m./ *2020*			
*A–ŽK (TŽDS)	903 b	523 ab	297 b
A–ŽK (JŽDS)	580 a	565 b	280 ab
AL–ŽK (TŽDS)	859 b	649 bcd	193 ab
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	609 a	521 ab	244 ab
BD–ŽK (TŽDS)	1044 d	683 bcd	247 ab
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	669 a	379 a	197 ab
ED–ŽK (TŽDS)	936 bcd	765 d	193 ab
A+ED–ŽK (JŽDS)	609 a	515 ab	241 ab
Vidurkis/ Average	*776*	*575*	*237*

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai, AL–ŽK – apyninės liucernos – žieminiai kviečiai, BD–ŽK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai, ED–ŽK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+ED–ŽK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat , AL–ŽK – black medick – winter wheat, BD–ŽK – white clover – winter wheat, ED–ŽK – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; A+ED–ED+ŽK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

Javams pasiekus BBCH 37–39 augimo tarpsnį, dalis stiebų redukavo, t. y. sumažėjo vidutiniškai 45,7 % (I eksperimente) ir 25,9 % (II eksperimente). I eksperimento duomenimis, produktyvių stiebų skaičių esmingai sumažino visi juostinio žemės dirbimo ir sėjos variantai, palyginus su analogišku tradicinio žemės dirbimo variantu. II eksperimento duomenimis, tik dvinariuose BD+ŽK ir ED+ŽK pasėliuose auginti žieminiai kviečiai suformavo iš esmės mažiau produktyvių stiebų nei juos pasėjus po šių žolių aparimo. Įvertinus žieminių kviečių produktyvių stiebų redukciją nustatyta, kad, augalui suformavus mažiau produktyvių stiebų, mažiau jų atmesta. Iš esmės daugiau produktyvių stiebų buvo atmesta I eksperimento žieminių kviečių, taikant tradicinį žemės dirbimo ir sėjos būdą, palyginus su juostiniu. Abiejų eksperimentų duomenimis, daugiausia ūglių atmeta žieminiai kviečiai, pasėti po apartų avižų ražienų (kontrolinis laukelis).

Abiejų eksperimentų duomenimis, aukščiausi žieminiai kviečiai buvo juos auginant po apartų pupinių žolių su apyninėmis liucernomis ir baltaisiais bei egiptiniais dobilais (3.7 lentelė). Produktyvių stiebų (varpų) skaičius iki pilnos javų brandos ir toliau mažėjo (39,2 ir 33,2 %, I ir II eksperimentai), palyginus su BBCH 37–39 tarpsnio duomenimis. Didžiausias produktyvių stiebų skaičius nustatytas žieminiams kviečiams taikant tradicinį žemės dirbimą ir sėją, nepriklausomai nuo priešsėlio. II eksperimento duomenimis, didžiausia šio rodiklio vertė nustatyta tik pupines žoles (liucernas ir dobilus) aparus. Palyginus su kontroliniu laukeliu, esmingai didesnį grūdų skaičių varpoje lėmė tik baltųjų ir egiptinių dobilų aparimas (I eksperimentas). II eksperimente žieminiai kviečiai varpoje užmezgė daugiau grūdų (vidutiniškai 36,0). Iš esmės didesnį grūdų skaičių varpoje lėmė apyninių liucernų bei egiptinių aparimas ir žieminių kviečių auginimas dvinariuose pasėliuose su apyninėmis liucernomis ir baltaisiais dobilais (AL+ŽK, BD+ŽK ir BD+ŽK+M1), palyginus su kontroliniu laukeliu.

I eksperimento duomenimis, varpos grūdų masė įvairavo nuo 1,3 iki 1,6 g, ir taikytos priemonės jos nedidino. II eksperimento duomenimis, varpos grūdų masę, palyginus su kontroliniu laukeliu, iš esmės padidino žieminių kviečių auginimas dvinariuose pasėliuose su apyninėmis liucernomis bei baltaisiais dobilais ir kviečiai, pasėti į nušąlantį egiptinių dobilų pasėlį.

Skirtinguose eksperimentuose tūkstančio grūdų masės (TGM) kitimas nebuvo nuoseklus. I eksperimento žieminių kviečių TGM kito nuo 41,2 iki 43,2 g. Grūdų masę esmingai sumažino jų auginimas dvinariuose pasėliuose su apyninėmis liucernomis ir baltaisiais dobilais (išskyrus BD+ŽK (JŽDS)+M1), palyginus su kontroliniu laukeliu. II eksperimente TGM iš esmės padidino žieminių kviečių auginimas po apartų baltųjų ir egiptinių dobilų.

3.7 lentelė. Žieminių kviečių, augintų vienanariuose ir dvinariuose pasėliuose, derlingumo komponentų kitimas

Table 3.7. *Change in yield components of winter wheat grown in monocropping and intercropping systems*

Vienanariai ir dvinariai pasėliai / *Mono- and intercrops*	Augalų aukštis cm / *Plant height*	Varpų skaičius (vnt. m^{-2}) / *Number of spike*	Grūdų skaičius varpoje (vnt. m^{-2}) / *Grain number per spike*	Grūdų svoris varpoje g / *Grain weight per spike*	TGM g / *TGW*
2019 m./ *2019*					
*A–ŽK (TŽDS)	59,1 ab	425 efg	30 abc	1,3 abc	43,2 e
A–ŽK (JŽDS)	58,2 ab	290 abc	28 a	1,3 a	42,0 abcde
AP–ŽK (TŽDS)	71,5 d	435 fg	35 cde	1,5 abc	42,5 bcde
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	59,5 ab	274 ab	33 abcde	1,4 abc	41,2 a
A+AL–AL+ŽK+M1 (JŽDS)	59,1 ab	323 bcd	33 bcde	1,4 abc	42,0 abcde
A+AL–AL+ŽK +M2 (JŽDS)	59,1 ab	270 a	31 abcde	1,3 abc	41,8 abcde
BD–ŽK (TŽDS)	71,5 d	476 g	37 e	1,6 c	41,3 ab
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	59,1 ab	308 abc	32 abcde	1,4 abc	41,6 ab
A+BD–BD+ŽK +M1 (JŽDS)	57,8 a	281 abc	29 ab	1,3 a	41,9 abcde
A+BD–BD+ŽK +M2 (JŽDS)	60,1 b	328 cd	28 ab	1,3 abc	41,7 abc
ED–ŽK (TŽDS)	68,9 e	459 fg	36 de	1,5 bc	43,0 cde
A+ED–ŽK (JŽDS)	59,5 ab	374 de	32 abcde	1,4 abc	42,0 abcde
Vidurkis/ Average	*61,95*	*354*	*32,0*	*1,4*	*42,0*
2020 m./ *2020*					
*A–ŽK (TŽDS)	68,7 a	352 abc	32 a	1,5 a	45,8 cd
A–ŽK (JŽDS)	67,3 a	369 bc	35 abc	1,6 abc	46,2 cd
AP–ŽK (TŽDS)	78,7 bc	495 ef	37 bc	1,6 abc	45,6 bcd
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	69,6 a	355 abc	37 bc	1,8 c	45,7 cd
A+AL–AL+ŽK+M1 (JŽDS)	70,3 a	340 abc	35 abc	1,6 abc	45,9 cd
A+AL–AL+ŽK+M2 (JŽDS)	70,7 a	294 a	36 abc	1,6 abc	46,0 cd
BD–ŽK (TŽDS)	84,0 c	509 f	35 abc	1,5 abc	44,6 ab
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	70,9 a	303 ab	37 bc	1,7 bc	46,1 cd
A+BD–BD+ŽK +M1 (JŽDS)	71,6 a	356 abc	37 bc	1,6 abc	46,4 d
A+BD–BD+ŽK+M2 (JŽDS)	70,8 a	362 bc	36 abc	1,6 abc	45,9 cd
ED–ŽK (TŽDS)	82,0 bc	466 def	38 c	1,6 abc	44,5 a
A+ED–ŽK (JŽDS)	71,8 a	410 cd	36 abc	1,7 bc	46,3 cd
Vidurkis / Average	*73,0*	*384,0*	*36,0*	*1,6*	*45,7*

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai, AL–ŽK – apyninės liucernos – žieminiai kviečiai, BD–ŽK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai, ED–ŽK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+ED–ŽK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai; M1 – pupinių žolių mulčiavimas vieną kartą, M2 – pupinių žolių mulčiavimas du kartus; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat , AL–ŽK – black medick – winter wheat, BD–ŽK – white clover – winter wheat, ED–ŽK – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; A+ED–ED+ŽK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; M1 – mulching once, M2 – mulching twice; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

Analizuojant žieminių kviečių grūdų derlių nustatyta, kad didžiausias derlius gautas juos auginant po pupinių žolių taikant tradicinį žemės dirbimą ir sėją. Apartos pupinės žolės prieš žieminių kviečių sėją jų grūdų derlių padidino esmingai (30,6–47,3 %), palyginus su po avižų augintais žieminiais kviečiais (TŽDS) (3.8 lentelė). Juostinis žemės dirbimo ir sėjos būdas mažino grūdų derlių, palyginus su tradiciniu žemės dirbimu ir sėja. Žieminių kviečių sėja į avižų ražienas (JŽDS) grūdų derlių sumažino esmingai (21,2 %), palyginus su sėja į artą dirvą. Tačiau žieminius kviečius pasėjus į baltuosius ir egiptinius dobilus, jų grūdų derlius iš esmės nepakito, palyginus su tradicine sėja į apartas avižų ražienas. Žieminius kviečius auginant dvinariuose pasėliuose su pupinėmis žolėmis (be mulčiavimo) ir pasėjus į avižų ražienas, grūdų derlius esmingai nesiskyrė. Pupinių žolių antžeminės masės mulčiavimas turėjo tendenciją didinti žieminių kviečių grūdų derlių, palyginus su juostine sėja į avižų ražienas. Didžiausias žieminių kviečių grūdų derlius gautas juostinę sėją taikant žiemą nušąlančiame egiptinių dobilų pasėlyje.

3.8 lentelė. Žieminių kviečių, augintų vienanariuose ir dvinariuose pasėliuose, grūdų derlius

Table 3.8. *Grain yield of winter wheat grown in monocropping and intercropping systems*

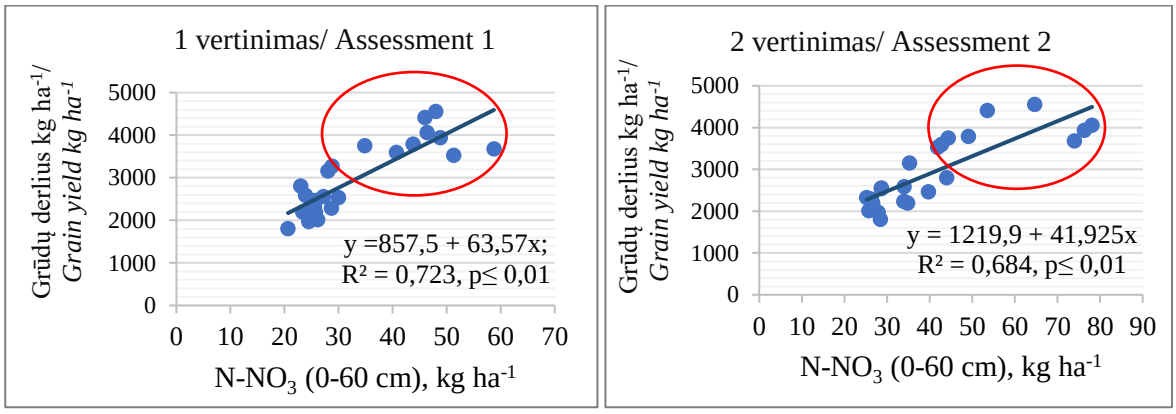
Vienanariai ir dvinariai pasėliai / *Monocrops and intercrops*	Grūdų derlius / *Grain yield* 2019 m. / *2019*		Grūdų derlius / *Grain yield* 2020 m. / *2020*	
	kg ha^{-1}	%	kg ha^{-1}	%
*A–ŽK (TŽDS)	2808 d	100	3542 a	100
A–ŽK (JŽDS)	2200 ab	−22	3885 ab	10
AL–ŽK (TŽDS)	3668 e	31	5684 cd	60
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	2412 bcd	−14	3728 a	5
A+AL–AL+ŽK+M1 (JŽDS)	2449 bcd	−13	3219 a	−9
A+AL–AL+ŽK+M2 (JŽDS)	2340 abc	−17	3248 a	−8
BD–ŽK (TŽDS)	4137 g	47	5920 d	67
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	2151 ab	−23	3503 a	−1
A+BD–BD+ŽK+M1 (JŽDS)	1992 a	−29	3683 a	4
A+BD–BD+ŽK+M2 (JŽDS)	2485 bcd	−12	3252 a	−8
ED–ŽK (TŽDS)	3969 efg	41	5418 bcd	53
A+ED–ŽK (JŽDS)	2481 bcd	−12	4522 abcd	28

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai, AL–ŽK – apyninės liucernos – žieminiai kviečiai, BD–ŽK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai, ED–ŽK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+ED–ŽK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai; M1 – pupinių žolių mulčiavimas vieną kartą, M2 – pupinių žolių mulčiavimas du kartus; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat , AL–ŽK – black medick – winter wheat, BD–ŽK – white clover – winter wheat, ED–ŽK – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; A+ED–ED+ŽK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; M1 – mulching once, M2 – mulching twice; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

Įvertinus II eksperimento duomenis nustatyta esminė teigiama apartų pupinių žolių įtaka žieminių kviečių derliui (52,9–67,1 %), palyginus su kontroliniu laukeliu. Juostinis žemės dirbimas ir sėja didino derlių žieminių kviečių, pasėtų į žiemą nušąlantį egiptinių dobilų pasėlį (27,7 %), palyginus kontroliniu laukeliu, tačiau neesmingai. Dvinariuose pasėliuose su pupinėmis žolėmis auginti žieminiai kviečiai derėjo panašiai, kaip ir kontroliniame laukelyje, t. y. pasėti po avižų taikant tradicinį žemės dirbimą ir sėją. Pupinių žolių mulčiavimas esminės įtakos grūdų derliui neturėjo.

I eksperimente javų grūdų derlius priklausė nuo $N\text{-}NO_3$ kiekio dirvožemio 0–60 cm sluoksnyje. Koreliacinės analizės rezultatai rodo, kad žieminių kviečių grūdų derlius priklausė nuo $N\text{-}NO_3$ kiekio 0–60 cm sluoksnyje ir rudens laikotarpiu (rudenį, po žieminių kviečių sėjos, 1 vertinimas), ir pavasarį, atsinaujinus kviečių vegetacijai (2 vertinimas) (3.18 paveikslas). $N\text{-}NO_3$ kiekiui didėjant nuo 20,7 iki 58,7 kg ha^{-1} (rudenį, 1 vertinimas) ir nuo 25,2 iki 78,1 kg ha^{-1} (pavasarį, 2 vertinimas), žieminių kviečių grūdų derlius padidėjo 2 kartus, t. y. nuo 1804 iki 4413 kg ha^{-1}. Esminės įtakos tam turėjo pupinių žolių masės aparimas.



3.18 paveikslas. Žieminių kviečių grūdų derliaus priklausomumas nuo $N\text{-}NO_3$ kiekio, sukaupto 0–60 cm sluoksnyje, rudens (1 vertinimas) ir pavasario (2 vertinimas) laikotarpiu

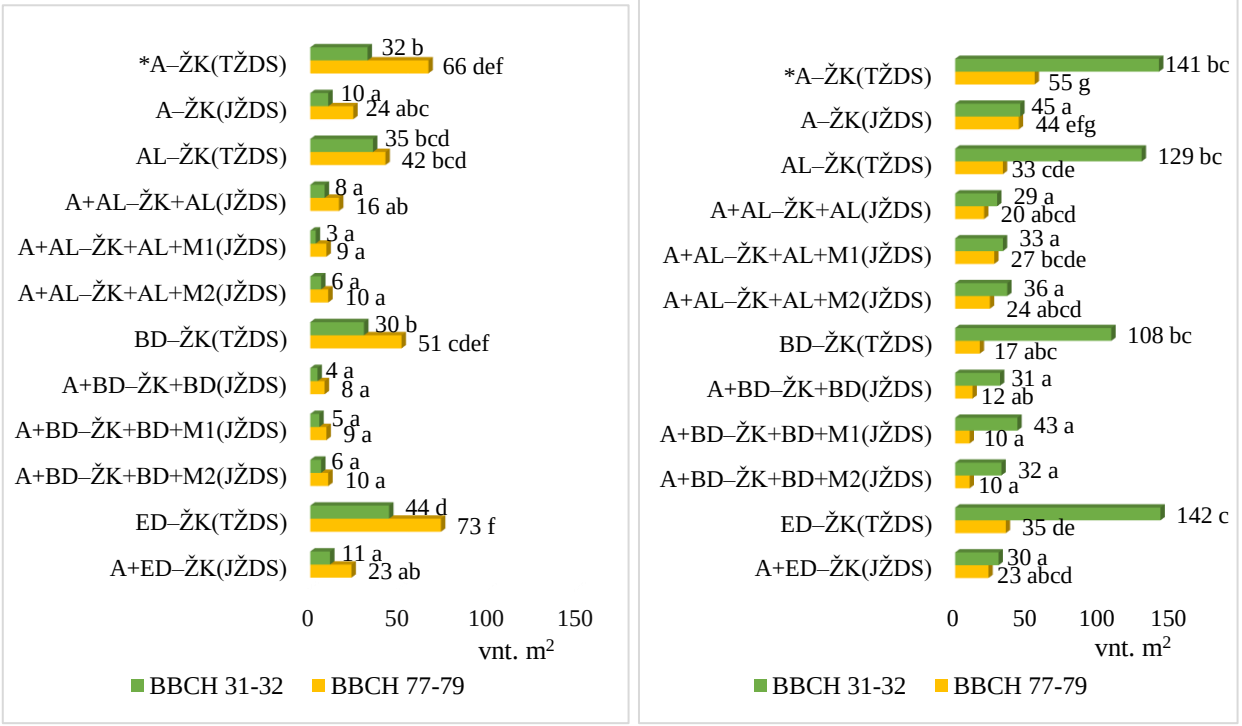
Figure 3.18. *Dependence of winter wheat grain yield on $N\text{-}NO_3$ content accumulated in the soil 0–60 cm layer in autumn (assessment 1) and spring (assessment 2)*

Apibendrinus tyrimo rezultatus galima teigti, kad žieminių kviečių derliaus produktyvumo rodikliams didesnę įtaką turėjo meteorologinės sąlygos nei taikytos priemonės. Žieminiams kviečiams mažiau palankiais augti metais jų derlius padidėjo 31–47 % po pupinių žolių aparimo, labiausiai po baltųjų dobilų, palyginus su kontroliniu laukeliu. Žieminių kviečių juostinė sėja į avižų ražienas grūdų derlių sumažino 22 %, į apynines liucernas – 12,8–16,7 %, į baltuosius dobilus – 11,5–29,1 %, į egiptinius dobilus – 11,6 %, palyginus su kontroliniu laukeliu. Žieminių kviečių derlius, gautas sėjant į avižų ražienas ir pupines žoles, buvo panašus. Žieminiams kviečiams palankiais augti 2020 metais jų sėja aparus pupines žoles derlių padidino 53–67 %.

Kviečių sėja į pupines žoles esminės įtakos grūdų derliui neturėjo, palyginus su avižų priešsėliu (nepriklausomai nuo žemės dirbimo ir sėjos būdo). Pupinių žolių antžeminės masės mulčiavimas žieminių kviečių grūdų derliaus esmingai nepadidino.

3.2.5. Dvinarių pasėlių piktžolėtumas

Ekologiniame ūkyje labai svarbus yra pasėlių piktžolėtumas, kuris labiausiai priklauso nuo taikomų technologijų gebos apriboti piktžolių augimą ir plitimą. Piktžolių plitimas priklausė nuo vienanarių ir dvinarių pasėlių kaip priešsėlių subrandintų bei išbarstytų sėklų kiekio ir maisto medžiagų (ypač N) tiekimo žieminiams kviečiams bei jų konkurencinės gebos stiprinimo. Abiejų eksperimentų duomenimis, vienanarių pasėlių (avižų ir pupinių žolių) aparimas lėmė iš esmės didesnį sudygusių piktžolių skaičių (BBCH 31–32), palyginus su juostiniu žemės dirbimu ir žieminių kviečių sėja (3.19a ir b paveikslai).



a) 2019 m./ *2019* b) 2020m./ *2020*

3.19 paveikslas. Piktžolių skaičius vienanariuose ir dvinariuose pasėliuose 2019 (a) ir 2020 (b) metais vegetacijos pradžioje (BBCH 31–32) ir pabaigoje (BBCH 77–79)

Figure 3.19. *Number of weeds in monocropping and intercropping systems at the beginning (BBCH 31–32) and the end (BBCH 77–79) of vegetation, 2019 (a) and 2020 (b)*

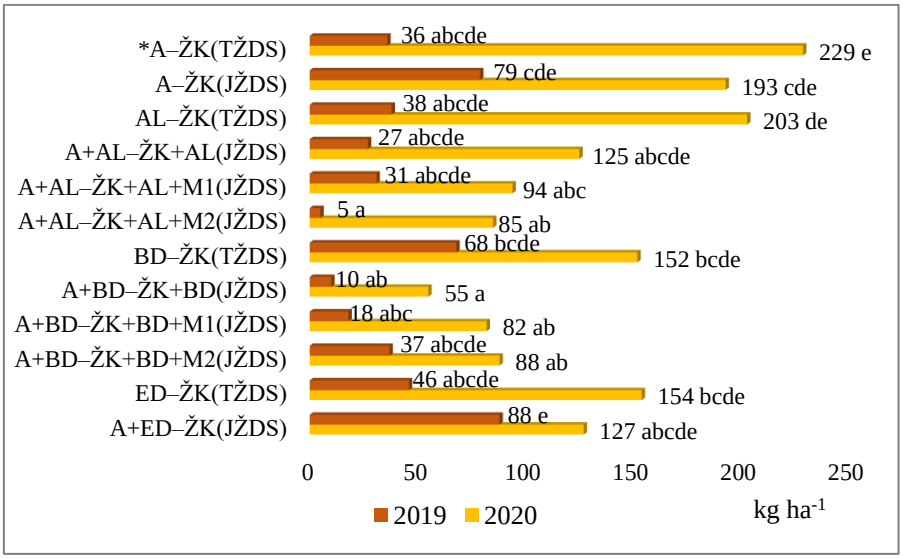
Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai, AL–ŽK – apyninės liucernos – žieminiai kviečiai, BD–ŽK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai, ED–ŽK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+ED–ŽK – avižos + egiptinių dobilų

įsėlis – žieminiai kviečiai; M1 – pupinių žolių mulčiavimas vieną kartą, M2 – pupinių žolių mulčiavimas du kartus; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis variantas; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat , AL–ŽK – black medick – winter wheat, BD–ŽK – white clover – winter wheat, ED–ŽK – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; A+ED–ED+ŽK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; M1 – mulching once, M2 – mulching twice; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

Aparus egiptinių dobilų (I ir II eksperimentai), apyninių liucernų bei baltųjų dobilų vienanarius pasėlius (II eksperimentas), pavasarį piktžolių sudygo iš esmės daugiau nei aparus avižų ražienas. Žieminiams kviečiams augant, vystantis ir pasiekus BBCH 77–79 augimo tarpsnį, piktžolių skaičius kito nevienareikšmiai – padidėjo (I eksperimentas) arba sumažėjo (II eksperimentas). I eksperimente dvinariuose pasėliuose AL+ŽK ir BD+ŽK (nepriklausomai nuo mulčiavimo) ir ED+ŽK (su nušalusiu mulčiu) piktžolių skaičius buvo iš esmės mažesnis, palyginus su kontroliniu laukeliu. Mulčiuoti ir nemulčiuoti dvinariai pasėliai tarpusavyje esmingai nesiskyrė. II eksperimento žieminių kviečių pasėlyje didžiausias piktžolių skaičius buvo juos auginant po avižų. Per žieminių kviečių vegetacijos laikotarpį (nuo BBCH 31–32 iki BBCH 77–79) piktžolių skaičius labiausiai sumažėjo (74,4–84,3 %) laukeliuose po pupinių žolių aparimo. Mažiausiai piktžolių buvo po baltųjų dobilų arba dvinariuose BD+ŽK pasėliuose. Dvinariuose pupinių žolių ir žieminių kviečių pasėliuose piktžolių skaičius buvo nedidelis: AL+ŽK – 20–27 vnt. m^{-2}, BD+ŽK – 10–12 vnt. m^{-2}.

I eksperimento duomenimis, didžiausia piktžolių orasausė masė nustatyta žieminius kviečius auginant dvinariame pasėlyje ED+ŽK (su nušalusiu mulčiu), arba 2,4 karto daugiau nei kontroliniame laukelyje (3.20 paveikslas). Kiti žieminių kviečių pasėliai pagal orasausę piktžolių masę vertinami esmingumo kriterijais nesiskyrė. Mažiausia piktžolių masė nustatyta žieminius kviečius auginant dvinariame pasėlyje su apyninėmis liucernomis (du kartus mulčiuojant).



3.20 paveikslas. Piktžolių orasausė masė vienanariuose ir dvinariuose pasėliuose 2019 (a) ir 2020 (b) metais vegetacijos pabaigoje (BBCH 77–79)

Figure 3.20. *Dry mass of weeds in monocropping and intercropping systems at the end of vegetation (BBCH 77–79) 2019 (a) and 2020 (b)*

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai, AL–ŽK – apyninės liucernos – žieminiai kviečiai, BD–ŽK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai, ED–ŽK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+ED–ŽK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai; M1 – pupinių žolių mulčiavimas vieną kartą, M2 – pupinių žolių mulčiavimas du kartus; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat , AL–ŽK – black medick – winter wheat, BD–ŽK – white clover – winter wheat, ED–ŽK – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; A+ED–ED+ŽK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; M1 – mulching once, M2 – mulching twice; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

Antraisiais tyrimo metais (II eksperimentas) piktžolių masė buvo didelė (55–229 kg ha^{-1}). Tradicinis žemės dirbimas ir sėja piktžolių orasausę masę didino. Didžiausia piktžolių masė nustatyta žieminius kviečius auginant po apartų vienanarių pasėlių. Prie piktžolių mitybos prisidėjo ir didesnis maisto medžiagų atpalaidavimas po pupinių žolių aparimo. Tačiau juostinis žemės dirbimas ir sėja į pupines žoles apynines liucernas bei baltuosius dobilus (išskyrus AL+ŽK) ir antžeminės masės mulčiavimas iš esmės sumažino piktžolių orasausę masę, palyginus su kontroliniu laukeliu. Žieminių kviečių juostinė sėja į nušąlančius egiptinius dobilus teigiamos įtakos piktžolių orasausės masės sumažėjimui neturėjo.

Apibendrinus tyrimo rezultatus galima teigti, kad žieminių kviečių piktžolėtumas (piktžolių skaičius ir jo kitimo dinamika žieminių kviečių vegetacijos metu) labiausiai priklausė nuo priešsėlio, žemės dirbimo būdo ir metų meteorologinių sąlygų. Žieminių kviečių vegetacijos pradžioje daugiausia piktžolių sudygo po pupinių žolių vienanarių pasėlių ir avižų taikant TŽDS, mažiausiai – taikant juostinį žemės dirbimą ir sėją. Žieminių kviečių vegetacijos pabaigoje (BBCH 77–79) piktžolių skaičių gerokai sumažino sustiprėjusi žieminių kviečių konkurencija, juos auginant po apartų pupinių žolių. Dvinariuose pupinių žolių ir žieminių kviečių pasėliuose didesnį žieminių kviečių konkurencingumą lėmė jiems palankios augti meteorologinės sąlygos. Mulčiavimas reikšmingos įtakos neturėjo.

3.3. Pupinių žolių ir žieminių kviečių mitybos N, P, K dėsningumai vienanariuose ir dvinariuose pasėliuose

3.3.1. Žieminių kviečių mitybos N, P, K ypatumai vegetacijos metu

Žieminių kviečių antžeminėje masėje sukauptas maisto medžiagų (NPK) kiekis priklausė nuo jų auginimo būdo ir pupinių žolių rūšių.

Azotas. I eksperimente pirmos apskaitos metu (BBCH 37–39) esmingai mažesnė N koncentracija nustatyta žieminius kviečius auginant dvinariame pasėlyje su baltaisiais dobilais nei taikant tradicinį žemės dirbimą (3.9 lentelė). II eksperimente žieminių kviečių antžeminės masės azoto koncentracija buvo gerokai mažesnė, palyginus su I eksperimento analogiškais duomenimis. Tačiau žieminius kviečius auginant dvinariuose pasėliuose su pupinėmis žolėmis, azoto koncentracija antžeminėje masėje didėjo (su baltaisiais dobilais – iš esmės), palyginus su TŽDS augintais vienanariais kviečiais.

Abiejuose eksperimentuose antros apskaitos (BBCH 59–61) metu žieminių kviečių azoto koncentracija sumažėjo, palyginus su pirmos apskaitos duomenimis. I eksperimente azoto koncentracija antžeminėje masėje didėjo žieminius kviečius auginant su pupinėmis žolėmis (su apyninėmis liucernoms – esmingai) nei taikant tradicinį žemės dirbimą. II eksperimente žieminius kviečius auginant dvinariuose pasėliuose su apyninėmis liucernoms, azoto koncentracija padidėjo, o su baltaisiais dobilais esmingai sumažėjo, palyginus su TŽDS augintais vienanariais kviečiais.

Žieminių kviečių antžeminėje masėje sukauptą azoto kiekį nulėmė jo koncentracija ir antžeminė masė. I eksperimento duomenimis (apskaita BBCH 37–39 tarpsniu), žieminius kviečius auginant dvinariuose pasėliuose su pupinėmis žolėmis arba juostiniu būdu sėjant į avižų ražienas, azoto sukaupta esmingai mažiau nei juos sėjant TŽDS. II eksperimente skirtumai tarp duomenų buvo mažesni. Antžeminėje masėje mažiausiai azoto sukaupta žieminius kviečius sėjant

į avižų ražienas, daugiausia – į baltuosius dobilus (skirtumas esminis, palyginus su kontroliniu laukeliu).

Žieminių kviečių žydėjimo pradžios tarpsniu jų antžeminėje masėje sukaupto azoto kiekis buvo vidutiniškai 45,0 kg ha^{-1}, arba 80,0 % (I eksperimentas), ir vidutiniškai 21,7 kg ha^{-1}, arba 28,4 % didesnis (II eksperimentas), palyginus su pirmos apskaitos analogiškais duomenimis. Šios apskaitos metu juostinės sėjos laukeliuose azoto buvo sukaupta esmingai mažiau (išskyrus kai kviečiai auginti su baltaisiais dobilais) (I eksperimentas), arba tarp variantų esminių skirtumų nebuvo (II eksperimentas).

***3.9 lentelė*.** Maisto medžiagų sukaupimas žieminių kviečių antžeminėje masėje vegetacijos metu

Table 3.9. *Nutrient accumulation in the aboveground mass of winter wheat during vegetation*

Vienanariai ir dvinariai pasėliai / *Mono- and intercrops*	N g kg^{-1}		N kg ha^{-1} SM / *DM*	
	1 apskaita / *Assessment 1* BBCH 37–39	2 apskaita / *Assessment 2* BBCH 59–61	1 apskaita / *Assessment 1* BBCH 37–39	2 apskaita / *Assessment 2* BBCH 59–61
2019 m.				
*A–ŽK (TŽDS)	20,43 c	8,65 a	35,8 b	55,2 c
A–ŽK (JŽDS)	19,70 abc	9,47 abc	24,4 a	42,1 a
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	20,40 bc	10,16 c	20,3 a	45,5 abc
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	19,17 a	9,09 abc	19,5 a	37,3 a
Vidurkis / Average	*19,93*	*9,34*	*25,0*	*45,0*
2020 m.				
*A–ŽK (TŽDS)	4,89 a	3,34 bcd	17,2 abc	24,3 b
A–ŽK (JŽDS)	4,72 a	3,29 b	13,9 a	19,9 ab
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	5,17 abc	3,46 d	16,2 abc	23,1 ab
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	5,90 c	3,08 a	20,4 c	19,6 ab
Vidurkis / Average	*5,17*	*3,29*	*16,9*	*21,7*
	P g kg^{-1}		P kg ha^{-1} SM/*DM*	
	1 apskaita / *Assessment 1* BBCH 37–39	2 apskaita / *Assessment 2* BBCH 59–61	1 apskaita / *Assessment 1* BBCH 37–39	2 apskaita / *Assessment 2* BBCH 59–61
2019 m.				
*A–ŽK (TŽDS)	2,84 a	2,36 b	5,0 c	14,7 b
A–ŽK (JŽDS)	3,00 ab	2,18 ab	3,7 abc	9,7 a
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	3,50 d	2,21 ab	3,5 a	9,9 a
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	3,23 bcd	2,16 ab	3,3 a	8,8 a
Vidurkis / Average	*3,14*	*2,23*	*3,9*	*10,8*
2020 m.				
*A–ŽK (TŽDS)	1,94 b	2,01 ab	7,0 d	14,67 b
A–ŽK (JŽDS)	1,73 ab	1,97 ab	5,1 ab	12,25 ab
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	1,61 ab	2,12 b	4,6 a	14,11 ab
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	1,93 ab	1,79 ab	6,5 bcd	11,29 ab
Vidurkis / Average	*1,80*	*1,97*	*5,8*	*13,08*
	K g kg^{-1}		K kg ha^{-1} SM/*DM*	

	1 apskaita / *Assessment 1* BBCH 37–39	2 apskaita / *Assessment 2* BBCH 59–61	1 apskaita / *Assessment 1* BBCH 37–39	2 apskaita / *Assessment 2* BBCH 59–61
2019 m.				
*A–ŽK (TŽDS)	18,87 a	7,42 ab	33,0 b	47,0 b
A–ŽK (JŽDS)	18,50 a	7,82 ab	22,8 a	34,6 a
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	20,0 b	8,0 b	19,8 a	35,6 a
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	18,57 a	7,50 ab	18,8 a	30,8 a
Vidurkis/ Average	*18,98*	*7,68*	*23,6*	*37,0*
2020 m.				
*A–ŽK (TŽDS)	14,53 a	6,84 b	51,3 ab	49,8 b
A–ŽK (JŽDS)	15,40 a	6,47 ab	45,4 ab	40,0 ab
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	15,40 a	6,66 ab	48,5 ab	44,2 ab
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	16,93 b	6,74 ab	57,6 b	42,7 ab
Vidurkis/ Average	*15,57*	*6,68*	*50,7*	*44,2*

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos+apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis+žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos+baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis+žieminiai kviečiai; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; vidurkiai, pažymėti tomis pačiomis raidėmis esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control; means followed by the same letters are not significantly different at $p \leq 0.05$.*

Fosforas. Žieminių kviečių antžeminėje masėje fosforo koncentracijos skirtumai buvo mažiau ryškūs – daugeliu atvejų nustatytos šio rodiklio kitimo tendencijos (3.9 lentelė). I eksperimente (BBCH 37–39) fosforo koncentracija antžeminėje masėje buvo esmingai didesnė kviečius auginant dvinariuose pasėliuose su pupinėmis žolėmis, palyginus su TŽDS augintais vienanariais kviečiais. II eksperimento kviečių antžeminės masės fosforo koncentracijos duomenys esmingai nesiskyrė. Javų žydėjimo tarpsnio pradžioje (BBCH 59–61) abiejuose eksperimentuose nustatytos tik jo koncentracijos kitimo tendencijos. Didžiausia fosforo koncentracija nustatyta žieminius kviečius auginant TŽDS ir dvinariuose pasėliuose su pupinėmis žolėmis – apyninėmis liucernomis (I eksperimentas) arba baltaisiais dobilais (II eksperimentas).

Dvinariuose pasėliuose auginti žieminiai kviečiai sukaupė iš esmės mažesnį kiekį fosforo nei auginti TŽDS (I eksperimentas, BBCH 37–39). Žieminiai kviečiai, taikant juostinę sėją į avižų ražienas (be pupinių žolių), turėjo tendenciją sukaupti didesnį kiekį fosforo nei auginti dvinariuose pasėliuose. II eksperimente taikytas juostinis žemės dirbimas ir sėja esmingai sumažino fosforo sukaupimą žieminių kviečių antžeminėje masėje, išskyrus kviečius, augintus dvinariame pasėlyje su baltaisiais dobilais. Nuo paskutinio lapo pasirodymo iki žydėjimo pradžios tarpsnio fosforo sukaupimas antžeminėje masėje padidėjo vidutiniškai 2,8 karto (I eksperimentas) arba 2,3 karto (II eksperimentas). I eksperimente žieminių kviečių antžeminėje masėje, taikant juostinę sėją, fosforo sukaupta iš esmės mažiau (32,7–40,1 %) nei kviečius auginant TŽDS. II eksperimento duomenys buvo mažiau nuoseklūs, esminių skirtumų negauta.

Kalis. Paskutinio lapo tarpsniu didžiausia kalio koncentracija antžeminėje masėje nustatyta žieminius kviečius auginant dvinariame pasėlyje su apyninėmis liucernomis (I eksperimentas) arba baltaisiais dobilais (II eksperimentas) (3.9 lentelė) – esminiai skirtumai sudarė atitinkami 6,0 ir 16,5 %, palyginus su kontroliniu laukeliu. Antros apskaitos metu esminių kalio koncentracijos skirtumų nenustatyta, išliko pirmai apskaitai būdingos kitimo tendencijos. Eksperimentuose žieminiai kviečiai kalį kaupė skirtingu intensyvumu, priklausomai nuo meteorologinių sąlygų. I eksperimento duomenimis, pirmos apskaitos metu kalio kiekis kviečių antžeminėje masėje buvo iš esmės mažesnis taikant juostinę sėją, palyginus su TŽDS augintais kviečiais. Šiuo laikotarpiu II eksperimento kviečiai sukauptu kalio kiekiu vertinami esmingumo kriterijais nesiskyrė. Tuo metu antros apskaitos duomenys parodė mažesnį antžeminėje masėje sukaupto kalio kiekį (I eksperimente – skirtumai esminiai) žieminius kviečius sėjant juostiniu būdu nei TŽDS.

Apibendrinus žieminių kviečių mitybos N, P, K ypatumus nustatyta, kad žieminių kviečių antžeminėje masėje sukauptas maisto medžiagų kiekis priklausė nuo auginimo būdo ir pupinių žolių rūšių. Azoto koncentracija didėjo žieminius kviečius auginant su pupinėmis žolėmis (apyninėmis liucernomis bei baltaisiais dobilais) ir taikant juostinį žemės dirbimo būdą. Azoto, kurio kiekį nulėmė N koncentracija ir žieminių kviečių antžeminė masė, esmingai daugiau susikaupė žieminius kviečius sėjant tradiciniu būdų po apartų avižų ražienų.

Fosforo koncentracija antžeminėje masėje nustatyta didesnė žieminius kviečius auginant vienanariuose ir dvinariuose pasėliuose su pupinėmis žolėmis. Antžeminėje masėje daugiau fosforo sukaupė tradiciškai auginti žieminiai kviečiai.

Didžiausia kalio koncentracija nustatyta žieminius kviečius auginant dvinariame pasėlyje su pupinėmis žolėmis. Antžeminėje masėje didesnį kiekį kalio sukaupė tradiciškai auginti žieminiai kviečiai. Juostinis žemės dirbimas ir sėja turėjo tendencija mažinti kalio kiekį antžeminėje masėje.

3.3.2. Pupinių žolių mitybos N, P, K ypatumai vegetacijos metu

Azotas. Pupinių žolių antžeminėje masėje azoto koncentracija priklausė nuo pupinių žolių rūšies, jo kaupimo intensyvumo ir antžeminės masės. Pirmos apskaitos metu azoto koncentracija abiem tyrimo metais buvo didesnė baltųjų dobilų antžeminėje masėje nei apyninių liucernų (3.10 lentelė). Pupines žoles auginant su žieminiais kviečiais, azoto koncentracija mažėjo (I eksperimento duomenimis, skirtumai esminiai). Antros apskaitos metu nustatyta, kad dvinariuose pasėliuose augintų pupinių žolių azoto koncentracija iš esmės padidėjo

(I eksperimentas) arba sumažėjo (II eksperimentas), palyginus su atitinkamais pupinių žolių vienanariais pasėliais.

3.10 lentelė. Maisto medžiagų sukaupimas pupinių žolių antžeminėje masėje vegetacijos metu

Table 3.10. *Nutrient accumulation in the aboveground mass of forage legumes during vegetation*

Vienanariai ir dvinariai pasėliai / *Mono- and intercrops*	N g kg^{-1}		N kg ha^{-1} SM/ *DM*	
	Javų augimo tarpsniai / *Cereal growth stage*			
	1 apskaita / *Assessment 1* BBCH 37–39	2 apskaita / *Assessment 2* BBCH 59–61	1 apskaita / *Assessment 1* BBCH 37–39	2 apskaita / *Assessment 2* BBCH 59–61
2019 m.				
*AL	32,60 b	25,60 bc	7,3 a	35,4 b
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	29,97 a	26,70 c	4,9 a	20,2 ab
*BD	35,70 c	22,43 a	17,6 c	31,7 ab
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	33,97 b	26,40 bc	13,3 abc	27,6 ab
Vidurkis / Average	*33,06*	*25,28*	*10,8*	*28,7*
2020 m.				
*AL	14,03 abc	10,67 b	26,6 d	55,2 c
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	12,57 a	10,07 a	4,1 a	8,6 a
*BD	15,73 c	11,33 c	20,7 c	49,4 c
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	15,70 bc	10,3 ab	8,7 b	18,3 a
Vidurkis / Average	*14,51*	*10,59*	*15,0*	*32,9*
	P g kg^{-1}		P kg ha^{-1} SM/ *DM*	
	1 apskaita / *Assessment 1* BBCH 37–39	2 apskaita / *Assessment 2* BBCH 59–61	1 apskaita / *Assessment 1* BBCH 37–39	2 apskaita / *Assessment 2* BBCH 59–61
2019 m.				
*AL	2,78 b	2,25 bc	0,6 a	3,1 b
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	2,07 ab	2,34 c	0,4 a	1,7 ab
*BD	2,70 ab	1,87 a	1,3 c	2,7 ab
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	2,50 ab	2,30 bc	1,0 abc	2,4 ab
Vidurkis / Average	*2,51*	*2,19*	*0,8*	*2,5*
2020 m.				
*AL	2,47 ab	1,94 ab	4,7 c	10,5 d
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	2,33 ab	2,30 b	0,7 a	1,9 a
*BD	2,61 b	1,96 ab	3,6 c	8,4 bcd
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	1,83 ab	1,83 ab	1,1 a	2,7 ab
Vidurkis / Average	*2,31*	*2,01*	*2,5*	*5,9*
	K g kg^{-1}		K kg ha^{-1} SM / *DM*	
	1 apskaita / *Assessment 1* BBCH 37–39	2 apskaita / *Assessment 2* BBCH 59–61	1 apskaita / *Assessment 1* BBCH 37–39	2 apskaita / *Assessment 2* BBCH 59–61
2019 m.				
*AL	24,31 d	15,23 d	5,5 a	21,3 abc
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	22,77 a	10,60 a	3,6a	8,5 a
BD*	26,24 c	20,03 c	12,9 c	28,0 c
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	26,27 c	21,37 c	10,1 abc	22,4 bc
Vidurkis / Average	*24,90*	*16,81*	*8,0*	*20,1*
2020 m.				
*AL	28,80 a	22,63 d	54,6 c	117,8 c
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	32,90 ab	17,93 a	10,6 a	14,9 a
*BD	34,33 bcd	30,57 c	47,3 c	133,3 c
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	37,77 d	30,87 c	20,8 a	55,9 d
Vidurkis / Average	*33,45*	*25,5*	*33,3*	*80,5*

Pastaba: vienanariai pasėliai: AL – apyninių liucernų, BD – baltieji dobilai; dvinariai pasėliai: A+AL–AL+ŽK – avižos+apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis+žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos+baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis+žieminiai kviečiai; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; vidurkiai, pažymėti tomis pačiomis raidėmis esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: AL – black medick, BD – white clover; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control ; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

Antros apskaitos metu įvertinus pupinių žolių masėje sukauptą azoto kiekį matyti, kad duomenys kito nenuosekliai ir įvairavo tarp eksperimentų. Pirmos apskaitos metu nustatyta, kad pupines žoles auginant dvinariuose pasėliuose sukaupto azoto kiekis mažėjo (II eksperimente – esmingai), palyginus su pupinių žolių vienanariais pasėliais. Antros apskaitos metu pupinių žolių antžeminėje masėje azoto kiekis padidėjo 2,7 ir 2,2 karto (I ir II eksperimentai), palyginus su pirmos apskaitos atitinkamais duomenimis. Kaip ir pirmoje apskaitoje, pupines žoles auginant dvinariuose pasėliuose azoto sukaupimas mažėjo. Visų apskaitų metu daugiausia azoto buvo sukaupta baltųjų dobilų vienanario pasėlio antžeminėje masėje.

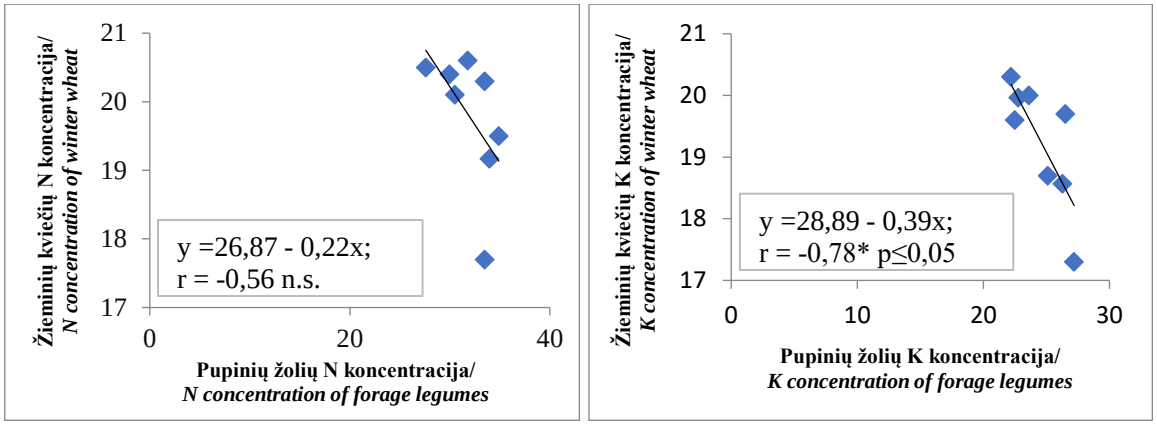
Fosforas. Tyrimo duomenys rodo, kad pupinių žolių antžeminės masės fosforo koncentracijos kitimas buvo nedidelis (3.10 lentelė). Žieminių kviečių paskutinio lapo tarpsniu pupinių žolių antžeminės masės fosforo koncentracija turėjo tendenciją mažėti (I ir II eksperimentai). Fosforo koncentracijos reikšmingesni skirtumai nustatyti antros apskaitos metu, kviečiams pradėjus žydėti. Pupines žoles auginant su žieminiais kviečiais, fosforo koncentracija pupinių žolių antžeminėje masėje daugeliu atvejų nemažėjo. Pupinių žolių antžeminėje masėje fosforo buvo sukaupta nedaug, o jo kiekis priklausė nuo antžeminės masės.

Kalis. Pupinės žolės kalio sukaupė daugiausia, palyginus su kitomis maisto medžiagomis (3.10 lentelė). Pupines žoles palyginus tarpusavyje nustatyta, kad baltųjų dobilų antžeminėje masėje kalio koncentracija buvo didesnė (7,9–35,1 %) nei apyninių liucernų (abiejų eksperimentų ir apskaitų duomenimis). Apskaitas vėlinant šis skirtumas didėjo.

Apibendrinus tyrimo rezultatus galima teigti, kad azoto koncentracija ir antžeminėje masėje sukauptas jo kiekis pupinėse žolėse mažėjo jas auginant dvinariuose pasėliuose su žieminiais kviečiais. Didžiausią kiekį azoto sukaupė baltųjų dobilų vienanaris pasėlis. Fosforo koncentracijos kitimas priklausė nuo pupinių žolių antžeminės masės, ir daugeliu atvejų žolių vienanariuose pasėliuose ji buvo didesnė nei dvinariuose. Pupinės žolės kaupė daug kalio. Daugiausia NPK sukaupė vienanariame pasėlyje auginti baltieji dobilai.

3.3.3. Pupinių žolių ir žieminių kviečių, juos auginant dvinariame pasėlyje, antžeminės masės ir jose sukauptų maisto medžiagų priklausomumai vegetacijos metu

I eksperimento koreliacinės regresinės analizės duomenys, žieminiams kviečiams pasiekus BBCH 37–39 augimo tarpsnį, ir dvinarių pasėlių javų bei pupinių žolių maisto medžiagų priklausomumai pateikti 3.21 paveiksle.

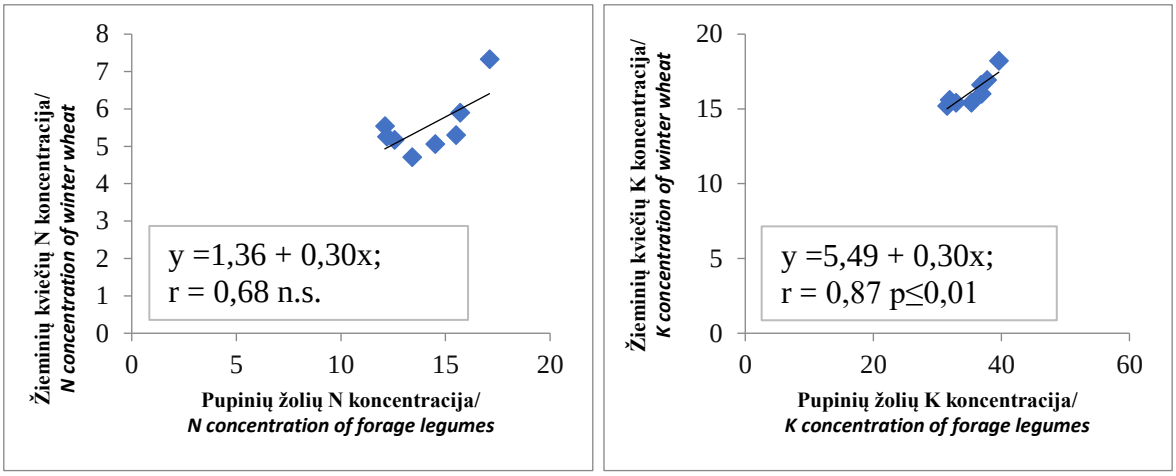


3.21 paveikslas. Žieminių kviečių antžeminės masės N (g kg^{-1} SM, kg ha^{-1}) ir K (g kg^{-1} SM, kg ha^{-1}) priklausomumas nuo pupinių žolių antžeminės masės N (g kg^{-1} SM, kg ha^{-1}) ir K (g kg^{-1} SM, kg ha^{-1}) (I eksperimentas, BBCH 37–39)

Figure 3.21. *Dependence of winter wheat aboveground mass N (g kg^{-1} DM, kg ha^{-1}) and K (g kg^{-1} DM, kg ha^{-1}) on aboveground mass of forage legume N (g kg^{-1} SM, kg ha^{-1}) and K (g kg^{-1} DM, kg ha^{-1}) (Experiment I, BBCH 37–39)*

Reikšmingesni ryšiai nustatyti tarp skirtingų augalų antžeminės masės azoto ir kalio koncentracijų. Pupinių žolių antžeminėje masėje kalio koncentracijai didėjant nuo 22,2 iki 27,2 g kg^{-1} SM, žieminių kviečių antžeminėje masėje jo koncentracija mažėjo nuo 20,3 iki 17,3 g kg^{-1} SM. Šių rodiklių priklausomybė buvo atvirkštinė ir labai stipri ($r = -0,78$; $p \leq 0,05$). Pupinių žolių antžeminėje masėje azoto koncentracijai didėjant nuo 27,6 iki 34,9 g kg^{-1} SM, žieminių kviečių antžeminėje masėje azoto koncentracija turėjo tendenciją mažėti nuo 20,6 iki 17,70 g kg^{-1} SM. Šis ryšys buvo vidutinio stiprumo, bet neesminis. Tikėtina, jog ryškesnės koreliacijos atsiskleidimą galėjo riboti nedidelis skaičiavimo taškų kiekis (N = 8). Žieminių kviečių antžeminės masės, joje sukaupto azoto, fosforo ir kalio ryšys su pupinių žolių atitinkamais rodikliais buvo silpnas ir neesminis.

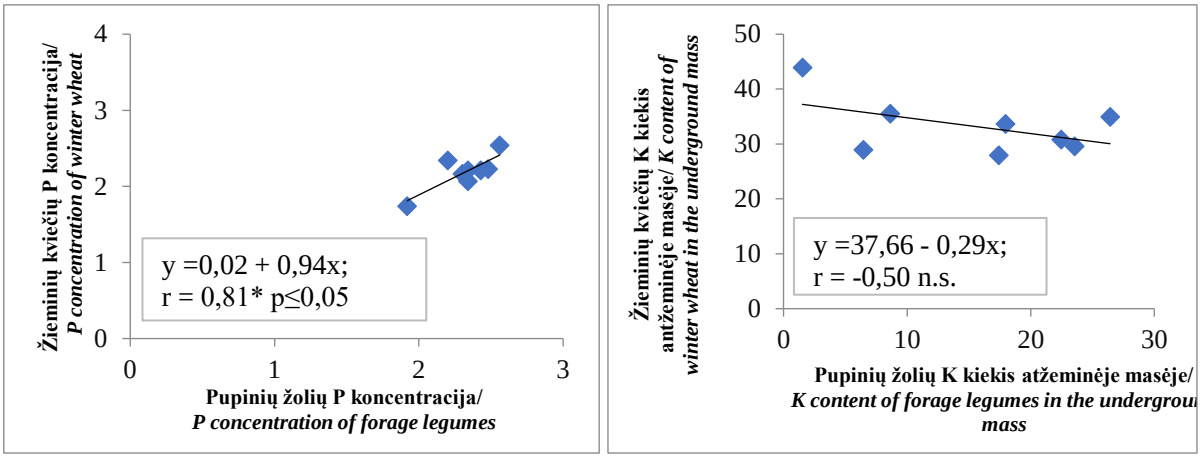
II eksperimento duomenų (BBCH 37–39) koreliacinė regresinė analizė pateikta 3.22 paveiksle. Kitaip nei I eksperimente, žieminių kviečių antžeminės masės azoto ir kalio koncentracijos didėjo didėjant šių rodiklių vertėms pupinių žolių masėje. Žieminių kviečių antžeminės masės kalio koncentracijos (kitimo ribos 15,20–16,93 g kg^{-1} SM) ryšys su jo koncentracija pupinių žolių masėje (kitimo ribos 31,5–37,77 g kg^{-1} SM) buvo labai stiprus ir esminis. Kiek silpnesnis, tačiau artimas vidutinio stiprumo koreliacijai buvo žieminių kviečių antžeminės masės azoto koncentracijos priklausomumas nuo pupinių žolių azoto koncentracijos, tačiau šis ryšys dėl galimai mažo skaičiavimo taškų kiekio buvo neesminis.



3.22 paveikslas. Žieminių kviečių antžeminės masės N (g kg^{-1}) ir K (g kg^{-1}) koncentracijos priklausomumas nuo pupinių žolių antžeminės masės N (g kg^{-1}) ir K (g kg^{-1}) koncentracijos dvinariame pupinių žolių ir žieminių kviečių pasėlyje (II eksperimentas, BBCH 37–39)

Figure 3.22. *Winter wheat aboveground mass N (g kg^{-1}) and K (g kg^{-1}) concentrations dependence from of forage legumes aboveground mass N (g kg^{-1}) and K (g kg^{-1}) concentrations in forage legumes and winter wheat intercropping (Experiment II, BBCH 37–39)*

I eksperimente javų žydėjimo pradžios tarpsniu (BBCH 59–61) išryškėjo pupinių žolių įtakos žieminių kviečių antžeminei masei ir azoto bei kalio sukaupimo joje neigiamos tendencijos. Koreliacinė regresinė analizė parodė stiprų žieminių kviečių antžeminės masės fosforo koncentracijos ryšį su pupinių žolių fosforo koncentracija (r = 0,81; $p \leq 0,05$) (3.23 paveikslas). Pupinių žolių antžeminėje masėje didėjant azoto ir kalio kiekiui, žieminių kviečių sukauptas azoto ir kalio kiekis mažėjo. Priklausomybės buvo vidutinio stiprumo, bet neesminės.

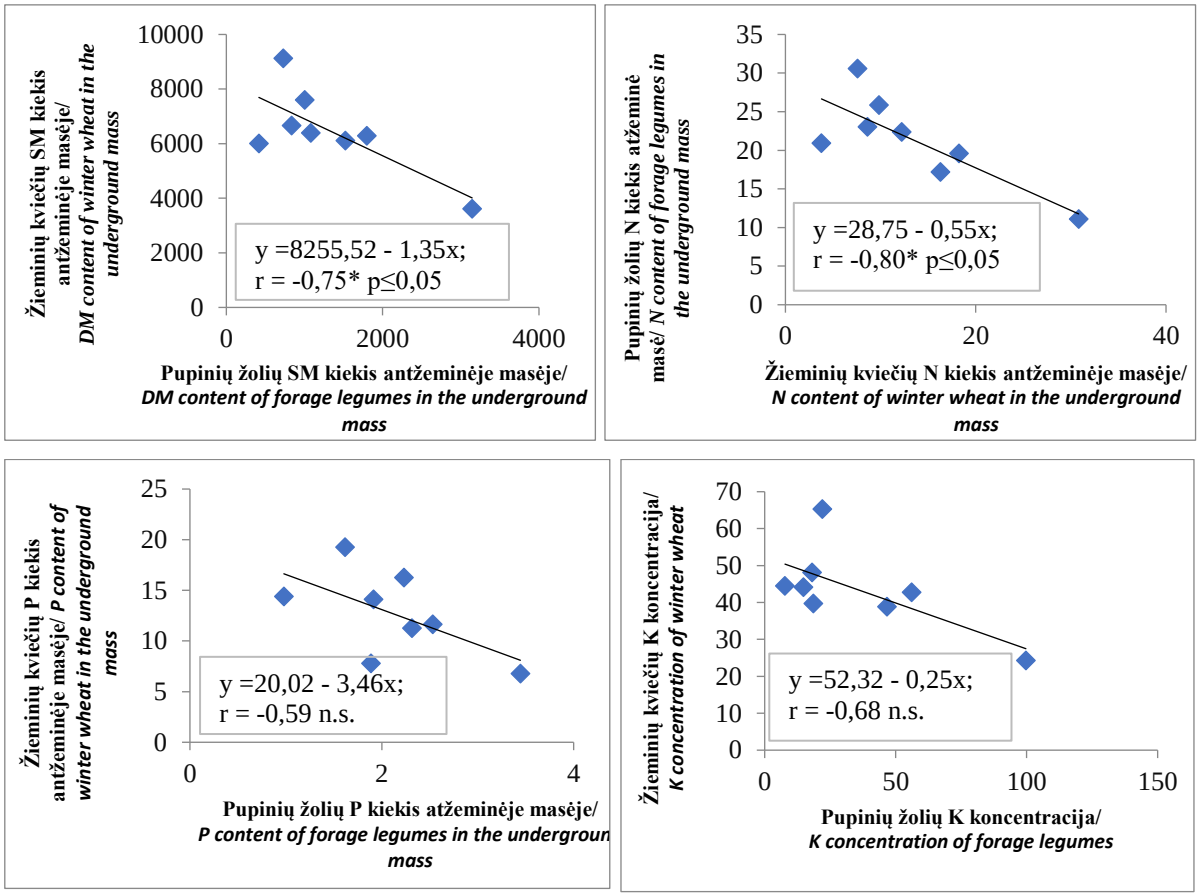


3.23 paveikslas. Žieminių kviečių antžeminės masės P (g kg^{-1}) koncentracijos ir sukaupto K (kg ha^{-1}) kiekio priklausomumas nuo pupinių žolių antžeminės masės analogiškų rodiklių (I eksperimentas, BBCH 59–61)

Figure 3.23. *Dependence of winter wheat aboveground mass P (g kg^{-1}) concentration and accumulated K (kg ha^{-1}) content on forage legumes aboveground mass analogous indicators (Experiment I, BBCH 59–61)*

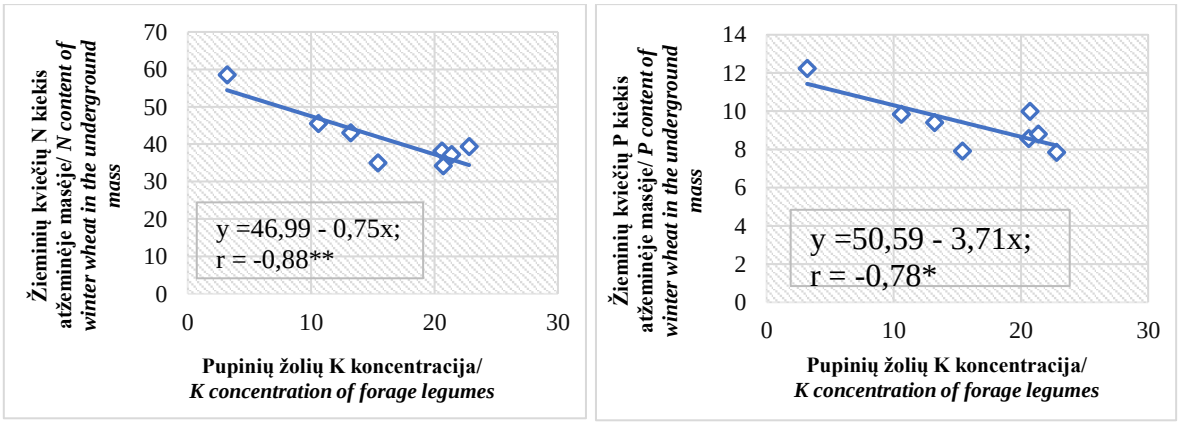
II eksperimento duomenimis, žieminių kviečių antžeminė masė ir joje sukaupto azoto kiekis atvirkščiai koreliavo su pupinių žolių antžemine mase (3.24 paveikslas). Pupinių žolių antžeminei masei didėjant nuo 417 iki 3145 kg ha^{-1} SM, žieminių kviečių antžeminė masė nuosekliai esmingai mažėjo nuo 9132 iki 3615 kg ha^{-1} SM. Pupinių žolių masėje azoto kiekiui padidėjus nuo 3,79 iki 30,82 kg ha^{-1} SM, žieminių kviečių masėje jo kiekis sumažėjo nuo 30,59 iki 11,09 kg ha^{-1} SM. Tarp šių rodiklių nustatytas labai stiprus esminis atvirkštinis ryšys (r = −0,80, $p \leq 0,05$). Žieminių kviečių antžeminės masės kalio koncentracija kito analogiškai I eksperimento duomenims. Pupinių žolių antžeminėje masėje sukauptam fosforo kiekiui didėjant, žieminių kviečių antžeminėje masėje jo kiekis turėjo tendenciją mažėti.

Tarp skirtingų maisto medžiagų reikšmingesnės priklausomybės nustatytos tik javų žydėjimo pradžios tarpsniu (BBCH 59–61). Koreliacinė regresinė analizė parodė, kad I eksperimente išryškėjo pupinių žolių antžeminės masės kalio koncentracijos neigiama įtaka azoto ir fosforo sukaupimui žieminių kviečių antžeminėje masėje (3.25 paveikslas). Pupinių žolių kalio koncentracijai didėjant nuo 3,19 iki 22,801 g kg^{-1}, žieminių kviečių antžeminėje masėje sukauptas azoto ir fosforo kiekis mažėjo atitinkamai nuo 58,48 iki 34,24 kg ha^{-1} ir nuo 12,23 iki 7,84 kg ha^{-1}. Tarp šių rodiklių nustatytas stiprus esminis atvirkštinis ryšys.



3.24 paveikslas. Žieminių kviečių antžeminės masės (kg ha^{-1} SM), joje sukaupto N (kg ha^{-1}) bei P (kg ha^{-1}) kiekių ir K koncentracijos (g kg^{-1}) priklausomumas nuo pupinių žolių antžeminės masės (kg ha^{-1} SM) ir joje sukauptų N (kg ha^{-1}) bei P (kg ha^{-1}) kiekių ir K koncentracijos (g kg^{-1}) dvinariame pupinių žolių ir žieminių kviečių pasėlyje (II eksperimentas, BBCH 59–61)

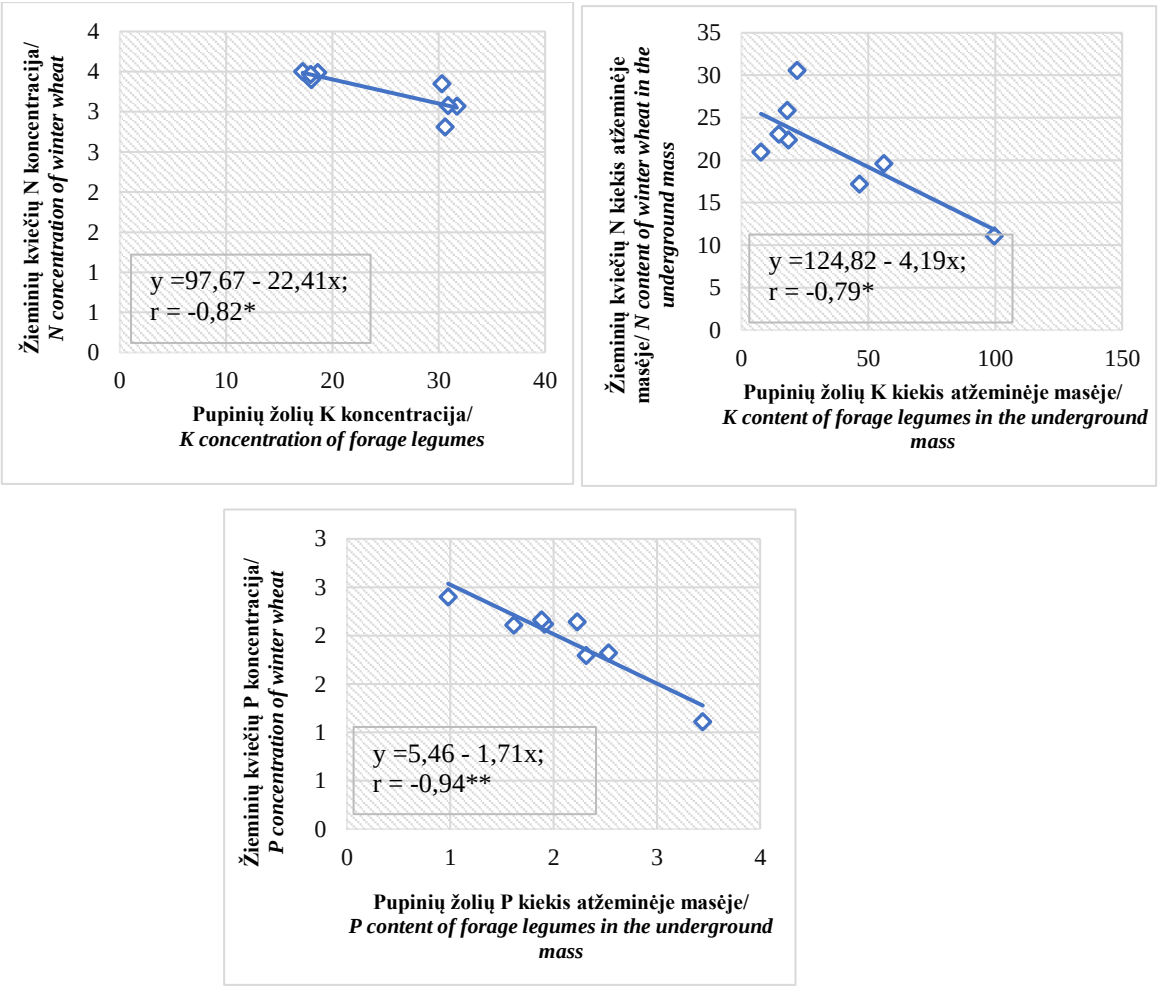
Figure 3.24. *The winter wheat aboveground mass (kg ha^{-1} DM), it accumulated N (kg ha^{-1}) and P (kg ha^{-1}) content and K concentration (g ha^{-1}) dependence on the aboveground mass of forage legumes (kg ha^{-1} DM) and it's accumulated N (kg ha^{-1}) and P (kg ha^{-1}) content and K concentration (g ha^{-1}) in forage legumes and winter wheat intercropping (Experiment II, BBCH 59–61)*



3.25 paveikslas. Žieminių kviečių antžeminėje masėje sukaupto N ir P kiekio (kg ha^{-1}) priklausomumas nuo pupinių žolių antžeminės masės K koncentracijos (g kg^{-1}) (I eksperimentas, BBCH 59–61)

Figure 3.25. *The winter wheat aboveground mass accumulated of N and P content (kg ha^{-1}) dependence on the aboveground mass of forage legumes K concentration (g kg^{-1}) (Experiment I, BBCH 59–61)*

II eksperimento duomenimis, žieminių kviečių antžeminėje masėje azoto bei kalio koncentracija ir biomasėje sukauptas azoto ir kalio kiekis atvirkščiai koreliavo su pupinių žolių analogiškais rodikliais (3.26 paveikslas).



3.26 paveikslas. Žieminių kviečių antžeminėje masėje sukaupto N kiekio (g kg^{-1}, kg ha^{-1}) ir P koncentracijos (g kg^{-1}) priklausomumas nuo pupinių žolių antžeminėje masėje sukaupto K (g kg^{-1}) ir P (kg ha^{-1}) kiekio (II eksperimentas, BBCH 59–61)

Figure 3.26. *The winter wheat aboveground mass accumulated of N content (g kg^{-1}, kg ha^{-1}) and P concentration (g kg^{-1})dependence on the aboveground mass of forage legumes K concentration (g kg^{-1}) and and P (kg ha^{-1}) (Experiment II, BBCH 59–61)*

Didėjant pupinių žolių kalio koncentracijai (nuo 17,20 iki 31,70 g kg^{-1}) ir biomasėje sukauptam jo kiekiui (nuo 7,75 iki 99,69 kg ha^{-1}), žieminių kviečių antžeminėje masėje azoto koncentracija ir sukauptas jo kiekis mažėjo atitinkamai nuo 3,50 iki 2,81 g kg^{-1} ir nuo 30,59 iki 11,10 iki kg ha^{-1}. Tikėtina, kad pupinės žolės, kurios kaupia daugiau kalio (šiuo atveju baltieji dobilai), gali konkuruoti su žieminiais kviečiais dėl azoto įsisavinimo. Pupinių žolių antžeminėje masėje sukauptam fosforo kiekiui didėjant nuo 0,98 iki 3,44 kg ha^{-1}, žieminių kviečių antžeminėje

masėje jo koncentracija mažėjo nuo 1,11 iki 2,40 g kg^{-1}. Šių rodiklių koreliacija buvo labai stipri (r = −0,92; $p \leq 0,01$). I eksperimente analogiški ryšiai nebuvo nustatyti. Tai galėjo lemti II eksperimento dirvožemio armenyje mažesnis judriųjų P_2O_5 kiekis (121 mg kg^{-1}), palyginus su I eksperimento (146 mg kg^{-1}).

Apibendrinus dviejų eksperimentų koreliacinės regresinės analizės duomenis galima teigti, kad dvinariame pasėlyje reikšmingesnė neigiama pupinių žolių įtaka žieminių kviečių antžeminei masei ir joje sukauptam azoto kiekiui nustatyta antros apskaitos metu, t. y. žieminių kviečių žydėjimo pradžios tarpsniu (BBCH 59–61). Pupinės žolės didžiausią įtaką turėjo žieminių kviečių azoto ir kalio koncentracijai. Daugeliu atvejų pupinių žolių antžeminėje masėje kalio koncentracijai arba kiekiui didėjant, žieminių kviečių antžeminėje masėje azoto koncentracija ir sukauptas jo kiekis mažėjo. Didesniu kalio kaupimu antžeminėje masėje pasižymėjo baltieji dobilai. Augalų konkurencija dėl fosforo buvo ryškesnė judriojo P_2O_5 mažiau turičiame dirvožemyje.

3.3.4. Maisto medžiagų kiekis sukauptas derliuje žieminių kviečių brandos metu

Azotas. Žieminiams kviečiams visiškai subrendus (BBCH 89), jų derliuje sukauptas azoto kiekis pateiktas 3.11 lentelėje. Abiejų eksperimentų duomenys parodė esminius azoto koncentracijos ir derliuje sukaupto jo kiekio skirtumus tarp žemės dirbimo ir žieminių kviečių sėjos būdų. I eksperimento žieminių kviečių grūduose azoto koncentracija buvo esmingai didesnė (7,8–21,6 %) po pupinių žolių aparimo, palyginus su kontroliniu laukeliu. Didžiausia azoto koncentracija nustatyta žieminius kviečius auginant po baltųjų dobilų aparimo. Azoto koncentracija grūduose mažėjo žoles mulčiuojant du kartus (apynines liucernas – esmingai), palyginus su kontroliniu laukeliu. Įvertinus azoto koncentraciją šiauduose nustatyta, kad visuose žieminių kviečių auginimo variantuose ji padidėjo iš esmės, palyginus su kontroliniu laukeliu. Vidutiniais duomenimis, žieminių kviečių derliuje sukaupto azoto didesnė dalis (70,8 %) pateko į grūdus. Daugiausia azoto grūduose buvo žieminius kviečius auginant po apartų pupinių žolių. Azoto priedas dėl apyninių liucernų, baltųjų ir egiptinių dobilų juose sudarė atitinkamai 19,0. 32,2 ir 21,5 kg ha^{-1}, arba 46,3, 78,5 ir 52,4 % daugiau nei kontroliniame laukelyje. Palyginus juostinio žemės dirbimo ir sėjos variantus nustatyta, kad žieminiai kviečiai, sėti į avižų ražienas arba į pupines žoles, pagal grūduose sukauptą azoto kiekį buvo beveik lygiaverčiai. Panašūs skirtumai nustatyti ir bendro derliuje sukaupto azoto kiekio.

3.11 lentelė. Azoto kiekis, sukauptas žieminių kviečių pagrindinės ir šalutinės produkcijos derliuje

Table 3.11. *Nitrogen accumulation in the main and by-products of winter wheat yield*

Vienanariai ir dvinariai pasėliai / *Mono- and intercrops*	N g kg^{-1}		N kg ha^{-1} SM / *DM*		
	grūduose / *in grains*	šiauduose / *in straw*	grūduose / *in grains*	šiauduose / *in straw*	iš viso / *in all*
2019 m./ *2019*					
*A–ŽK (TŽDS)	14,56 bc	5,0 a	41,0 c	16,9 c	57,9 c
A–ŽK (JŽDS)	14,74 c	5,71 bcd	32,6 ab	14,5 bc	47,1 abc
AP–ŽK (TŽDS)	16,36 e	5,51 b	60,0 d	24,6 de	84,6 d
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	14,93 c	5,61 bcd	36,0 bc	14,5 bc	50,5 abc
A+AL–AL+ŽK+M1 (JŽDS)	14,36 abc	5,72 bcd	35,3 bc	14,9 bc	50,2 abc
A+AL–L+ŽK+M2 (JŽDS)	13,83 a	5,59 bcd	32,4 ab	14,3 abc	46,7 abc
BD–ŽK (TŽDS)	17,70 f	5,75 bcd	73,2 e	25,8 de	99,0 f
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	14,67 bc	5,55 b	31,5 ab	13,0 ab	44,5 ab
A+BD–BD+ŽK+M1 (JŽDS)	14,67 bc	5,81 bcd	29,2 a	11,8 a	41,0 a
A+BD–BD+ŽK+M2 (JŽDS)	14,10 ab	5,62 bcd	35,1 bc	15,2 bc	50,3 abc
ED–ŽK (TŽDS)	15,7 d	6,0 d	62,5 d	26,4 e	88,9 def
A+ED–ŽK (JŽDS)	14,37 abc	5,65 bcd	36,8 bc	17,1 c	53,9 bc
Vidurkis / Average	*15,0*	*5,63*	*42,1*	*17,4*	*59,5*
2020 m. / *2020*					
*A–ŽK (TŽDS)	15,43 ab	3,58 a	54,7 a	14,3 a	69,0 a
A–ŽK (JŽDS)	15,90 abc	5,89 bc	61,3 ab	25,6 b	86,9 ab
AP–ŽK (TŽDS)	15,27 a	5,80 bc	86,6 cde	39,1 e	125,7 cd
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	15,57 abc	5,58 b	59,1 ab	23,3 ab	82,4 ab
A+AL–AL+ŽK+M1 (JŽDS)	17,23 e	5,78 b	55,4 ab	21,8 ab	77,2 ab
A+AL–AL+ŽK+M2 (JŽDS)	16,67 cde	5,69 b	54,3 a	19,3 ab	73,6 ab
BD–ŽK (TŽDS)	16,63 cde	8,63 g	98,6 e	63,9 d	162,5 f
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	15,83 abc	6,74 cd	54,4 a	19,1 ab	73,5 ab
A+BD–BD+ŽK+M1 (JŽDS)	16,40 bcde	7,05 de	60,7 ab	23,6 ab	84,3 ab
A+BD–BD+ŽK+M2 (JŽDS)	16,53 bcde	6,86 de	54,1 a	20,1 ab	74,2 ab
ED–ŽK (TŽDS)	16,17 abcde	7,75 efg	87,7 cde	52,4 d	140,1 def
A+ED–ŽK (JŽDS)	16,33 abcde	5,62 b	73,9 bc	27,0 b	100,9 bc
Vidurkis / Average	*16,16*	*6,25*	*66,8*	*29,1*	*95,9*

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai, AL–ŽK – apyninių liucernų – žieminiai kviečiai, BD–ŽK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai, ED–ŽK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis+žieminiai kviečiai, A+ED–ŽK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai; M1 – pupinių žolių mulčiavimas vieną kartą, M2 – pupinių žolių mulčiavimas du kartus; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat , AL–ŽK – black medick – winter wheat, BD–ŽK – white clover – winter wheat, ED–ŽK – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; A+ED–ED+ŽK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; M1 – mulching once, M2 – mulching twice; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control treatment; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

II eksperimento duomenimis, taikytų priemonių įtaka grūdų azoto koncentracijai buvo mažiau ryški ir ne visuomet veiksminga. Azoto koncentraciją grūduose iš esmės padidino žieminiai kviečiai, auginti dvinariuose pasėliuose su apyninėmis liucernomis jų antžeminę masę mulčiuojant (8,0–11,7 %) arba aparti baltieji dobilai (7,8 %), palyginus su kontroliniu laukeliu.

Visuose variantuose šiauduose azoto koncentracija padidėjo iš esmės, palyginus su kontroliniu laukeliu. Palyginus su žieminiais kviečiais, sėtais į avižų ražienas (JŽDS), azoto koncentracijos esminiai priedai gauti sėjomainos grandyse su baltaisiais (nepriklausomai nuo sėjos būdo) arba egiptiniais (TŽDS) dobilais. II eksperimente žieminiai kviečiai azoto derliuje sukaupė 61,2 % daugiau nei I eksperimente. Tačiau, kaip ir I eksperimente, daugiausia azoto grūduose sukaupė žieminiai kviečiai, auginti po apartų pupinių žolių. Palyginus su kontroliniu laukeliu, po apyninių liucernų skirtumas sudarė 31,9 kg ha^{-1}, arba 58,3 %, po baltųjų dobilų – 43,9 kg ha^{-1}, arba 80,3 %, po egiptinių dobilų – 33,0 kg ha^{-1}, arba 60,3 %. Dvinariuose pasėliuose su pupinėmis žolėmis (apyninėmis liucernomis ir baltaisiais dobilais) auginti žieminiai kviečiai grūduose azoto sukaupė beveik tiek pat, kiek juostiniu žemės dirbimo ir sėjos būdu pasėti į avižų ražienas. Tačiau žieminius kviečius pasėjus į egiptinius dobilus (JŽDS) ir jų antžeminei masei per žiemą nušalus, grūduose gautas esminis azoto priedas (12,6 kg ha^{-1}, arba 20,6 %), palyginus su analogiška sėja į avižų ražienas.

Fosforas. I eksperimente žieminiai kviečiai, auginti po apartų avižų ar pupinių žolių, grūduose sukaupė iš esmės vienodą kiekį fosforo (3.12 lentelė). Fosforo koncentraciją grūduose turėjo tendenciją didinti juostinis žemės dirbimas ir sėja į avižų ražienas arba pupines žoles, palyginus su kontroliniu laukeliu. Didžiausia fosforo koncentracija grūduose buvo žieminius kviečius auginant su baltaisiais dobilais (masę mulčiuojant du kartus) arba su apyninėmis liucernomis (masę mulčiuojant kartą). Šiauduose mažiausia fosforo koncentracija nustatyta žieminius kviečius auginant artuose laukeliuose. Fosforo koncentracija šiauduose buvo esmingai mažesnė aparus pupines žoles nei avižas. Žieminiams kviečiams taikant juostinį žemės dirbimą ir sėją, fosforo koncentracija šiauduose, kaip ir grūduose, didėjo. Fosforo žieminių kviečių grūduose buvo sukaupta nedaug. Nustatytos atvirkštinės fosforo koncentracijos tendencijos. Palyginus su kontroliniu laukeliu, esminiai fosforo priedai grūduose gauti žieminius kviečius auginant aparus baltuosius arba egiptinius dobilus, nepriklausomai nuo sėjos būdo. Žieminiai kviečiai, pasėti juostiniu žemės dirbimo ir sėjos būdu, lėmė mažesnį grūduose sukauptą fosforo kiekį, kuris vertinant esmingumo kriterijais nesiskyrė. II eksperimente fosforo koncentracija ir sukaupimas grūduose kito analogiškai I eksperimento duomenims.

3.12 lentelė. Fosforo kiekis, sukauptas žieminių kviečių pagrindinės ir šalutinės produkcijos derliuje

Table 3.12. *Phosphorus accumulation in the main and by-products of winter wheat yield*

Vienanariai ir dvinariai pasėliai / *Mono- and intercrops*	P g kg^{-1}		P kg ha^{-1} SM / *DM*		
	grūduose / *in grains*	šiauduose / *in straw*	grūduose / *in grains*	šiauduose / *in straw*	iš viso / *in all*
2019 m./ *2019*					
*A–ŽK (TŽDS)	3,66 abc	1,02 bc	10,2 abc	3,5 cde	13,7 abcd
A–ŽK (JŽDS)	3,98 cdef	1,24 def	8,8 ab	3,1 cde	11,9 abc
AP–ŽK (TŽDS)	3,23 a	0,50 a	11,8 cd	2,2 a	14,0 cdef
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	3,71 abcd	1,12 bcd	9,1 ab	2,9 bc	12,0 abc
A+AL–AL+ŽK+M1 (JŽDS)	4,21 def	1,36 f	10,3 abc	3,5 e	13,8 abcd
A+AL–AL+ŽK+M2 (JŽDS)	3,78 bcd	1,12 bcd	8,9 ab	2,9 bc	11,8 abc
BD–ŽK (TŽDS)	3,32 ab	0,52 a	13,7 def	2,3 ab	16,0 def
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	3,88 cdef	0,95 b	8,4 a	2,2 a	10,6 ab
A+BD–BD+ŽK+M1 (JŽDS)	4,09 cdef	1,14 cd	8,1 a	2,2 a	10,3 a
A+BD–BD+ŽK+M2 (JŽDS)	4,43 f	1,10 bcd	11,1 bcd	3,0 cde	14,1 bcdef
ED–ŽK (TŽDS)	3,83 bcd	0,54 a	15,3 f	2,3 ab	17,6 f
A+ED–ŽK (JŽDS)	3,8 bcd	1,08 bcd	9,8 abc	3,2 cde	13,0 abcd
Vidurkis / Average	*3,83*	*0,97*	*10,5*	*2,8*	*13,3*
2020 m./ *2020*					
*A–ŽK (TŽDS)	3,17 abcd	0,06 a	11,3 a	0,2 a	11,5 a
A–ŽK (JŽDS)	3,68 de	0,16 abcd	14,1 abcd	0,8 a	14,9 abc
AP–ŽK (TŽDS)	2,91 a	0,07 ab	16,6 bcdef	0,5 a	17,1 bcde
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	3,23 abcd	0,08 ab	12,2 ab	0,3 a	12,5 ab
A+AL–AL+ŽK+M1 (JŽDS)	4,44 g	0,11 ab	14,3 abcd	0,4 a	14,7 abc
A+AL–AL+ŽK+M2 (JŽDS)	3,54 bcde	0,06 a	11,0 a	0,2 a	11,2 a
BD–ŽK (TŽDS)	3,05 abc	0,33 bcd	18,2 def	2,5 c	20,7 de
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	2,98 ab	0,33 bcd	10,7 a	0,9 a	11,6 a
A+BD–BD+ŽK+M1 (JŽDS)	3,46 bcde	0,39 d	13,3 abc	1,1 abc	14,4 abc
A+BD–BD+ŽK+M2 (JŽDS)	3,58 cde	0,21 abcd	11,8 a	0,6 a	12,4 ab
ED–ŽK (TŽDS)	3,57 cde	0,33 bcd	19,5 f	2,4 bc	21,9 e
A+ED–ŽK (JŽDS)	3,86 efg	0,16 abcd	17,6 cdef	0,8 a	18,4 cde
Vidurkis / Average	*3,46*	*0,19*	*14,2*	*0,9*	*15,1*

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai, AL–ŽK – apyninių liucernų – žieminiai kviečiai, BD–ŽK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai, ED–ŽK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+ED–ŽK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai; M1 – pupinių žolių mulčiavimas vieną kartą, M2 – pupinių žolių mulčiavimas du kartus; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat , AL–ŽK – black medick – winter wheat, BD–ŽK – white clover – winter wheat, ED–ŽK – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; A+ED–ED+ŽK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; M1 – mulching once, M2 – mulching twice; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control treatment; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

Kalis. I eksperimento duomenimis, kalio koncentracija žieminių kviečių grūduose taikant TŽDS mažėjo, palyginus su juostiniu žemės dirbimu ir sėja (3.13 lentelė). Žieminių kviečių juostinė sėja į avižų ražienas, apynines liucernas (be mulčiavimo) arba baltuosius dobilus (masę mulčiuojant kartą) iš esmės padidino kalio koncentraciją grūduose (atitinkamai 0,32, 0,35 ir 0,37 proc. vnt.), palyginus su kontroliniu laukeliu. Kiti žieminių kviečių sėjos variantai vertinami esmingumo kriterijais nesiskyrė. Kalio koncentracijos šiauduose duomenys buvo mažiau dėsningi. Žieminių kviečių (grūdų ir šiaudų) derliuje didesnė kalio dalis (56,8 %) buvo sukaupta šiauduose. Grūdų derliuje sukaupto kalio kiekio duomenys kito analogiškai. Daugiausia kalio grūduose buvo sukaupta žieminius kviečius auginant po apartų avižų ražienų ir visų pupinių žolių. Palyginus su juostiniu žemės dirbimu ir žieminių kviečių sėja į avižų ražienas, grūduose kalio buvo sukaupta esmingai daugiau (atitinkamai 18,2 ir 49,3–68,1 %) nei po avižų arba pupinių žolių priešsėlių. Šiauduose esminis kalio priedas gautas tik pupines žoles aparus prieš žiemkenčių sėją. Kalio sukaupimas ir grūduose, ir šiauduose tarp juostinės sėjos variantų beveik nesiskyrė, nepriklausomai, ar buvo sėta į avižų ražienas, ar į pupines žoles.

3.13 lentelė. Kalio kiekis, sukauptas žieminių kviečių pagrindinės ir šalutinės produkcijos derliuje

Table 3.13. *Potassium accumulation in the main and by-products of winter wheat yield*

Vienanariai ir dvinariai pasėliai / *Mono- and intercrops*	K g kg^{-1}		K kg ha^{-1} SM / *DM*		
	grūduose / *in grains*	šiauduose / *in straw*	grūduose / *in grains*	šiauduose / *in straw*	iš viso / *in all*
	2019 m./ *2019*				
*A–ŽK (TŽDS)	4,26 abc	4,69 a	11,94 d	15,80 d	27,7 d
A–ŽK (JŽDS)	4,58 def	5,42 e	10,10 abc	13,73 bcd	23,8 bcd
AL–ŽK (TŽDS)	4,11 a	5,32 cde	15,08 e	23,76 f	38,9 ef
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	4,61 ef	4,75 ab	11,15 bcd	12,58 abc	23,8 bcd
A+AL–AL+ŽK+M1 (JŽDS)	4,49 cdef	5,10 bcde	11,02 bcd	13,28 bcd	24,3 bcd
A+AL–AL+ŽK+M2 (JŽDS)	4,34 abcd	5,16 bcde	10,18 abc	13,24 bcd	23,4 abc
BD–ŽK (TŽDS)	4,11 a	5,14 bcde	16,98 g	23,08 ef	40,1 f
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	4,45 bcdef	5,20 bcde	9,55 ab	12,23 ab	21,8 ab
A+BD–BD+ŽK+M1 (JŽDS)	4,63 f	5,07 abcde	9,24 a	10,33 a	19,5 a
A+BD–BD+ŽK+M2 (JŽDS)	4,41 bcdef	5,02 abcde	10,93 bcd	13,57 bcd	24,5 bcd
ED–ŽK (TŽDS)	4,21 ab	4,93 abc	16,78 efg	21,71 ef	38,5 ef
A+ED–ŽK (JŽDS)	4,39 bcdef	5,15 bcde	11,25 cd	15,56 cd	26,9 cd
Vidurkis / Average	*4,38*	*5,09*	*12,01*	*15,74*	*27,7*
	2020 m./ *2020*				
*A–ŽK (TŽDS)	6,37 bcd	5,95 a	22,56 ab	24,45 a	47,1 ab
A–ŽK (JŽDS)	6,08 abcd	6,26 ab	23,54 ab	26,76 a	50,3 ab
AL–ŽK (TŽDS)	5,95 abcd	7,67 d	33,67 cd	51,98 b	85,7 cde
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	5,76 ab	6,36 ab	21,55 ab	27,05 a	48,7 ab
A+AL–AL+ŽK+M1 (JŽDS)	6,36 bcd	6,07 ab	20,50 a	22,72 a	43,2 ab
A+AL–AL+ŽK+M2 (JŽDS)	6,79 d	6,11 ab	22,08 ab	20,42 a	42,5 ab
BD–ŽK (TŽDS)	6,20 bcd	9,21 e	36,68 d	68,50 c	105,2 e
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	6,0 abcd	7,29 cd	20,71 ab	20,90 a	41,6 ab
A+BD–BD+ŽK+M1 (JŽDS)	6,45 bcd	6,44 ab	23,46 ab	22,23 a	45,7 ab
A+BD–BD+ŽK+M2 (JŽDS)	6,19 bcd	6,68 bc	20,23 a	19,55 a	39,8 a
ED–ŽK (TŽDS)	5,27 a	7,82 d	29,17 bcd	53,39 b	82,6 b
A+ED–ŽK (JŽDS)	6,18 bcd	6,20 ab	27,94 abcd	29,95 a	57,9 c
Vidurkis / Average	*6,13*	*6,84*	*25,17*	*32,33*	*57,5*

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai, AL–ŽK – apyninių liucernų – žieminiai kviečiai, BD–ŽK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai, ED–ŽK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+ED–ŽK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai; M1 – pupinių žolių mulčiavimas vieną kartą, M2 – pupinių žolių mulčiavimas du kartus; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat , AL–ŽK – black medick – winter wheat, BD–ŽK – white clover – winter wheat, ED–ŽK – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; A+ED–ED+ŽK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; M1 – mulching once, M2 – mulching twice; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control treatment; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

II eksperimento duomenimis, grūduose didžiausia kalio koncentracija nustatyta žiemkenčius auginant dvinariame pasėlyje su apyninėmis liucernomis (du kartus mulčiuojant), mažiausia – aparus egiptinius dobilus (3.13 lentelė). Šiuose variantuose skirtumai buvo esminiai, palyginus su kontroliniu laukeliu. Kaip ir I eksperimente, kalio koncentraciją šiauduose didino pupinių žolių aparimas, palyginus su juostine sėja. Kiti juostinės sėjos variantai reikšmingos įtakos grūdų ir šiaudų kalio koncentracijai neturėjo. Grūduose ir šiauduose daugiausia kalio sukaupta žieminius kviečius auginant po apartų apyninių liucernų ir baltųjų bei egiptinių dobilų. Palyginus su kontroliniu laukeliu, grūduose sukaupto kalio esminis priedas po apartų apyninių liucernų ir baltųjų dobilų sudarė atitinkamai 49,2 ir 62,6 %. Apartos pupinės žolės kalio sukaupimą šiauduose padidino esmingai ir daugiau kaip du kartus (2,1–2,8 karto). Kaip ir I eksperimente, kalio sukaupimas grūduose ir šiauduose tarp juostinės sėjos variantų esmingai nesiskyrė.

Apibendrinus tyrimo rezultatus galima teigti, kad azoto koncentraciją grūduose ir šiauduose labiausiai didino apartos pupinės žolės, daugiausia baltieji dobilai. Pupinių žolių mulčiavimas azoto kiekio didėjimui grūduose ir šiauduose neturėjo įtakos. Juostinis žemės dirbimas ir sėja turėjo tendenciją didinti fosforo koncentraciją grūduose ir šiauduose.

3.3.5. Pupinių žolių antžeminėje masėje sukauptas maisto medžiagų kiekis, žieminiams kviečiams pasiekus visišką brandą

Azotas. I eksperimento duomenimis, azoto koncentracija buvo esmingai didesnė baltųjų dobilų vienanario pasėlio antžeminėje masėje, palyginus su apyninių liucernų (3.14 lentelė). Pupines žoles auginant vienanariuose ir dvinariuose pasėliuose (be mulčiavimo), jų antžeminėje

masėje azoto koncentracija kito nežymiai, tačiau jo didesnę koncentraciją lėmė pupinių žolių mulčiavimas. II eksperimente apyninių liucernų auginimo būdas arba antžeminės masės mulčiavimas savo efektyvumu buvo beveik lygiaverčiai. Baltųjų dobilų antžeminės masės azotingumas iš esmės padidėjo juos auginant dvinariuose pasėliuose be mulčiavimo arba antžeminę masę mulčiuojant. Pagal antžeminėje masėje sukauptą azoto kiekį vienanariame pasėlyje augintos pupinės žolės nesiskyrė, tačiau jo sukaupimui esminės įtakos turėjo jų auginimas su kviečiais dvinariuose pasėliuose ir mulčiavimas. Apyninių liucernų derliuje sukauptas azoto kiekis mažėjo jas auginant dvinariuose pasėliuose ir proporcingai mulčiavimų skaičiui. Baltųjų dobilų derliuje, juos auginant vienanariuose ir dvinariuose pasėliuose, ryškesnių azoto kiekio skirtumų nenustatyta, tačiau jo kiekį derliuje esmingai sumažino mulčiavimas, palyginus su nemulčiuota žole. II eksperimento duomenimis, pupinės žolės, augintos vienanariuose arba dvinariuose pasėliuose, pagal azoto sukaupimą derliuje nesiskyrė. Kaip ir I eksperimente, azoto sukaupimą mažino apyninių liucernų mulčiavimas. Daugiausia azoto buvo sukaupta baltųjų dobilų derliuje, tačiau taikytų priemonių įtaka nebuvo dėsninga.

Fosforas. I eksperimente fosforo koncentraciją didino pupinių žolių auginimas dvinariuose pasėliuose arba jų antžeminės masės mulčiavimas, palyginus su atitinkamos rūšies vienanariame pasėlyje augintomis pupinėmis žolėmis (3.14 lentelė). II eksperimente mulčiavimo įtaka buvo priešinga – fosforo koncentracija mažėjo. Abiejų eksperimentų duomenimis, fosforo kiekis apyninių liucernų derliuje mažėjo jas auginant kartu su žieminiais kviečiais ir antžeminę masę mulčiuojant. Baltųjų dobilų derliuje sukaupto fosforo kiekio kitimas buvo ne toks dėsningas. Abiejų eksperimentų duomenimis, baltųjų dobilų derliuje sukauptas fosforo kiekis mažai kito, o antžeminės masės mulčiavimas du kartus buvo nevienareikšmis.

Kalis. Kalio koncentracija buvo didesnė baltųjų dobilų derliuje nei apyninių liucernų (3.14 lentelė). I eksperimente kalio koncentracija žolių derliuje padidėjo iš esmės apyninių liucernų arba baltųjų dobilų antžeminę masę mulčiuojant, palyginus su atitinkamų rūšių vienanariais pasėliais. II eksperimento kalio koncentracijos duomenys buvo ne tokie nuoseklūs.

Apyninių liucernų auginimas dvinariuose pasėliuose kalio koncentraciją mažino, o baltųjų dobilų didino, palyginus su šių rūšių vienanariais pasėliais. Apyninių liucernų derliuje sukauptas kalio kiekis abiejuose eksperimentuose kito dėsningai. Kalio kiekis apyninių liucernų derliuje sumažėjo iš esmės jas auginant kartu su kviečiais ir masę mulčiuojant, palyginus su vienanariu pasėliu. Kalio kiekis baltųjų dobilų derliuje sumažėjo tik du kartus mulčiuojant ir tik I eksperimente. II eksperimente gautas priešingas rezultatas – mulčiavimas du kartus iš esmės padidino kalio kiekį derliuje.

3.14 lentelė. Maisto medžiagų pasiskirstymas pupinių žolių antžeminėje masėje žieminiams kviečiams pasiekus visišką brandą (BBCH 89)

Table 3.14. *Nutrient distribution in the aboveground mass of forage legumes when winter wheat reaches full maturity stage (BBCH 89)*

Variantai/ *Treatment*	N g kg^{-1}	N kg ha^{-1} SM / *DM*	P g kg^{-1}	P kg ha^{-1} SM / *DM*	K g kg^{-1}	K kg ha^{-1} SM / *DM*
2019 m./ *2019*						
AL*	22,74 f	49,5 f	2,08 a	4,4 e	17,30 a	36,8 cdef
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	20,28 a	34,5 cd	2,29 ab	3,9 cde	16,25 a	27,5 bc
A+AL–AL+ŽK+M1 (JŽDS)	28,0 b	21,9 b	2,74 abcd	2,2 b	21,0 b	16,9 ab
A+AL–AL+ŽK+M2 (JŽDS)	28,03 bc	7,4 a	2,82 bcd	0,7 a	22,45 b	5,9 a
BD*	29,54 c	47,7 ef	2,74 abcd	4,3 cde	30,15 c	48,7 f
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	29,06 bc	38,4 cdef	3,31 cd	4,4 cde	31,95 cde	42,1 def
A+BD–BD+ŽK+M1 (JŽDS)	31,46 e	21,9 b	3,22 cd	4,0 cde	33,50 de	41,9 def
A+BD–BD+ŽK+M2 (JŽDS)	31,73 e	27,2 bc	3,4 d	2,9 bc	34,65 e	30,3 cd
Vidurkis / Average	*27,60*	*33,2*	*2,82*	*3,4*	*25,91*	*31,3*
2020 m./ *2020*						
AL*	20,05 a	29,8 bc	0,3 a	0,4 a	23,60 bc	35,0 b
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	24,05 abc	35,5 bcd	2,25 b	3,3 e	12,40 a	18,1 a
A+AL–AL+ŽK+M1 (JŽDS)	23,85 abc	24,3 b	1,57 c	1,6 b	12,75 a	13,0 a
A+AL–AL+ŽK+M2 (JŽDS)	19,65 a	8,7 a	1,89 d	0,8 ab	10,97 a	4,9 a
BD*	20,85 a	39,7 cd	0,3 a	0,5 a	24,4 bc	45,0 bc
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	28,15 c	44,0 cd	3,06 f	4,7 cd	29,80 c	45,9 bc
A+BD–BD+ŽK+M1 (JŽDS)	26,50 bc	47,2 d	2,67 e	4,7 cd	28,60 bc	50,6 c
A+BD–BD+ŽK+M2 (JŽDS)	26,10 bc	64,2 e	2,28 b	5,6 d	29,25 bc	72,3 d
Vidurkis / Average	*23,65*	*36,7*	*1,78*	*2,7*	*21,47*	*35,6*

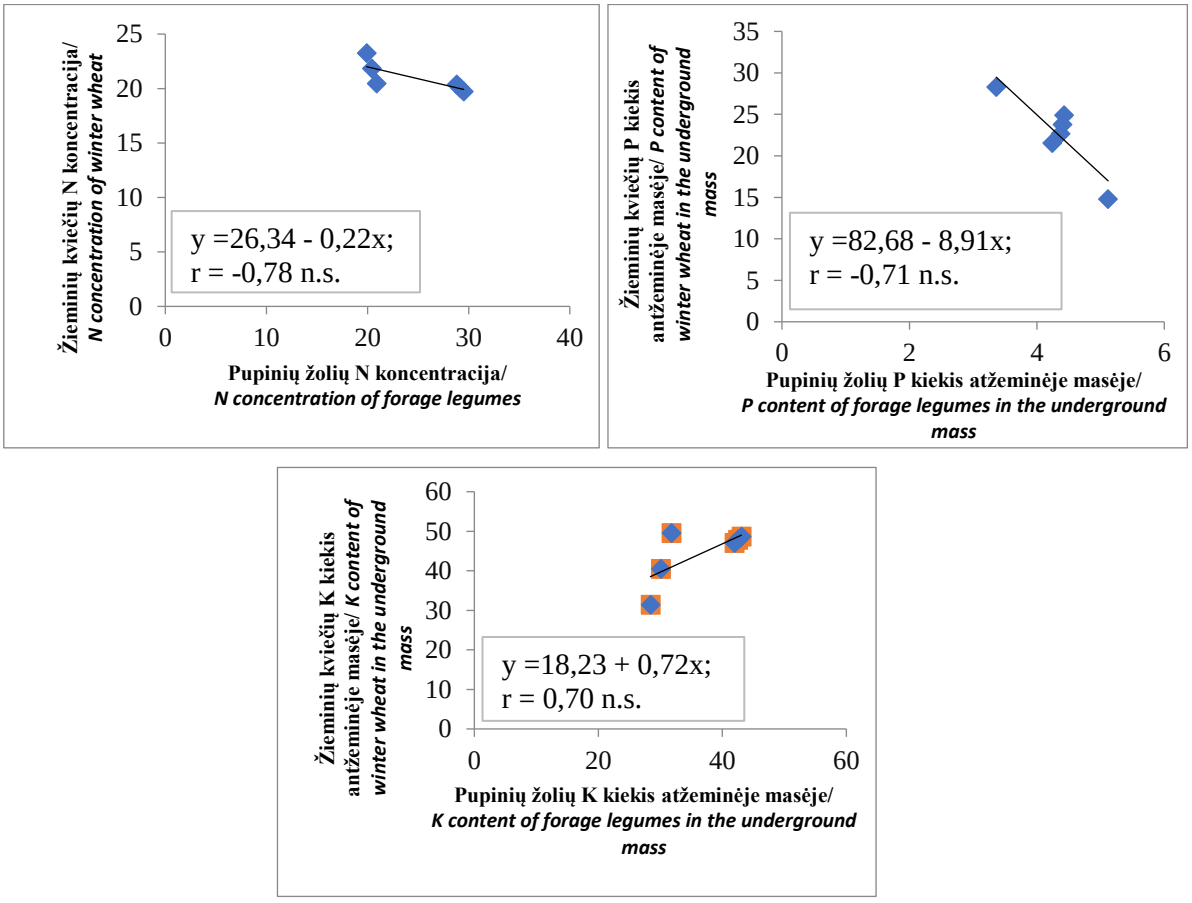
Pastaba: vienanariai pasėliai: AL – apyninės liucernos, BD – baltieji dobilai; dvinariai pasėliai: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai; M1 – pupinių žolių mulčiavimas vieną kartą, M2 – pupinių žolių mulčiavimas du kartus; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: AL – black medick, BD – white clover; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+BD–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; M1 – mulching once, M2 – mulching twice; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control treatment; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

Apibendrinus tyrimo rezultatus galima teigti, kad pupinėse žolėse azoto kiekis didėjo jas auginant dvinariuose pasėliuose. Daugiausia azoto buvo sukaupta baltųjų dobilų derliuje. Apyninių liucernų mulčiavimas mažino azoto sukaupimą derliuje. Fosforo koncentraciją taip pat didino pupinių žolių auginimas dvinariuose pasėliuose. Mulčiavimo įtaka nustatyta nevienareikšmė. Kalio koncentracija nustatyta didesnė baltųjų dobilų derliuje nei apyninių liucernų.

3.3.6. Pupinių žolių ir žieminių kviečių, juos auginant dvinariame pasėlyje antžeminės masės ir jose sukauptų maisto medžiagų priklausomumas žieminiams kviečiams pasiekus visišką brandą

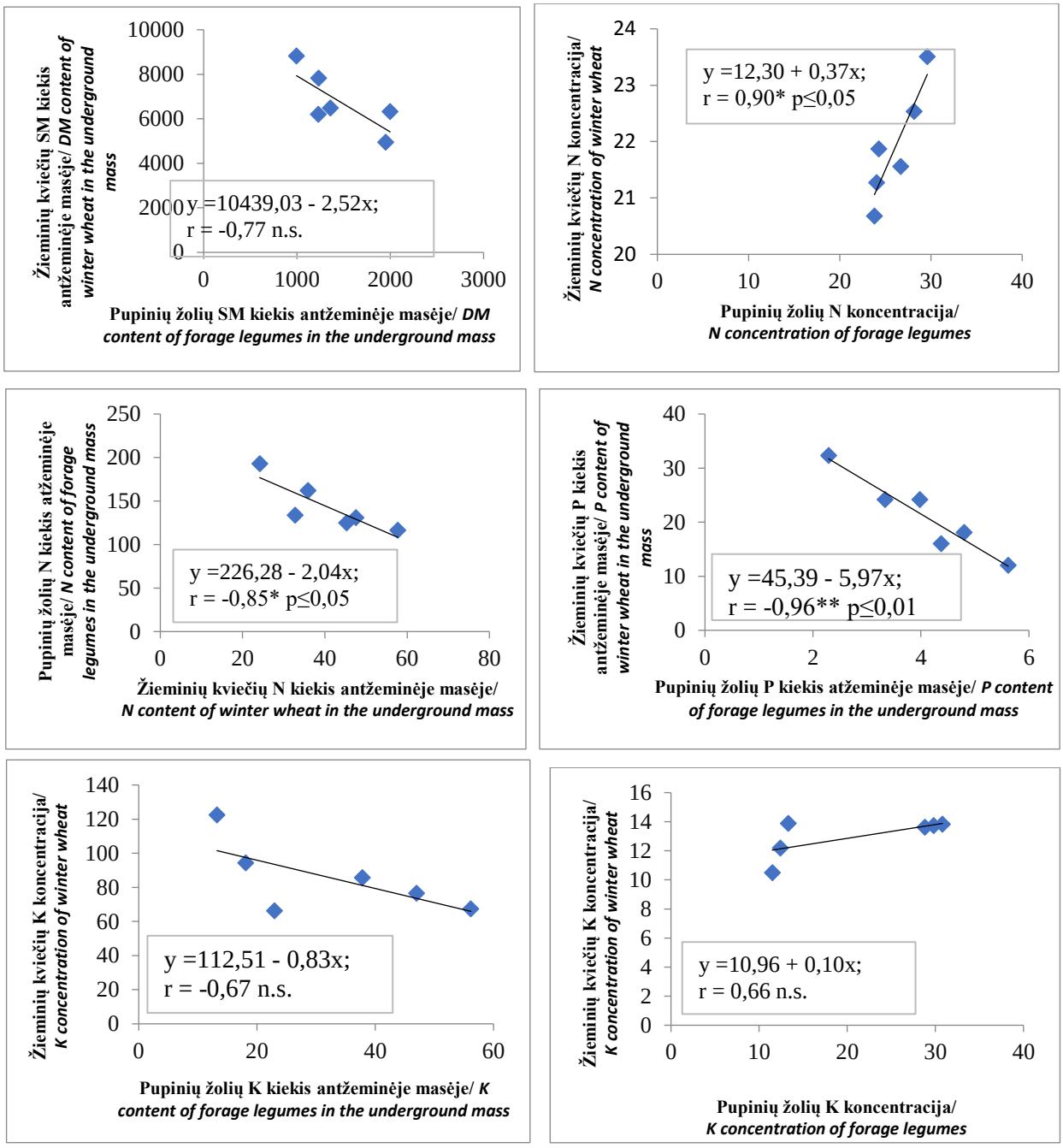
Atlikus I eksperimento duomenų koreliacinę regresinę analizę nustatyta, kad, javams pasiekus visišką brandą, pupinių žolių antžeminėje masėje didėjant azoto koncentracijai, šis rodiklis žieminių kviečių antžeminėje masėje mažėjo. Fosforo sukaupimas pupinių žolių antžeminėje masėje turėjo neigiamą įtaką žieminių kviečių sukauptam fosforo kiekiui. Teigiamas priklausomumas apskaičiuotas tarp žieminių kviečių ir pupinių žolių antžeminės masės kalio kiekio (kg ha^{-1}), tačiau dėl didelio duomenų pasiskirstymo šie ryšiai nebuvo esminiai (3.27 paveikslas).



3.27 paveikslas. Žieminių kviečių antžeminėje masėje sukaupto N koncentracijos (g kg^{-1}) ir P (kg ha^{-1}) bei K (kg ha^{-1}) kiekių priklausomumas nuo pupinių žolių antžeminėje masėje sukaupto N (g kg^{-1}), P (kg ha^{-1}) ir K (kg ha^{-1}) (I eksperimentas, BBCH 87–89)

Figure 3.27. *The winter wheat aboveground mass accumulated of N concentration (g kg^{-1}) P (kg ha^{-1}) and K (kg ha^{-1}) content dependence on the aboveground mass of forage legumes accumulated N (g kg^{-1}) P (kg ha^{-1}) and K (kg ha^{-1}) (Experiment II, BBCH 87–89)*

II eksperimento duomenų koreliaciniai priklausomumai parodė reikšmingesnius ryšius tarp dvinario pasėlio augalų masės ir NPK sukaupimo joje, palyginus su I eksperimentu (3.28 paveikslas).

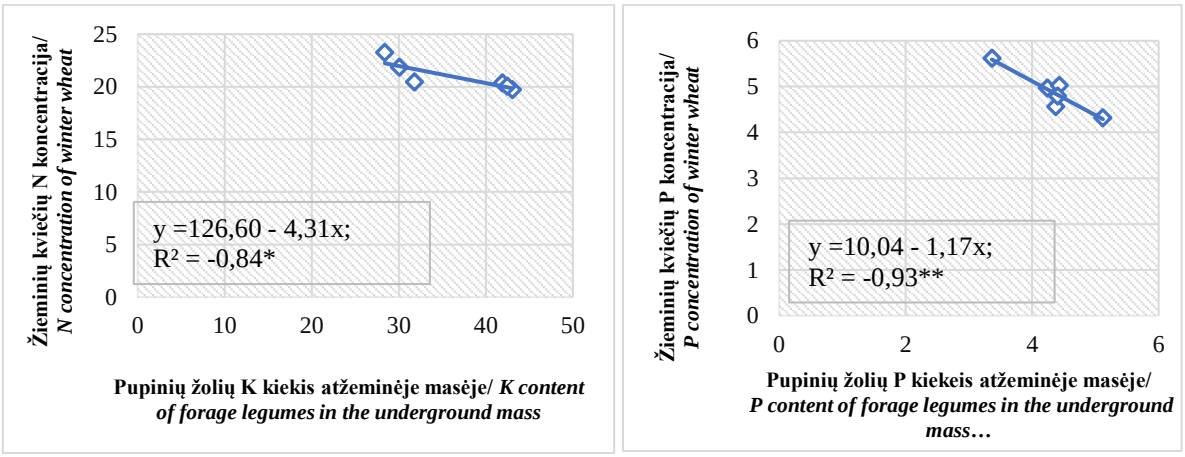


3.28 paveikslas. Žieminių kviečių ir pupinių žolių antžeminės masės (kg ha^{-1} SM), N ir K koncentracijos (g kg^{-1}) ir joje sukaupto N, P, K kiekio (kg ha^{-1}) koreliacija (II eksperimentas, BBCH 87–89)

Figure 3.28. *The winter wheat and forage legumes aboveground mass (kg ha^{-1} DM), N and K concentration (g ha^{-1}) and it accumulated N, P, K content (kg ha^{-1}) correlation (Experiment II, BBCH 87–89)*

Išryškėjo teigiama koreliacija tarp pupinių žolių ir žieminių kviečių biomasės azoto ir kalio koncentracijos. Pupinių žolių azoto koncentracijai didėjant nuo 23,80 iki 29,60 g kg^{-1}, jo koncentracija žieminių kviečių antžeminėje masėje padidėjo iš esmės – nuo 20,68 iki 23,51 g kg^{-1} (r = 0,90; $p \leq 0,05$). Analogiškai kito ir kalio koncentracija, tačiau ryšys nebuvo esminis. Tikėtina, kad žieminių kviečių antžeminėje masėje sukauptą NPK kiekį galėjo lemti atvirkštinis žieminių kviečių ir pupinių žolių antžeminės masės priklausomumas (r = −0,77). Dvinariuose pasėliuose pupinių žolių sukauptam azoto kiekiui didėjant nuo 24,16 iki 57,73 kg ha^{-1}, fosforo – nuo 2,28 iki 5,62 kg ha^{-1}, žieminių kviečių antžeminėje masėje azoto kiekis mažėjo nuo 116,25 iki 192,99 kg ha^{-1}, fosforo – nuo 12,02 iki 32,29 kg ha^{-1}. Nustatyti esminiai, stiprūs koreliaciniai ryšiai (atitinkamai r = −0,85, $p \leq 0,05$; r = −0,96, $p \leq 0,01$). Pupinių žolių sukauptam kalio kiekiui didėjant nustatyta žieminių kviečių antžeminės masės kalio kiekio mažėjimo tendencija.

Koreliacinę regresinę analizę atlikus tarp I eksperimento žieminių kviečių ir pupinių žolių antžeminės masės skirtingų maisto medžiagų, nustatyta keletas esminių priklausomumų (3.29 paveikslas). Pupinių žolių antžeminėje masėje sukauptam kalio kiekiui didėjant (nuo 28,40 iki 43,07 kg ha^{-1}), žieminių kviečių antžeminėje masėje azoto koncentracija mažėjo (nuo 23,24 iki 19,73 g kg^{-1}) (r = −0,84; $p \leq 0,05$). Kuo pupinės žolės kaupė daugiau fosforo (3,36–5,12 kg ha^{-1}), tuo jo koncentracija žieminių kviečių biomasėje buvo mažesnė (5,62–4,32 g kg^{-1}) (r = −0,93; $p \leq 0,01$).

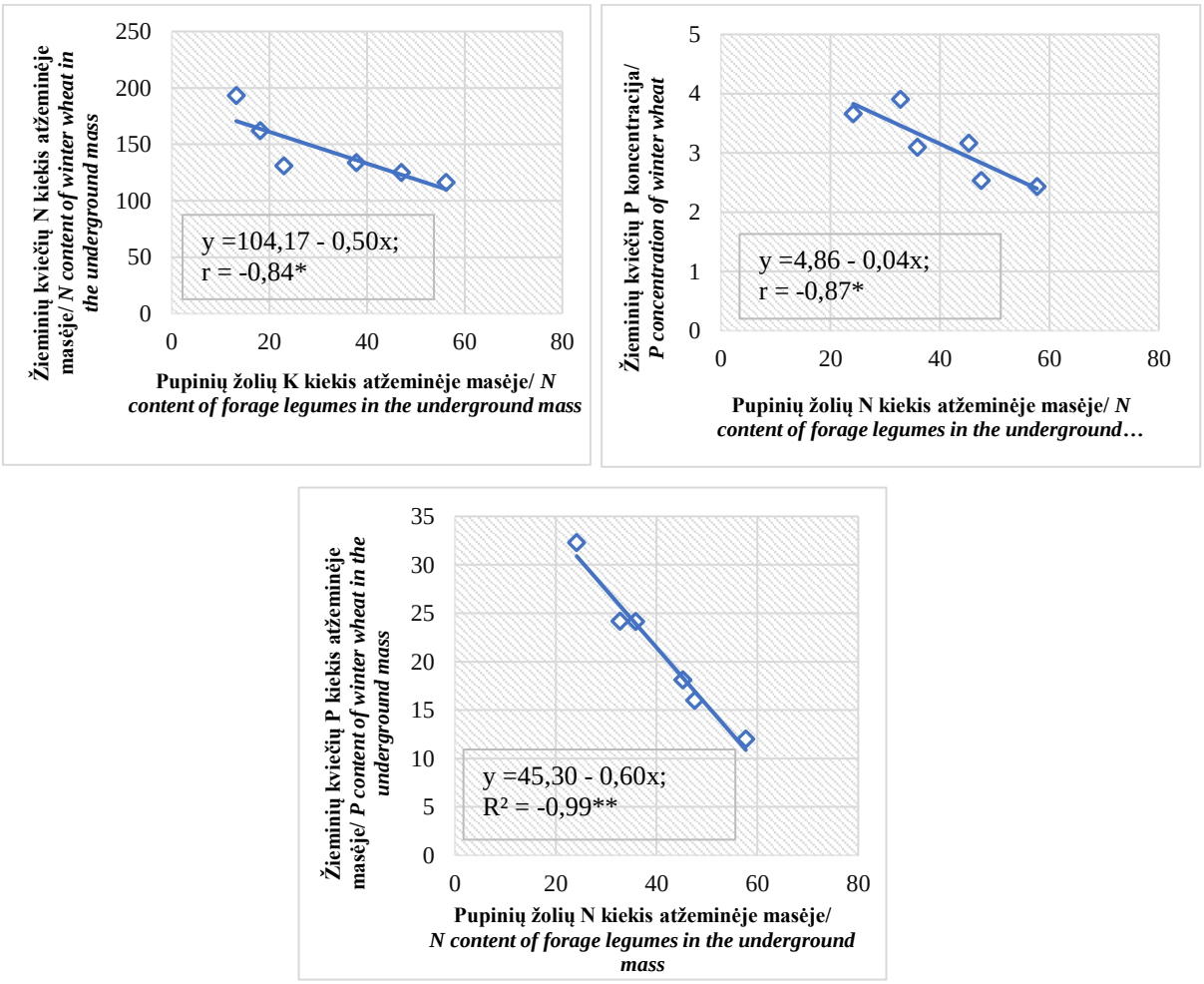


3.29 paveikslas. Žieminių kviečių antžeminės masės N ir P koncentracijos (g kg^{-1}) ir jų priklausomumas nuo pupinių žolių antžeminėje masėje sukaupto K (kg ha^{-1}) ir P (kg ha^{-1}) kiekio (I eksperimentas, BBCH 87–89)

Figure 3.29. *The winter wheat aboveground mass of N and P concentrations (g kg^{-1}) and it dependence on the aboveground mass of forage legumes accumulated K (kg ha^{-1}) and P (kg ha^{-1}) (Experiment II, BBCH 87–89)*

II eksperimento koreliacinės regresinės analizės duomenimis, panašiai kaip ir I eksperimente, žieminių kviečių antžeminėje masėje sukaupto azoto kiekis priklausė nuo pupinių žolių antžeminėje masėje sukaupto kalio kiekio. Pupinių žolių antžeminėje masėje sukauptam kalio kiekiui didėjant nuo 13,23 iki 56,17 kg ha^{-1}, žieminių kviečių antžeminėje masėje sukauptas azoto kiekis mažėjo nuo 124,98 iki 192,99 kg ha^{-1} (r = –0,84; $p \leq 0,05$) (3.30 paveikslas).

Žieminių kviečių antžeminėje masėje fosforo koncetracija (kitimo ribos 3,66–2,43 g kg^{-1}) ir fosforo kiekis (kitimo ribos 32,30–12,02 kg ha^{-1}) mažėjo, pupinių žolių antžeminėje masėje azoto kiekiui didėjant nuo 24,17 iki 57,73 kg ha^{-1}.



3.30 paveikslas. Žieminių kviečių antžeminėje masėje sukaupto N kiekio (g kg^{-1}), P koncentracijos (g kg^{-1}) ir kiekio (kg ha^{-1}) priklausomumas nuo pupinių žolių antžeminėje masėje sukaupto K (kg ha^{-1}) ir N (kg ha^{-1}) kiekio (II eksperimentas, BBCH 87–89)

Figure 3.30. *The winter wheat aboveground mass accumulated of N content (g kg^{-1}) P concentration (g kg^{-1}) and (kg ha^{-1}) dependence on the aboveground mass of forage legumes accumulated K (kg ha^{-1}) and N (kg ha^{-1}) (Experiment II, BBCH 87–89)*

Apibendrinus dviejų eksperimentų koreliacinės regresinės analizės duomenis galima teigti, kad stipresni ryšiai tarp žieminių kviečių ir pupinių žolių antžeminės masės rodiklių nustatyti II eksperimente (2020 m.). Jo metu meteorologinės sąlygos augalams augti buvo palankesnės, nors dirvožemyje buvo mažiau judriojo fosforo (palyginus su I eksperimentu) ir daug kalio. Tais metais žieminių kviečių antžeminė masė buvo didesnė, joje javai sukaupė daugiau azoto ir kalio, palyginus su I eksperimento analogiškais duomenimis (2019 m.). Pupinių žolių antžeminėje masėje sukauptam N, P ir K kiekiui didėjant, šių maisto medžiagų kiekis žieminiuose kviečiuose mažėjo. Augalams augti mažiau palankiais 2019 m. nustatytos tik šių maisto medžiagų mažėjimo tendencijos. Nustatytas žieminių kviečių azoto kiekio atvirkštinis priklausomumas nuo pupinių žolių antžeminėje masėje sukaupto kalio kiekio, o fosforo kiekį dažniausiai lėmė pupinių žolių masėje sukaupto azoto kiekis.

Diskusija

Dvinariams pasėliams buvo pasirinktos mažiau konkurencingų pupinių žolių rūšys. Baltieji dobilai dėl greitai šliaužiančių stiebų dirvos paviršių geriausiai uždengė pirmais po avižų derliaus nuėmimo ir ypač antrais augimo metais. Apyninės liucernos augdamos formavo plačias augalų skroteles, kurios pakrikai išsidėstė eksperimento laukeliuose. Antrais augimo metais apyninių liucernų ir baltųjų dobilų tankumas padidėjo dėl gebėjimo atsisėti, ypač gyvo mulčio laukeliuose. Entz ir kt., 2007 tyrėjai nurodo, kad AL savaime atsisėjančios pupinės žolės, kurios pirmais augimo metais subrandina sėklas ir sėkmingai atsinaujina iš sėklų kitais augimo metais. Iš tirtų rūšių pupinių žolių greičiausiai augo vienmečiai egiptiniai dobilai (Gecaitė ir kt., 2021), tačiau po derliaus nuėmimo jie silpnai atžėlė, o žiemą nušalo. Augalų tinkamumas dvinariam pasėliui priklauso nuo pupinių žolių ir pagrindinio augalo šaknų sistemų išsivystymo skirtumo, pupinių žolių atžėlimo greičio, vienodo dirvožemio padengimo, drėgmės poreikio ir konkurencinės gebos (Wyngaarden ir kt., 2015; Grosse ir kt., 2019). Siekiant pupines žoles išlaikyti ilgesnį laiką, žieminių kviečių ir pupinių žolių pasėlių auginimas taikant juostinį žemės dirbimą turi pranašumų – užtikrina dirvožemio papildymą didesniu kiekiu azoto (Ginakes ir kt., 2020).

2018 m. vėlai rudenį didžiausias $N\text{-}NO_3$ kiekis buvo dirvožemio 0–30 cm sluoksnyje, t. y. 2,9 karto didesnis nei žieminius kviečius sėjant juostiniu būdu į pupines žoles. Mineralinio azoto padidėjimą dirvožemyje lėmė arimo metu įterpta turinti daug azoto, greitai besiskaidanti (C:N < 15) pupinių žolių masė (Arlauskiene ir kt., 2019). Ruduo buvo sausas. Kitų autorių tyrimai rodo, kad esant perteklinio, netolygaus drėgnumo rudens laikotarpiui didžioji dalis mineralinio azoto po pupinių žolių aparimo kaupiasi gilesniame sluoksnyje (30–60 cm) (Arlauskiene ir kt.,

2019). Rudenį, dar nesusiformavus pagrindinei javų šaknų masei, mineralinio azoto kiekis iš gilesnių dirvožemio sluoksnių yra nepasiekiamas (Weyers ir kt., 2020), todėl ne augalų vegetacijos metu po pupinių žolių aparimo yra galima azoto migracija į gilesnius dirvožemio sluoksnius ir išplovimo rizika (Hansen ir Eriksen, 2016; Watros ir kt., 2019). Skaalsveen ir kt. (2019) nustatė, kad neariminis žemės dirbimas azoto išplovimo nesumažina, nebent yra auginami dengiamieji augalai. Walmsley ir kt. (2018) duomenimis, neariminis žemės dirbimas ir dengiamųjų augalų auginimas gali padidinti organinio azoto išplovimą.

2019 m. pavasarį, atsinaujinus žieminių kviečių vegetacijai, $N\text{-}NO_3$ kiekis buvo analogiškas rudens duomenims, tik jo didžioji dalis buvo dirvožemio gilesniame (30–60 cm) sluoksnyje. Žieminiams kviečiams taikant juostinę sėją į pupines žoles per abu (0–60 cm) dirvožemio sluoksnius, $N\text{-}NO_3$ kiekis buvo vidutiniškai 43,9 % mažesnis nei sėjant TŽDS po vienanarių pupinių žolių aparimo. Tai patvirtina teiginį, kad mineralizacijos intensyvumą ir azoto tiekimą galima valdyti parinkus tinkamą žemės dirbimo būdą (Francaviglia ir kt., 2019, Grosse ir kt., 2019). Mažesnį azoto kiekį dirvožemyje lėmė keletas veiksnių. Dirbant tik sėjos eilutes, buvo įterpta nedidelė pupinių žolių masė. Be to, į dirvą pateko ir dalis smulkintų avižų šiaudų (C:N = 80–100), kuriems skaidyti mikroorganizmai naudojo dirvos azotą. Dėl dirvožemio azoto konkuravo žieminiai kviečiai bei pupinės žolės ir augalai bei dirvožemio mikroorganizmai. Taikant neariminį arba supaprastintą žemės dirbimą padidėja dirvožemio tankis, sumažėja aeravimas ir vandens tiekimas (He ir kt., 2019), todėl augalų liekanų mineralizacija vyksta lėtai.

Vegetacijos pradžioje kviečiams azotas labai reikalingas formuoti daugiau produktyvių stiebų ir grūdų varpoje. Geriausia žieminių kviečių mitybos azotu situacija buvo po pupinių žolių aparimo. Azoto pasisavinimas sumažėjo taikant juostinę sėją. Ir kitų tyrėjų nuomone, sumažinus žemės dirbimą azoto tiekimas gali būti derlių ribojantis veiksnys (Weyers ir kt., 2018 Grosse ir kt., 2019). Teigiama, kad augalų mityba gerėja didinant dirvožemio biologinį aktyvumą dėl seklaus dirvos supurenimo ir augalų liekanų įterpimo (Derpsch ir kt., 2014) ir dirvos drėgmės bei šilumos išsaugojimo dirvos paviršių padengus augalų liekanomis (Mäder ir Berner, 2012). Mūsų tyrimo metu sėjos juostų (13 cm) supurenimas 13–15 cm gyliu pavasarį reikšmingesnės įtakos $N\text{-}NO_3$ kitimui neturėjo, palyginus su sėja į avižų ražienas. Pupinės žolės dažniausiai buvo išrautos ir paguldytos tarpueiliuose – jos atliko nušalusio mulčio funkciją. Didesnės pupinės žolės įsišaknijo, pavasarį sužėlė (kaip dirvos paviršių dengiantys augalai) ir konkuravo su kviečiais. Pupinių žolių antžeminės masės mulčiavimas ir organinių trąšų naudojimas gali sumažinti konkurencingumą ir padidinti azoto naudojimą (Valkama ir kt., 2015; Jonathan ir kt., 2019). Azoto atpalaidavimas iš augalų masės priklauso nuo žemės dirbimo intensyvumo ir mulčio masės (Ginakes ir kt., 2020), pupinių žolių tankumo, šaknų morfologijos ir augalų liekanų kokybės

(Louarn ir kt., 2015), mulčio C:N (Grosse ir kt., 2019). Dėl siauro C:N azoto išskirta daugiau iš ūglių (63,4–70,0 % pradinio N) ir greičiau nei iš šaknų (27,3–50,7 %) (Yang ir kt., 2020).

Kitų tyrėjų rezultatai rodo, kad dirvožemio viršutinio sluoksnio organinės anglies sekvestraciją efektyviai didina supaprastinto žemės dirbimo ir žaliųjų trąšų derinys (Upendra ir kt., 2017). Pagal De Notaris ir kt., (2019) didinant dirvožemio organinių medžiagų kiekį pupinių augalų šaknų azotas yra svarbesnis nei antžeminė masė. Augalų likučių patekimas iš žaliųjų trąšų ir jų įterpimas į dirvožemį aktyvina vėlesnę fizinę bei cheminę organinės anglies apsaugą (Garcia-Franco ir kt., 2015). Ilgą laiką taikant neariminę sistemą ir dirvoje kaupiantis įvairaus judrumo organinėms medžiagoms, didėja dirvožemio azoto tiekimo geba generuojant vidinius išteklius (Weyers ir kt., 2018). Ilguoju laikotarpiu tai prisideda prie augalų mitybos azotu gerinimo, tačiau poveikis labai skiriasi priklausomai nuo auginamų pasėlių, dirvožemio tipo ir klimato sąlygų.

Žieminiai kviečiai yra vidutiniškai jautrūs neariminės sistemos taikymui (Derpsch ir kt., 2014). Mūsų tyrimo rezultatai rodo, kad žieminių kviečių grūdų derlius taikant juostinę sėją į avižų ražienas mažėjo 21,2 %, į apynines liucernas – 14,1 %, į baltuosius dobilus – 23,4 % ir į egiptinius dobilus – 8.9 % (kaip nušalęs mulčias), palyginus su TŽDS po avižų. Šie derliaus nuostoliai buvo visiškai padengti kitais metais, aparus augalų liekanas ir auginant vasarinius kviečius. Kitų tyrėjų duomenimis, augalų derlius buvo didesnis 34 % taikant ariminį žemės dirbimą nei juostinę sėją (Weyers ir kt., 2018). Daugelis tyrėjų nurodo, kad organinėje žemdirbystėje taikant juostinę sėją derlius sumažėjo dėl nepakankamos piktžolių kontrolės ir sumažėjusio maisto medžiagų kiekio (Cooper ir kt., 2016; Weyers ir kt. 2018).

Kviečius auginant dvinariuose pasėliuose su dobilais (kaip paviršių dengiančiais augalais), kviečių derlius dažniausiai sumažėja dėl augalų konkurencijos (Radicetti ir kt., 2018). Konkurencija vyksta dėl šviesos, drėgmės, azoto, o derliaus nuostoliai gali siekti 10–25 %, palyginus su kviečių vienanariu pasėliu (Thorsted ir kt., 2005). Pereinant nuo tradicinio žemės dirbimo prie neariminės žemdirbystės, augalų derlius dažniausiai sumažėja. Tai gali trukti penkerius ir(ar) daugiau metų (Derpsch ir kt., 2014). Dažnai tai yra susiję su dirvožemio anglies sekvestracija ir dirvožemio naudingų savybių stabilizavimu (Kumar ir kt., 2012). Ilgą laiką taikant neariminę sistemą gerėja dirvožemio savybės ir didėja augalų derlingumas (Nunes ir kt., 2018). Teigiama, kad esminės neariminės žemdirbystės sąlygos yra dirvožemio paviršiaus padengimas augalų liekanomis, augalų įvairovės didinimas (ypač daugiamečių žolių auginimas), mulčio naudojimas (Derpsch ir kt., 2014; Grosse ir kt., 2019). Mūsų tyrimo metu augalų liekanų masę padidinus naudojant negyvą egiptinių dobilų mulčią, žieminių kviečių grūdų derlius buvo 15,7 % didesnis nei sėjant tik į avižų ražienas. Žieminių kviečių derliaus duomenys rodo, kad gyvo mulčio naudojimas lėmė baltųjų dobilų ir žieminių kviečių konkurenciją. Siekiant sumažinti konkurenciją tarp augalų, būtinas stiprus pavasarinis pupinių žolių slopinimas (Alexander ir kt., 2019). Mūsų

tyrimo metu mulčiavimas žieminių kviečių grūdų derliaus iš esmės nepadidino. Naujausių tyrimų duomenys rodo, kad, siekiant pagerinti augalų išteklių naudojimo efektyvumą, javų ir pupinių žolių pasėlius reikia optimizuoti (Hag ir kt., 2020). Cooper ir kt. (2016), teigia, kad organinėje žemdirbystėje tinkamiausia taikyti yra seklųjį arimą: jis minimaliai (5,5 %) sumažina derlių, tačiau žymiai padidina dirvožemio anglies atsargas ir geriau kontroliuoja piktžolių plitimą. Kaip teigia Casagrande ir kt. (2016), svarbiausia supaprastinto žemės dirbimo motyvacija yra dirvožemio derlingumo išsaugojimas, o iššūkiai yra susiję su pasėlių valdymu, technika ir derlingumu.

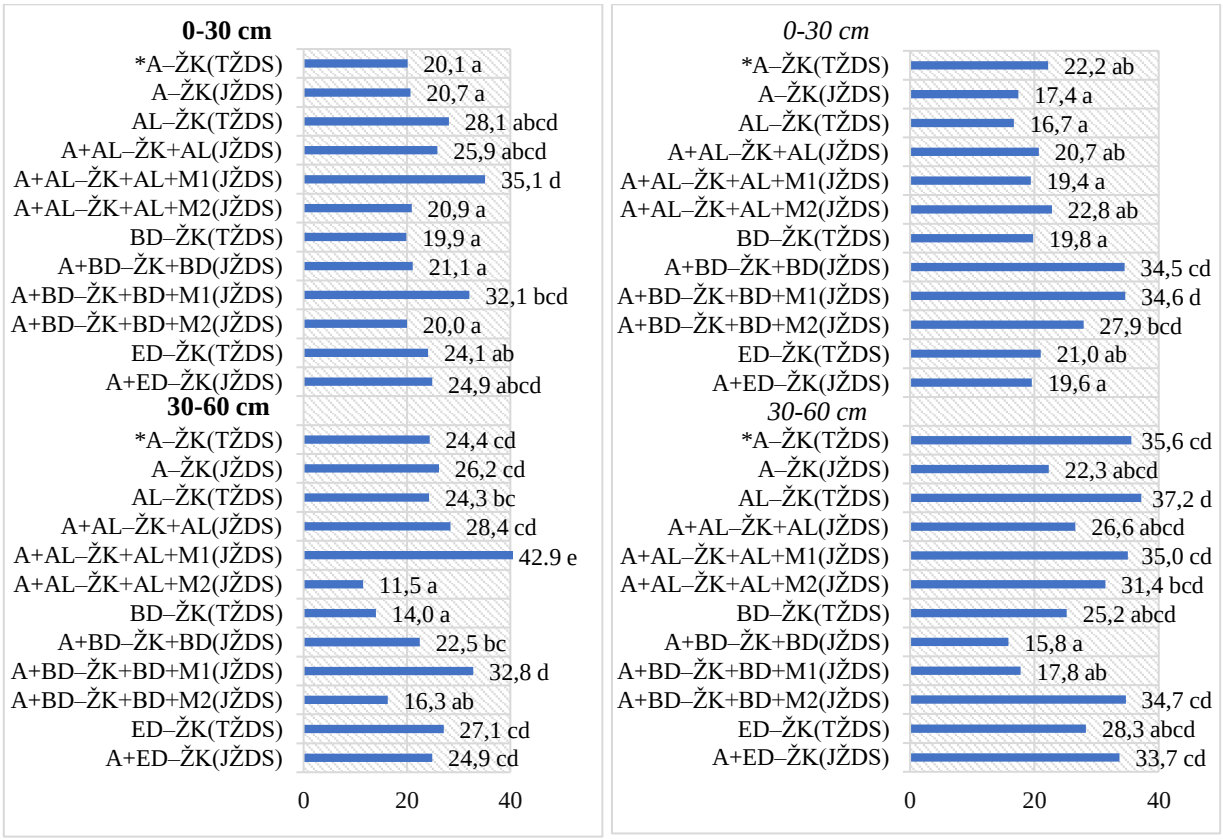
Tyrimo metu vyko abiejų rūšių nežymus konkurencingumas, pradedant nuo bamblėjimo tarpsnio. Prasidėjusi konkurencija tęsėsi iki vegetacijos pabaigos. Didžiausias intensyvumas pasireiškė abiejų žolių bamblėjimo tarpsniu. Carof ir kt. (2007) nustatė, kad konkurencijai palankiausias laikotarpis yra stiebo ilgėjimo ir (arba) žydėjimo tarpsniai. Tai yra antžeminių dalių ir šaknų greito augimo laikotarpiai, taigi, ir didesnis augalų maisto medžiagų, vandens ir šviesos poreikis. Wanic ir kt. (2016) nustatė, kad konkurencija dėl šviesos yra stipresnė nei dėl dirvožemio išteklių. Bergkvist (2011) teigimu, augalus auginat kartu (mišinyje) susidaro abipusis šešėlis, todėl vienas kito augimą labiau riboja augalai nei azoto ir vandens trūkumas. Faget ir kt. (2013) taip pat nustatė reikšmingą konkurencingumo įtaką tarp mišrių augalų šaknų. Ryšiai tarp mišinyje auginamų augalų šaknų sistemos yra labai sudėtingi ir ne iki galo ištirti. Daug informacijos apie jų sąveiką mišinyje galima gauti naudojant specializuotą įrangą (De Kroon, 2007; Faget ir kt., 2013).

3.4. Dvinarių pasėlių kaip priešsėlių reikšmė vasariniams kviečiams

3.4.1. Dirvožemio mineralinio azoto kiekio kitimas pavasarį

Nitratinis azotas (N-NO_3). 2020 m. pavasarį, po dvinarių pasėlių auginimo, dvinarių žieminių kviečių bei pupinių žolių ir žieminių kviečių ražienų aparimo N-NO_3 esmingai priklausė nuo žieminių kviečių įsitvirtinimo. Avižų ir egiptinių dobilų kaip priešsėlio įtaka N-NO_3 kitimui esmingai nesiskyrė (nepriklausomai nuo žemės dirbimo ir sėjos). Vertinant apyninių liucernų variantus nustatyta, kad esmingai didesnis N-NO_3 kiekis (43,6–49,1 %) buvo aparus dvinarį apyninių liucernų ir žieminių kviečių pasėlį, kai masė mulčiuota vieną kartą (JŽDS), o esmingai mažesnis (38,0–40,3 %) – kai masė buvo mulčiuota du kartus (JŽDS), palyginus su kitais apyninių liucernų auginimo būdais (3.31a paveikslas). Taip pat nustatyta dvinario baltųjų dobilų ir žieminių kviečių pasėlio esminė įtaka N-NO_3 padidėjimui pupinių žolių antžeminę masę mulčiuojant vieną kartą (JŽDS+M). Palyginus su apartu vienanariu avižų priešsėliu (kontroliniu laukeliu), skirtumas sudarė 91,4 %. Dvinarius apyninių liucernų ir žieminių kviečių bei baltųjų dobilų ir žieminių

kviečių pasėlius aparus be mulčiavimo, N-NO_3 kiekis turėjo tendenciją didėti, palyginus su apyninių liucernų ir baltųjų dobilų priešsėliais taikant tradicinį žemės dirbimą ir sėją.



a) 2020 m. b) 2021 m.

3.31 paveikslas. Dirvožemio nitratinio azoto (N-NO_3) kiekio pokyčiai 2020 (a) ir 2021 (b) m. pavasarį, vasarinių kviečių pasėlyje

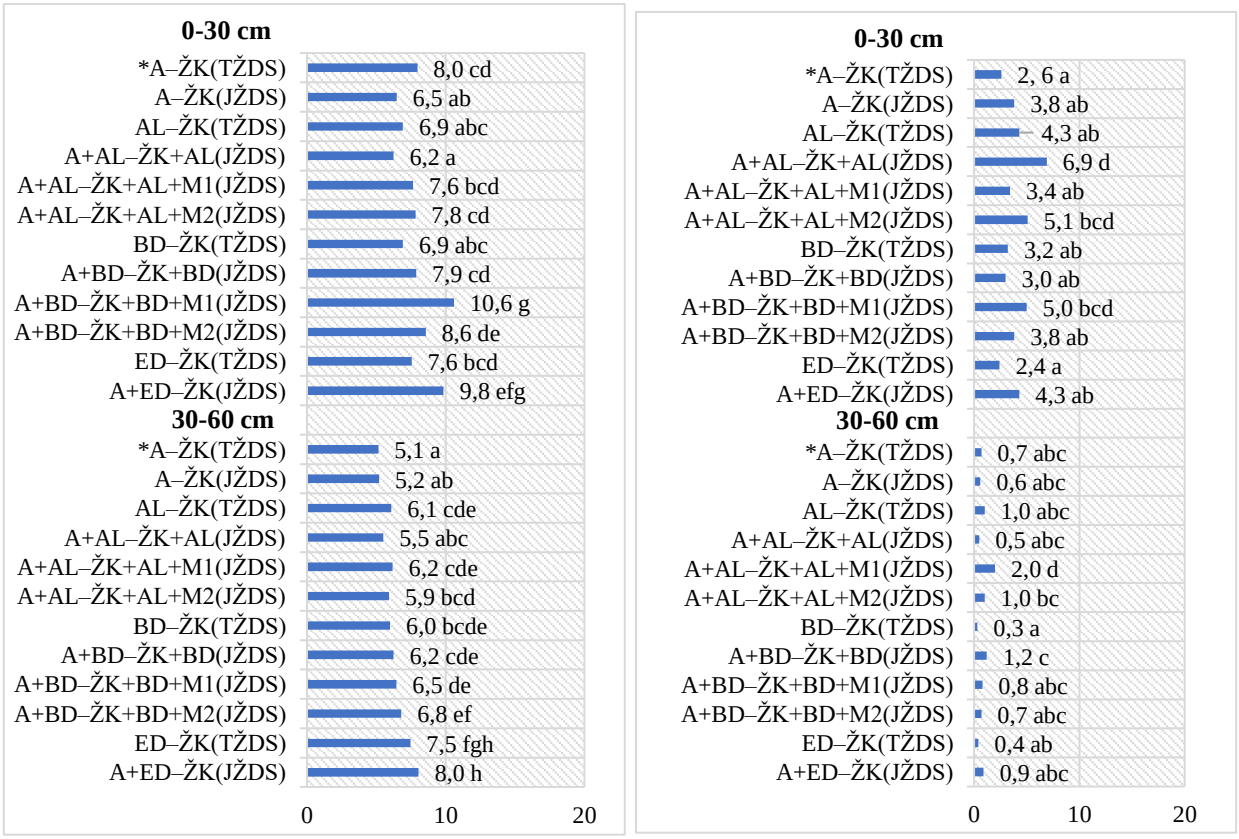
Figure 3.31. *Changes in soil nitrate nitrogen (N-NO_3) amount in 2019 (a) and 2020 (b) in spring,, in spring wheat crop*

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai, AL–ŽK – apyninių liucernų – žieminiai kviečiai, BD–ŽK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai, ED–ŽK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+ED–ŽK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai; M1 – pupinių žolių mulčiavimas vieną kartą, M2 – pupinių žolių mulčiavimas du kartus; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat , AL–ŽK – black medick – winter wheat, BD–ŽK – white clover – winter wheat, ED–ŽK – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+DB–DB+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; A+ED–ED+ŽK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; M1 – mulching once, M2 – mulching twice; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control treatment; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

II eksperimento duomenimis, dirvožemio 0–30 cm sluoksnyje daugiausia N-NO_3 susikaupė aparus dvinarį baltųjų dobilų bei žieminių kviečių pasėlį ir masę mulčiuojant vieną kartą (56 %), esmingai mažiau (55 %) – kai žolės nebuvo mulčiuotos ir mažiausiai (26 %) – kai pupinių žolių antžeminė masė buvo mulčiuota du kartus (3.31b paveikslas). N-NO_3 kiekio padidėjimas (3 %) nustatytas ir po dvinario apyninių liucernų ir žieminių kviečių pasėlio, kai masė buvo mulčiuota du kartus. Visuose kituose variantuose dirvožemyje nustatytas N-NO_3 kiekio sumažėjimas. Didžiausias sumažėjimo skirtumas nustatytas po apyninių liucernų priešsėlio ir taikant tradicinį žemės dirbimo būdą. Įvertinus dirvožemio 30–60 cm sluoksnyje susikaupusį N-NO_3 nustatyta priešinga tendencija – apyninių liucernų priešsėlis ir tradicinis žemės dirbimas N-NO_3 kiekį padidino 5 %. Nuo kontrolinio varianto esmingai nesiskyrė apartas dvinaris žieminių kviečių ir apyninių liucernų pasėlis (masė mulčiuota vieną kartą), žieminių kviečių ir baltųjų dobilų pasėlis (masė buvo mulčiuota du kartus) ir egiptiniai dobilai kaip nušalęs mulčias.

Amoniakinis azotas (NH_4). Dirvožemio viršutiniame sluoksnyje NH_4 kiekį esmingai sumažino avižų (JŽDS) ir dvinaris žieminių kviečių bei apyninių liucernų priešsėliai, esmingai padidino – dvinaris žieminių kviečių bei baltųjų dobilų (antžeminė masė mulčiuota) ir žieminių kviečių bei egiptinių dobilų priešsėliai, palyginus su kontroliniu laukeliu (3.32a paveikslas).



a) 2020 m./ *2020* b) 2021 m./ *2021*

3.32 paveikslas. Dirvožemio amoniakinio azoto (N-NH_4) kiekio pokyčiai 2019 (a) ir 2020 (b) pavasarį, vasarinių kviečių pasėlyje

Figure 3.32. *Changes in soil N-NH_4 contentt in 2019 (a) and 2020 (b) in spring, in spring wheat crop*

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai, AL–ŽK – apyninių liucernų – žieminiai kviečiai, BD–ŽK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai, ED–ŽK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+ED–ŽK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai; M1 – pupinių žolių mulčiavimas vieną kartą, M2 – pupinių žolių mulčiavimas du kartus; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat , AL–ŽK – black medick – winter wheat, BD–ŽK – white clover – winter whea, ED–ŽK – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+DB–DB+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; A+ED–ED+ŽK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; M1 – mulching once, M2 – mulching twice; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control treatment; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

Dirvožemio 30–60 cm sluoksnyje N-NH_4 kiekį esmingai padidino pupinių žolių priešsėlis (nepriklausomai nuo žemės dirbimo ir sėjos būdo) ir jų antžeminės masės mulčiavimas (išskyrus dvinarį žieminių kviečių ir apyninių liucernų priešsėlį), palyginus su kontroliniu laukeliu. Vidutiniais duomenimis, apyninių liucernų pasėlis N-NH_4 kiekį padidino 13,9 %, baltųjų dobilų – 22,7 % ir egiptinių dobilų – 49,0 %, palyginus su avižų vidutiniais duomenimis.

2021 m. N-NH_4 kiekį dirvožemio 0–30 cm sluoksnyje esmingai (2,7 karto) padidino dvinaris apyninių liucernų ir žieminių kviečių pasėlis (JŽDS), palyginus su kontroliniu laukeliu (3.32b paveikslas). Nustatyta, kad egiptinių dobilų vienanaris pasėlis dirvožemyje N-NH_4 kiekį sumažino 8 %. Dirvožemio apatiniame sluoksnyje tradicinio žemės dirbimo taikymas esmingai sumažino N-NH_4 kiekį: baltųjų dobilų – 57 %, egiptinių dobilų – 43 %. Dvinaris apyninių liucernų ir žieminių kviečių pasėlis (antžeminė masė mulčiuota vieną kartą) N-NH_4 kiekį esmingai padidino (2,9 karto). Vertinant juostinį žemės dirbimą, A–ŽK vienanaris ir AL+ŽK dvinaris (žolės nemulčiuotos) pasėliai N-NH_4 kiekį dirvožemyje sumažino atitinkamai 14 ir 29 %.

Apibendrinus nitratinio azoto (N-NO_3) kiekio kitimą pavasarį, įvertinta dvinarių pasėlių esminė įtaka jo kiekio didėjimui dirvožemyje. N-NO_3 kiekį labiausiai didino dvinaris baltųjų dobilų ir žieminių kviečių pasėlis. Pupinių žolių mulčiavimas turėjo tendenciją didinti N-NO_3 kiekį dirvožemyje. N-NH_4 kiekį didino pupinių žolių ir žieminių kviečių dvinariai pasėliai. Arimas turėjo tendencija mažinti N-NH_4 kiekį abiejuose dirvožemio sluoksniuose.

3.4.2. Priešsėlių įtaka vasarinių kviečių grūdų derliui

Trečiųjų metų sėjomainos nario vasarinių kviečių derlius priklausė nuo skirtingų grandžių sėjomainų priešsėlio (3.15 lentelė). Pupinės žolės, augintos vienanariuose pasėliuose, antrais metais po aparimo esminės įtakos kviečių derliui neturėjo. Pavasarį vasarinių kviečių sėjomainai taikant tradicinį žemės dirbimo būdą ir sėją, derliaus mažėjimas nustatytas vien javų grandyje ir dirvas ariant kasmet.

Grandyse su apyninėmis liucernomis, baltaisiais ir egiptiniais dobilais taikant tradicinį žemės dirbimo ir sėjos būdą, vasarinių kviečių grūdų derlius buvo didesnis, tačiau esmingai nesiskyrė nuo augintų vien javų grandyje (kontrolinis laukelis). Didžiausias grūdų derliaus priedas gautas vasarinius kviečius auginant grandyje su dvinariais BD+ŽK pasėliais. Vasarinių kviečių grūdų derlius padidėjo iš esmės aparus dvinarį BD+ŽK pasėlį – 88 %, baltųjų dobilų masę mulčiuojant vieną kartą – 89 % ir mulčiuojant du kartus – 65 %, palyginti su kontroliniu laukeliu. Dvinaris AL+ŽK ir ED+ŽK pasėliai vasarinių kviečių grūdų derlių padidino atitinkamai 17 ir 21 %, palyginti su kontrole, tačiau skirtumai nebuvo esmingi.

3.15 lentelė. Vasarinių kviečių derlius, augintų po skirtingose sėjomainos grandyse

Table 3.15. *The yield of spring wheat grown after different crop rotations*

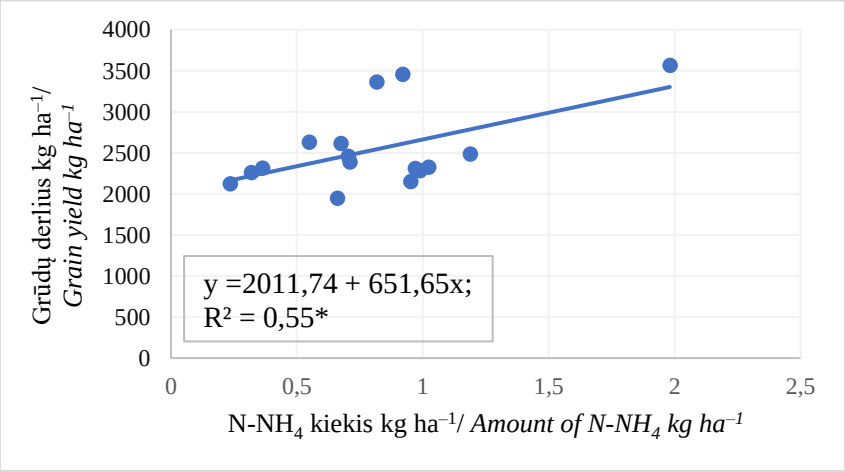
Augalų sėjomainos *Crop rotations*	Augalai *Crops*	Grūdų derlius 2020 m. / *Grain yield 2020*		Grūdų derlius 2021 m. / *Grain yield 2021*	
		kg ha^{-1}	%	kg ha^{-1}	%
*A–ŽK (TŽDS)	VK	2700 a	100	1948 a	100
A–ŽK (JŽDS)	VK	3111 a	115	2287 abc	117
AL–ŽK (TŽDS)	VK	2801 a	104	2123 ab	109
A+AL–AL+ŽK (JŽDS)	VK	3156 a	117	2632 c	135
A+AL–AL+ŽK+M1 (JŽDS)	VK	3276 a	121	2488 bc	128
A+AL–AL+ŽK+M2 (JŽDS)	VK	3182 a	118	2614 c	134
BD–ŽK (TŽDS)	VK	2928 a	108	2460 bc	126
A+BD–BD+ŽK (JŽDS)	VK	5071 bc	188	3567 e	183
A+BD–BD+ŽK+M1 (JŽDS)	VK	5096 c	189	3363 de	173
A+BD–BD+ŽK+M2 (JŽDS)	VK	4449 bc	165	3459 de	178
ED–ŽK (TŽDS)	VK	2843 a	105	2153 ab	111
A+ED–ŽK (JŽDS)	VK	3267 a	121	2342 abc	120

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK – avižos – žieminiai kviečiai, AL–ŽK – apyninių liucernų – žieminiai kviečiai, BD–ŽK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai, ED–ŽK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+BD–BD+ŽK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai, A+ED–ŽK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai; M1 – pupinių žolių mulčiavimas vieną kartą, M2 – pupinių žolių mulčiavimas du kartus; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK – oat – winter wheat , AL–ŽK – black medick – winter wheat, BD–ŽK – white clover – winter wheat, ED–ŽK – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, A+DB–BD+ŽK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; A+ED–ED+ŽK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; M1 – mulching once, M2 – mulching twice; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control treatment; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

II eksperimento duomenimis, vasarinių kviečių grūdų derlius gautas mažesnis, bet skirtumai tarp variantų buvo ryškesni, palyginti su I eksperimentu. Grūdų derlių neesmingai padidino (17 %) ir juostinės sėjos žieminių kviečių pasėlio aparimas. Vasarinių kviečių grūdų derlių iš esmės padidino dvinariai AL+ŽK (28–35 %) ir BD+ŽK (78–86 %) pasėliai, palyginti su kontroliniu laukeliu. Pupinių žolių antžeminės masės mulčiavimas ryškesnės įtakos neturėjo. Vienanarių pupinių žolių apyninės liucernos, baltųjų dobilų ir egiptinių dobilų aparimas vasarinių grūdų derlių padidino 9, 26 ir 11 % (baltieji dobilai – esmingai). Didžiausias grūdų derlius nustatytas aparus dvinarį BD+K pasėlį, be mulčiavimo. Žieminius kviečius sėjant į baltuosiu dobilus (mulčiuojant vieną ar du kartus), grūdų derlius esmingai nesiskyrė. Dvinariuose žieminių kviečių pupinių žolių pasėliuose geriausiai vystėsi baltieji dobilai. Todėl arimo metu buvo įterpta didžiausia baltųjų dobilų antžeminė masė.

I eksperimento duomenimis, vasarinių kviečių grūdų derliui turėjo įtakos dirvožemio 0–60 cm sluoksnyje sukauptas augalams pasiekiamų formų azoto kiekis pavasarį, prieš sėją. Rudenį dirvožemyje susikaupę N-NO_3, ir N-NH_4 kiekiai vasarinių kviečių grūdų derliui reikšmingos įtakos neturėjo. Vasarinių kviečių grūdų derliaus ryšys su dirvožemio 0–60 cm sluoksnyje sukaupto N-NO_3 kiekiu (šiam kintant nuo 32,4 iki 64,9 kg ha^{-1}) buvo vidutiniškas ir esminis (3.33 paveikslas). Kiek silpnesnis, tačiau artimas vidutinio stiprumo koreliacijai nustatytas grūdų derliaus priklausomumas nuo N-NH_4 kiekio (šiam kintant nuo 10,8 iki 19,5 kg ha^{-1}). Augalams pasiekiamų formų azoto didėjimas dirvožemio 0–60 cm sluoksnyje lėmė vasarinių kviečių grūdų derliaus padidėjimą nuo 2700 iki 5096 kg ha^{-1}.



3.33 paveikslas. Vasarinių kviečių derliaus priklausomumas nuo amoniakinio azoto (N-NH_4) kiekio, sukaupto dirvožemio 30–60 cm sluoksnyje pavasarį (4 vertinimas) (II eksperimentas)

Figure 3.33. *Dependence of spring wheat yield on the amount of ammonia nitrogen (N-NH4) accumulated in the soil layer 30–60 cm in spring (assessment 4) (Experiment II)*

II eksperimente didėjant N-NH_4 kiekiui vasarinių kviečių derlius didėjo. Nustatytas vasarinių kviečių grūdų derliaus ryšys su dirvožemio 30–60 cm sluoksnyje esančio N-NH_4 kiekiu (šiam kintant nuo 0,2 iki 1,9 kg ha^{-1}); jo ryšys su vasarinių kviečių derliumi (kitimo ribos nuo 1948 iki 3567 kg ha^{-1}) buvo vidutinio stiprumo ir esminis.

Apibendrinus dviejų eksperimentų duomenis galima teigti, kad pupinės žolės didina grūdų derlių, priklausomai nuo jų auginimo būdo. Pupinių žolių aparimas esmingai didina javų derlių pirmaisiais auginimo metais. Juostinis žemės dirbimas ir žieminių kviečių sėja į pupines žoles esminės įtakos derliaus priedui neturėjo, tačiau poveikis pasireiškė kitais javų auginimo metais. Didžiausias javų derlius nustatytas sėjomainose su baltaisiais dobilais.

Diskusija

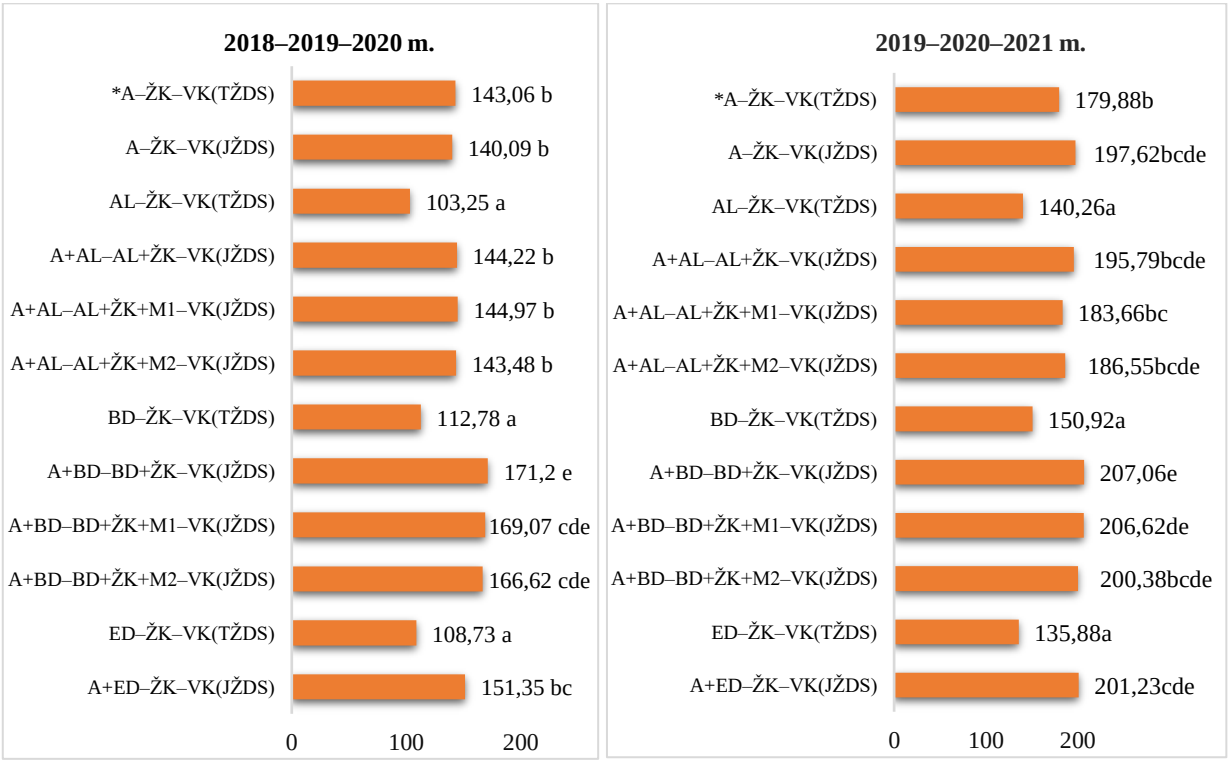
Efektyvus azoto išnaudojimas priklauso nuo jo atpalaidavimo iš augalų liekanų ir javų poreikio sinchroniškumo (Blesh, 2019). Sumažinus žemės dirbimo intensyvumą, vegetacijos metu azotas pradedamas atpalaiduoti vėlesniais javų augimo tarpsniais (Thorsted ir kt., 2005; Cooper ir kt., 2016). Be to, pagrindinio augalo šaknų išsivystymas ir prasiskverbimo gylis, kuriuos lemia žemės dirbimas, lemia mitybos zoną ir jos gylį (He ir kt., 2019). Mūsų tyrimo duomenimis, po žieminių kviečių nuėmimo rudenį didesnis N-NO_3 kiekis dirvožemyje išliko po vienanarių pupinių žolių aparimo. Tačiau taip pat buvo nustatytas N-NO_3 kiekio padidėjimas dvinarių pupinių žolių ir žieminių kviečių pasėlių dirvožemio gilesniuose sluoksniuose, palyginus su vienanariais ir taikant arimą. Po dvinarių ir vienanarių pasėlių aparimo pavasarį didžiausias N-NO_3 kiekis nustatytas aparus dvinarius BD+ŽK ir AL+ŽK pasėlius (pupinių žolių masę mulčiuojant dirvos paviršiuje). Mūsų tyrimo metu taip pat nustatytas didesnis N-NH_4 kiekio kaupimasis dirvožemyje taikant JŽDS.

Tyrimo metu didelį poveikį vasarinių kviečių grūdų derliui turėjo žemės dirbimas ir azoto kiekis dirvožemyje po pupinių žolių. Didesnis N_{sum} kiekis dirvožemio ariamajame sluoksnyje yra naudingas grūdų derliui (Upendra ir kt., 2017). Didžiausi vasarinių kviečių derliai gauti po apartų dvinarių apyninių liucernų ir baltųjų dobilų. Pupinių žolių (augintos sėkloms arba kaip žalioji trąša) auginimas sėjomainoje turi įtakos dirvožemio azoto kiekiui ir jo panaudojimui javų pasėliuose (Espinoza ir kt., 2015). Baltieji dobilai daugiausia antžeminės masės užaugino augdami kartu su žieminiais kviečiais, todėl didžiausi vasarinių kviečių derliai gauti po baltųjų dobilų ir žieminių kviečių dvinario pasėlio aparimo nei po skirtingų sėjomainų grandžių priešsėlių. Peoples ir kt. (2009) teigimu, pupinių žolių požeminis azoto rezervuaras yra svarbus jo šaltinis būsimiems pasėliams. Pupinių žolių auginimas taikant supaprastintą arba be žemės

dirbimo ir pasirenkant tinkamą sėjomainą gali pagerinti dirvožemio C bei N atsargas ir išlaikyti pasėlių derlingumą, palyginus su tradiciniu žemės dirbimu ir auginant vienanarius augalus (Upendra ir kt., 2017).

3.5. Javų grandžių su skirtingai augintomis pupinėmis žolėmis produktyvumo palyginimas

Abiejų eksperimentų duomenimis, daugiausia bendrosios energijos buvo sukaupta sėjomainos grandies A+BD–ŽK+BD–VK (JŽDS) pasėlio grūdų derliuje. Jos bendrosios energijos kiekis buvo 19,7 % (I eksperimentas) ir 15,1 % (II eksperimentas) didesnis, palyginus su javų grandies (TŽDS) (kontrolinis variantas) (3.34 paveikslas). Sėjomainos grandyse A+BD–ŽK+BD–VK (JŽDS) bendrosios energijos sukaupta iš esmės daugiau nei grandyse A+AL–ŽK+AL–VK (JŽDS), tačiau jos kiekis esmingai nesiskyrė nuo sėjomainos grandžių su egiptinių dobilų pasėliu (JŽDS). Žolių konkurencingumo stabdymas mulčiavimu esminės įtakos produktyvumui neturėjo. Pagal bendrosios energijos sukaupimą sėjomainos grandis A+ED–ŽK–VK (JŽDS) užėmė tarpinę padėtį tarp grandžių su kitomis tirtomis pupinėmis žolėmis (JŽDS).



3.34 paveikslas. Javų grandies bendrasis produktyvumas (GJ ha^{-1}), sukauptas javų grūdų derliuje skirtingose sėjomainose

Figure 3.34. *Total productivity of the cereal chain (GJ ha^{-1}) accumulated in the cereal grain yield in different crop rotations*

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK–VK – avižos – žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai, AL–ŽK–VK – apyninių liucernų – žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai, BD–ŽK–VK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai, ED–ŽK–VK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK–VK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai, A+BD–BD+ŽK–VK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai, A+ED–ŽK–VK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai; M1 – pupinių žolių mulčiavimas vieną kartą, M2 – pupinių žolių mulčiavimas du kartus; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK–VK – oat – winter wheat – spring wheat , AL–ŽK–VK – black medick – winter wheat – spring wheat, BD–ŽK–VK – white clover – winter wheat – spring wheat, ED–ŽK–VK – Egyptian clover – winter wheat – spring wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK–VK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop – spring wheat, A+BD–BD+ŽK–VK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop – spring wheat; A+ED–ED+ŽK–VK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop – spring wheat; M1 – mulching once, M2 – mulching twice; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control; means followed by the same letters are not significantly different at $p < 0.05$.*

Apibendrinus tyrimo rezultatus galima teigti, kad pupinės žolės didina javų grūdų derliaus produktyvumą. Grandies produktyvumą labiausiai didno auginti baltieji dobilai. Pupinių žolių mulčiavimas neturėjo esminės įtakos.

3.5.1. Dirvožemio agrocheminių savybių kitimas

Eksperimentų pabaigoje įvertinus dirvožemio agrocheminių savybių kitimą nustatyta, kad vienanariai bei dvinariai pasėliai ir žemės dirbimo bei sėjos būdai turėjo esminės įtakos dirvožemio agrocheminių savybių kitimui.

I eksperimento duomenimis, didesnis dirvožemio rūgštumas (pH_{KCl}) buvo poarmenyje (25–50 cm) nei armenyje (0–25 cm), tačiau tarp variantų dėsningų skirtumų nenustatyta (3.16 lentelė). Judriojo fosforo kiekis armenyje didėjo taikant juostinį žemės dirbimą ir žieminių kviečių sėją į avižų ražienas bei pupines žoles (apynines liucernas ir baltuosius dobilus) jų antžeminę masę mulčiuojant. Poarmenyje jo kiekis buvo iš esmės didesnis visose sėjomainos grandyse su pupinėmis žolėmis, nepriklausomai nuo auginimo būdo. Šiame dirvožemio sluoksnyje didžiausias judriojo fosforo kiekis nustatytas sėjomainos grandžių laukeliuose su apyninėmis liucernomis ir egiptiniais dobilais. Mulčiavimas dar labiau padidino judriojo fosforo kiekį. Pupinės žolės ir jų auginimo būdai judriojo kalio kiekiui armenyje esminės įtakos neturėjo, skirtingai nei gilesniame. Palyginus su javų grandimis (nepriklausomai nuo sėjos būdo), esminis judriojo kalio padidėjimas gautas grandyse su apyninėmis liucernomis ir egiptiniais dobilais. N_{sum} pokyčiai armenyje ir poarmenyje buvo nedėsningi. Juostinis žemės dirbimas ir sėja turėjo tendenciją mažinti humuso

kiekį poarmenyje. Sėjomainos grandyse su apyninėmis liucernomis humuso kiekis sumažėjo iš esmės, palyginus su kontroliniu laukeliu.

3.16 lentelė. Pupinių žolių ir skirtingų žemės dirbimo būdų įtaka dirvožemio agrocheminių savybių kitimui I eksperimento pabaigoje 2020 m

Table 3.16. *Influence of forage legumes and different tillage methods on the change of soil agrochemical properties at the end of the Experiment I, 2020*

Augalų sėjomainos *Crop rotations*	pH_{KCl}	P_2O_5 mg kg^{-1}	K_2O mg kg^{-1}	N_{sum} mg kg^{-1}	Humusas / *Humus* %
0–25 cm					
*A–ŽK–VK (TŽDS)	6,3 abcd	109 a	226 ab	0,108 ab	2,17 a
A–ŽK–VK (JŽDS)	6,6 d	131 bc	228 ab	0,111 ab	2,19 a
AP–ŽK–VK (TŽDS)	6,3 abcd	107 a	235 ab	0,108 ab	2,26 abc
A+AL–AL+ŽK–VK (JŽDS)	6,4 abcd	111 a	232 ab	0,112 ab	2,23 abc
A+AL–AL+ŽK+M1–VK (JŽDS)	6,3 abcd	134 c	242 b	0,1 ab	2,24 abc
BD–ŽK–VK (TŽDS)	6,3 abcd	100 a	237 ab	0,112 ab	2,36 c
A+BD–BD+ŽK–VK (JŽDS)	6,5 bcd	104 a	230 ab	0,113 ab	2,26 abc
A+BD–BD+ŽK+M1–VK (JŽDS)	6,4 abcd	132 bc	229 ab	0,114 b	2,30 abc
ED–ŽK–VK (TŽDS)	6,1 a	108 a	232 ab	0,109 ab	2,24 abc
A+ED–ŽK–VK (JŽDS)	6,2 ab	114 a	232 ab	0,113 ab	2,23 abc
25–50 cm					
*A–ŽK–VK (TŽDS)	6,9 ab	106 a	179 ab	0,067 abc	1,36 c
A–ŽK–VK (JŽDS)	7,3 bcd	130 ab	183 abc	0,063 a	1,12 abc
AP–ŽK–VK (TŽDS)	7,2 abcd	150 bcde	201 cde	0,064 abc	1,11 a
A+AL–AL+ŽK–VK (JŽDS)	7,3 bcd	153 bcde	193 abcde	0,062 a	1,04 a
A+AL–AL+ŽK+M1–VK (JŽDS)	7,4 d	168 de	200 cde	0,066 abc	1,08 a
BD–ŽK–VK (TŽDS)	7,0 abcd	139 bc	188 abcde	0,068 abc	1,24 abc
A+BD–BD+ŽK–VK (JŽDS)	7,1 abcd	144 bcde	176 a	0,06 a	1,11 a
A+BD–BD+ŽK+M1–VK (JŽDS)	7,3 abcd	165 cde	196 bcde	0,066 abc	1,12 abc
ED–ŽK–VK (TŽDS)	7,2 abcd	156 bcde	200 cde	0,064 abc	1,20 abc
A+ED–ŽK–VK (JŽDS)	6,8 a	172 e	205 e	0,075 c	1,14 abc

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK–VK – avižos – žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai, AL–ŽK–VK – apyninių liucernų – žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai, BD–ŽK–VK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai, ED–ŽK–VK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK–VK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai, A+BD–BD+ŽK–VK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai, A+ED–ŽK–VK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai; M1 – pupinių žolių mulčiavimas vieną kartą; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK–VK – oat – winter wheat – spring wheat , AL–ŽK–VK – black medick – winter wheat – spring wheat, BD–ŽK–VK – white clover – winter wheat – spring wheat, ED–ŽK–VK – Egyptian clover – winter wheat – spring wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK–VK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop – spring wheat, A+BD–BD+ŽK–VK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop – spring wheat; A+ED–ED+ŽK–VK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop – spring wheat; M1 – mulching once; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

II eksperimente dirvožemio rūgštumui daugiau įtakos turėjo jo sluoksniai nei taikytos priemonės (3.17 lentelė). Palyginus su I eksperimentu, nustatytos atvirkštinės judriojo fosforo

kitimo tendencijos. Judriojo fosforo kiekis armenyje sumažėjo iš esmės auginant dvinarį pasėlį AL+ŽK (antžeminę masę mulčiuojant) ir BD+ŽK (antžeminę masę nemulčiuojant ir mulčiuojant), palyginus su kontroliniu laukeliu.

3.17. lentelė. Pupinių žolių ir skirtingų žemės dirbimo būdų įtaka dirvožemio cheminių savybių kitimui I eksperimento pabaigoje, 2021 m

Table 3.17. *Influence of forage legumes and different tillage methods on the change of soil agrochemical properties at the end of the Experiment II, 2021*

Augalų sėjomainos *Crop rotations*	pH_{KCl}	P_2O_5 mg kg^{-1}	K_2O mg kg^{-1}	N_{sum} mg kg^{-1}	humusas/ *humus* %
0–25 cm					
*A–ŽK–VK (TŽDS)	6,6 bcd	120 d	241 a	0,089bcd	2,80 abcde
A–ŽK–VK (JŽDS)	6,7 d	116 bcd	249 ab	0,068ab	2,93 bcde
AP–ŽK–VK (TŽDS)	6,3 abcd	100 abcd	241 a	0,083bcd	2,77 ab
A+AL–AL+ŽK–VK (JŽDS)	6,4 abcd	102 abcd	255 abc	0,051a	2,82 abcde
A+AL–AL+ŽK+M1–VK (JŽDS)	6,4 abcd	98 ab	309 e	0,102d	3,01 e
BD–ŽK–VK (TŽDS)	6,3 abcd	108 abcd	271 abcde	0,081bcd	2,78 abc
A+BD–BD+ŽK–VK (JŽDS)	6,2 ab	98 ab	280 abcde	0,074abcd	2,98 cde
A+BD–BD+ŽK+M1–VK(JŽDS)	6,1 a	91 a	288 bcde	0,068ab	2,88 abcde
ED–ŽK–VK (TŽDS)	6,6 bcd	118 bcd	247 ab	0,061ab	2,73 a
A+ED–ŽK–VK (JŽDS)	6,5 abcd	109 abcd	301 cde	0,074abcd	2,83 abcde
25–50 cm					
*A–ŽK–VK (TŽDS)	7,1 ab	181 bcd	151 ab	0,037abc	1,16 ab
A–ŽK–VK (JŽDS)	7,2 ab	186 d	151 ab	0,034ab	1,23 abcd
AP–ŽK–VK (TŽDS)	7,2 ab	159 abcd	151 ab	0,038abcde	1,26 abcd
A+AL–AL+ŽK–VK (JŽDS)	7,4 b	127 ab	143 a	0,033a	1,30 abcd
A+AL–AL+ŽK+M1–VK (JŽDS)	7,1 ab	148 abcd	170 cd	0,041abcde	1,36 abcd
BD–ŽK–VK (TŽDS)	7,1 ab	153 abcd	153 ab	0,040abcde	1,15 a
A+BD–BD+ŽK–VK (JŽDS)	7,1 ab	133 abcd	159 bcd	0,046cde	1,58 d
A+BD–BD+ŽK+M1–VK(JŽDS)	6,9 ab	122 a	163 bcd	0,048e	1,52 bcd
ED–ŽK–VK (TŽDS)	7,2 ab	168 abcd	168 cd	0,039abcde	1,09 a
A+ED–ŽK–VK (JŽDS)	7,4ab	158 abcd	172 d	0,044bcde	1,43 abcd

Pastaba: vienanarių pasėlių sėjomainos: A–ŽK–VK – avižos – žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai, AL–ŽK–VK – apyninių liucernų – žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai, BD–ŽK–VK – baltieji dobilai – žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai, ED–ŽK–VK – egiptiniai dobilai – žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai; dvinarių pasėlių sėjomainos: A+AL–AL+ŽK–VK – avižos + apyninių liucernų įsėlis – apyninių liucernų įsėlis + žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai, A+BD–BD+ŽK–VK – avižos + baltųjų dobilų įsėlis – baltųjų dobilų įsėlis + žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai, A+ED–ŽK–VK – avižos + egiptinių dobilų įsėlis – žieminiai kviečiai – vasariniai kviečiai; M1 – pupinių žolių mulčiavimas vieną kartą; TŽDS – tradicinis žemės dirbimas ir sėja, JŽDS – juostinis žemės dirbimas ir sėja; * – kontrolinis laukelis; tomis pačiomis raidėmis pažymėti vidurkiai esmingai nesiskiria ($p < 0,05$).

*Note: monocropping systems: A–ŽK–VK – oat – winter wheat – spring wheat , AL–ŽK–VK – black medick – winter wheat – spring wheat, BD–ŽK–VK – white clover – winter wheat – spring wheat, ED–ŽK–VK – Egyptian clover – winter wheat – spring wheat; intercropping systems: A+AL–AL+ŽK–VK – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop – spring wheat, A+BD–BD+ŽK–VK – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop – spring wheat; A+ED–ED+ŽK–VK – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop – spring wheat; M1 – mulching once; TŽDS – conventional tillage and sowing, JŽDS – strip tillage and sowing; * – control; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

Pupinių žolių auginimas turėjo tendenciją mažinti judriojo fosforo kiekį poarmenyje. Judriojo kalio kiekis armenyje iš esmės padidėjo auginant dvinarius AL+ŽK bei BD+ŽK pasėlius, poarmenyje – AL+ŽK pasėlį ir abiem atvejais jų antžeminę masę mulčiuojant, palyginus su kontroliniu laukeliu. Judriojo kalio kiekis didėjo sėjomainos grandyse su egiptiniais dobilais: poarmenyje – visuose laukeliuose, armenyje – auginant dvinarį pasėlį su žiemą nušąlančia antžemine mase. N_{sum} skirtumai nebuvo dėsningi. Palyginus su I eksperimentu, abiejuose dirvožemio sluoksniuose humuso kiekis buvo didesnis, o jo kitimo tendencijos atvirkštinės. Juostinis žemės dirbimas ir žieminių kviečių sėja turėjo tendenciją didinti humuso kiekį abiejuose dirvožemio sluoksniuose (ryškesnės tendencijos poarmenyje). Poarmenyje humuso kaupimuisi daugiau teigiamos įtakos turėjo baltieji dobilai nei apyninės liucernos.

Apibendrinus tyrimo duomenis galima teigti, kad taikytos priemonės, dirvožemis, meteorologinės sąlygos, lėmusios augalų derlių, turėjo įtakos judriųjų fosforo ir kalio kiekiui. Humuso nustatytos tik kitimo tendencijos. I eksperimento duomenimis, judriojo fosforo kiekis armenyje iš esmės padidėjo pupines žoles mulčiuojant, poarmenyje – visuose laukeliuose su pupinėmis žolėmis (nepriklausomai nuo jų auginimo būdo), palyginus su kontroliniu laukeliu. II eksperimento duomenys priešingi. Daugeliu atvejų judriojo kalio kiekis armenyje ir poarmenyje (II eksperimentas) arba tik poarmenyje (I eksperimentas) didėjo auginant AL+ŽK ir BD+ŽK, ED+ŽK dvinarius pasėlius ir jų antžeminę masę mulčiuojant. Juostinis žemės dirbimas humuso kiekį poarmenyje mažino (I eksperimentas) arba abiejuose dirvožemio sluoksniuose didino (II eksperimentas).

Diskusija

Mūsų tyrimas parodė teigiamą sėjomainų su pupinėmis žolėmis poveikį dirvožemiui. Palyginus su vienanariais augalais, teigiamą pupinių žolių sėjomainos įtaką nurodo ir kiti tyrėjai (Sainju ir kt., 2005; Haruna ir Nkongolo, 2015; 2019). Didesnis poveikis dirvožemiui nustatytas po apyninių liucernų auginimo sėjomainoje, kai antžeminė masė buvo mulčiuojama: nuo 1,5 iki 1,8 % P_2O_5 ir nuo 2,0 iki 5,4 % K_2O (I eksperimentas), palyginus su baltaisiais dobilais (žolės mulčiuotos). Louarn ir kt. (2015) teigimu, antrais ir trečiais pupinių žolių auginimo metais apyninių liucernų įtaka dirvožemiui buvo daugiau nei dvigubai veiksmingesnė už baltųjų dobilų. Šis autorius taip pat nurodo, kad po apyninių liucernų gautas 30–40 % mažesnis azoto kiekis, palyginus su liucernų ir baltųjų dobilų mišiniu – 60–70 %. Mūsų tyrimo metu N_{sum} gauta 14 % daugiau sėjomainos grandyje su baltaisiais dobilais (žolės mulčiuotos). Dirvožemyje didėjant bendrai šaknų masei ir įvairovei, jo savybės gerėja. Haruna ir kt. (2018) nustatė, kad pupinės žolės 24 % pagerino dirvožemio makroporingumą, palyginus su sėjomaina be pupinių žolių, ir tai padidino jo prisotintą hidraulinį laidumą. Sėjomainų įvairinimas pupinėmis žolėmis tai pagrindinis veiksnys sumažinantis N išsiplovimą (De Notaris ir kt., 2018). Tinkams žemės dirbimo ir augalų sėjomainos taikymas yra vienas iš valdymo faktorių, mažinančių N nuostolius dirvožemyje (Hansen ir kt., 2015).

Dirvožemio agrocheminių savybių kitimas priklauso ir nuo žemės dirbimo būdo. Mūsų tyrimo metu didesni pH, P_2O_5, K_2O ir humuso kiekiai nustatyti taikant JŽDS. Kaip nurodo Haruna ir Nkongolo (2019), antrųjų tyrimo metų rezultatai parodė, kad supaprastinto žemės dirbimo, pupinių žolių ir sėjomainos sąveika reikšmingai paveikė dirvožemio pH, suminį anglies kiekį ir C:N santykį. Upendra ir kt. (2017) taip pat nustatė, kad dirvožemio N_{sum} buvo didesnis taikant supaprastintą žemės dirbimą nei tradicinį.

IŠVADOS

1. Pupinių žolių antžeminė masė pradėjo intensyviau formuotis po avižų žydėjimo. Tai neturėjo esminės neigiamos įtakos avižų grūdų derliui ir maisto medžiagų sukaupimui. Piktžoles labiausiai stelbė avižos, o pupinių žolių įsėlis avižoms bręstant jų poveikį tik sustiprino.
2. Rudenį, žieminių kviečių sėjos metais, $N\text{-}NO_3$ kiekį dirvožemyje esmingai padidino vienanarių pupinių žolių aparimas, palyginus su juostiniu žemės dirbimu ir sėja. Suartose dirvose dalis $N\text{-}NO_3$ migravo į gilesnį (30–60 cm) sluoksnį. Pavasarį, atsinaujinus žieminių kviečių vegetacijai, $N\text{-}NO_3$ kiekis teigiamai koreliavo su duomenimis rudenį. Tačiau žiemos laikotarpiu, esant teigiamai vidutinei paros temperatūrai, nustatytos tik $N\text{-}NO_3$ kiekio kitimo tendencijos. Po žieminių kviečių auginimo, vegetacijos pabaigoje, pupinės žolės ir pupinių žolių bei žieminių kviečių dvinariai pasėliai $N\text{-}NO_3$ kiekį iš esmės padidino, palyginus su tradiciniu žemės dirbimu ir sėja po avižų. Žieminių kviečių vegetacijos metu taikant pupinių žolių mulčiavimą, rudenį $N\text{-}NO_3$ kiekis padidėjo.
3. Dvinariuose pasėliuose dominavo žieminiai kviečiai: juo palankesnės augimo sąlygos, tuo pupinės žolės buvo stelbiamos ankščiau ir stipriau. Abiem metais didžiausiu agresyvumo rodikliu pasižymėjo žieminiai kviečiai, auginti su apyninėmis liucernomis.
4. Žieminių kviečių, augintų dvinariuose pasėliuose, antžeminėje masėje ir grūduose sukauptas maisto medžiagų kiekis buvo mažesnis nei žoles aparus. Maisto medžiagų sukaupimui mažiausiai įtakos neturėjo žiemą nušąlantys egiptiniai dobilai. Vegetacijos metu didėjant pupinių žolių antžeminėje masėje sukauptam maisto medžiagų kiekiui, azoto ir kalio sukaupimas žieminiuose kviečiuose mažėjo. Baltieji dobilai labiausiai konkuravo su žieminiais kviečiais dėl kalio pradedant BBCH 59–61 augimo tarpsniu. Dvinariuose pasėliuose augalai azoto ir kalio sukaupė 41,8–2,3 karo daugiau nei žieminių kviečių vienanaris pasėlis.
5. Vienanarių pupinių žolių aparimas lėmė 31–47 % didesnį žieminių kviečių grūdų derlių nei juos auginant po avižų. Žieminių kviečių derlius, sėjant į avižų ražienas ir į pupines žoles, buvo 12–29 % mažesnis nei kontrolinio varianto. Tačiau kviečiams augti palankiais metais šie skirtumai buvo neesminiai. Pupinių žolių antžeminės masės mulčiavimas žieminių kviečių grūdų derliaus esmingai nepadidino.
6. Žieminių kviečių vegetacijos pradžioje daugiausia piktžolių sudygo po vienanarių pupinių žolių ir avižų taikant tradicinį, mažiausiai – juostinį žemės dirbimą ir sėją. Žieminių kviečių vegetacijos pabaigoje (BBCH 77–79 tarpsniu) piktžolių skaičių žymiai sumažino

sustiprėjusi žieminių kviečių konkurencija juos auginant po apartų pupinių žolių. Mulčiavimas reikšmingos įtakos neturėjo.

7. Sėjomainos grandžių javų su vienanarėmis pupinėmis žolėmis bendrasis produktyvumas buvo 21,2–27,8 % (2019 m.) ir 16,1–24,5% (2020 m.) esmingai mažesnis nei kontroliniame laukelyje javus auginant trejus metus iš eilės (TŽDS). Abiem metais didžiausias produktyvumas buvo sėjomainos grandies su dvinariais baltųjų dobilų ir žieminių kviečių pasėliais.
8. Judriojo P_2O_5 kiekis iš esmės padidėjo pupines žoles mulčiuojant, palyginus su kontroliniu laukeliu. Judrusis K_2O turėjo tendenciją didėti visuose laukeliuose po pupinių žolių armenyje, o poarmenyje – esmingai po apyninių liucernų ir egiptinių dobilų.

REKOMENDACIJOS

Apibendrinus tyrimų duomenis rekomenduojama:

1. Ekologinės gamybos augalininkystės ūkiuose į sėjomainą įtraukti pupines žoles, auginti du metus neišskiriant atskiro sėjomainos lauko. Pavasarį, pupinės žolės įsėjamos į vasarinius javus. Po javų derliaus nuėmimo pupinės žolės mulčiuojamos ir rudenį sėjami žieminiai kviečiai (sėklos norma 200 kg ha^{-1}), taikant juostinį žemės dirbimą ir sėją. Dvinariams pasėliams geriausiai tinka baltieji dobilai.
2. Intensyvaus ūkininkavimo sąlygomis taip pat rekomenduojame dvinarių pupinių žolių ir žieminių kviečių pasėlių auginimą taikant juostinį žemės dirbimą ir sėją. Tokia auginimo technologija atkuria biologinę įvairovę, sumažina sintetinių augalų apsaugos produktų ir trąšų naudojimą bei sumažina neigiamą poveikį dirvožemiui.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Abbott L. K., Manning D. A. C. 2015. Soil health and related ecosystem services in organic agriculture. Sustainable Agriculture Research, 4 (3): 116–125.
2. Adamavičienė A., Romaneckas K., Pilipavičius V., Avižienytė D., Šarauskis E., Sakalauskas A. 2012. Interaction of maize and living mulch: Soil chemical properties and bioactivity. Journal of Food, Agriculture and Environment, 10 (4): 132–136.
3. Alexander J. R., Venterea R. T, Baker J. M., Coulter J. A. 2019. Kura clover living mulch: spring management effects on nitrogen. Agronomy, 9 (2): 69.
4. Al-Kaisi M., Licht M. A. 2004. Effect of strip tillage on corn nitrogen uptake and residual soil nitrate accumulation compared with no-tillage and chisel plow. Journal Agronomy, 96 (4): 1164–1171.
5. Altieri M. 1999. The ecological role og biodiversity in agroecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment, 74: 19–31.
6. Amossé C., Jeuffroy M. H., David C. 2013. Relay intercropping of legume cover crops in organic winter wheat: effects on performance and resource availability. Field Crops Research, 145: 78–87.
7. Amossé C., Jeuffroy M. H., Mary B., David C. 2014. Contribution of relay intercropping with legume cover crops on nitrogen dynamics in organic grain systems. Nutrient Cycling Agroecosystems, 98: 1–14.
8. Andersen M. K., Hauggaard-Nielsen H., Weiner J., Jensen E. S. 2007. Competitive Dynamics in two-and three-component intercrops. Jornal of Applied Ecology, 44 (3): 545–551.
9. Anderson R. L. 2015. Integrating a complex rotation with no-till improves weed management in organic farming. A review. Agronomy for Sustainability Development, 35: 967–974.
10. Arlauskiene A., Cesevičiene J., Velykis A. 2019. Improving mineral nitrogen control by combining catch crops, fertilisation, and straw management in a clay loam soil. Acta Agriculturae Scandinavica B Soil Plant Science, 69: 422–431.
11. Arlauskiene A., Jablonskyte-Rasce D., Slepetiene A. 2020. Effect of legume and legume-festulolium mixture and their mulches on cereal yield and soil quality in organic farming. Archives of Agronomy and Soil Science, 66(8): 1058–1073.
12. Arlauskienė A., Kadžiulienė Ž., Deveikytė I., Šarūnaitė L., Semaškienė R., Karbauskienė E., Masilionytė L., Jablonskytė-Raščė D. 2015. Crop diversity and productivity under organic farming in Lithuania. Sustainable Rural Development. Proceedings of the 25th NJF Congress. Riga, Latvia, p. 85–90.
13. Barilli E., Jeuffroy M. H., Gall J., Tourdonnet S., Médiène S. 2017. Weed response and crop growth in winter wheat–lucerne intercropping: A comparison of conventional and reduced soil-tillage conditions in northern France. Crop and Pasture Science, 68: 1070–1079.
14. Båth B., Kristensen H. L., Thorup-Kristensen K. 2008. Root pruning reduces root competition and increases crop growth in a living mulch cropping system. Journal of Plant Interactions, 3: 211–221.
15. Becker K., Leithold G. 2008. Improvement of winter wheat baking quality in ecological cultivation by enlargement of row spacing and undersown intercrops. Poster at: Cultivating

the Future Based on Science: 2nd Conference of the International Society of Organic Agriculture Research ISOFAR, Modena, Italy, 18–20 June.
16. Bedoussac L., Journet E. P., Hauggaard-Nielsen H., Naudin C., Corre-Hellou G., Jensen E. S., Prieur L., Justes E. 2015. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. Agronomy for Sustainable Development, 35: 911–935.
17. Bendroji žemės ūkio politika (BŽŪP). 2020. Komisijos tarnybų darbinis dokumentas dėl BŽŪP reformos ir žaliojo kurso sąsajų analizės. SWD 93. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF
18. Bergkvist G., Stenberg M., Wetterlind J., Båth B., Elfstrand S. 2011. Clover cover crops under-sown in winter wheat increase yield of subsequent spring barley – Effect of N dose and companion grass. Field Crops Research, 120: 292–298.
19. Birkhofer K., Bezemer T. M., Bloem J., Bonkowski M., Christensen S., Dubois D., Ekelund F., Fließbach A., Gunst L., Hedlund K., Mäder P., Mikola J., Robin C., Setälä H., Tatin-Froux F, Van der Putten W. H, Scheu S. 2008. Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity. Soil Biology and Biochemistry, 9 (9): 2297–2308.
20. Blanco-Canqui H., Ruis S. J. 2018. No-tillage and soil physical environment. Geoderma, 326: 164–200.
21. Blesh J. 2019. Feedbacks between nitrogen fixation and soil organic matter increase ecosystem functions in diversified agroecosystems. Ecological Applications, 29 (8): e01986.
22. Boe A., Bortnem R., Johnson P. J. 2016. Changes in weight and germinability of black medic seed over a growing season, with a new seed predator. Proceedings of the South Dakota Academy of Science, 95: 105–117.
23. Brooker R. W., Bennett A. E., Cong W. F., Daniell C. T. J., George S., Hallett P. D., Hawes C., Iannetta P. M., Alison J., Karley J. 2015. Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. New Phytologist, 206 (1): 107–117.
24. Büchia L., Wendlinga M., Amosséa C., Necpalovac M., Charles R. 2018. Importance of cover crops in alleviating negative effects of reduced soil tillage and promoting soil fertility in a winter wheat cropping system. Agriculture Ecosystems and Environment, 256: 92–104.
25. Bybee-Finley K. A., Mirsky S. B., Ryan M. R. 2016. Functional diversity in summer annual grass and legume intercrops in the northeastern United States. Crop Science, 56: 2775.
26. Bybee-Finley K. A., Ryan M. R. 2018. Advancing intercropping research and practices in industrialized agricultural landscapes. Agriculture, 8: 80.
27. Canali S., Diacono M., Campanelli G., Montemurro F. 2015. Organic no-till with roller crimpers: Agro-ecosystem services and applications in organic mediterranean vegetable productions. Sustainable Agriculture Research, 4 (3): 1–10.
28. Cardinael R., Chevallier T., Bartthes B. G., Saby N. P. A., Parent T., Dupraz C., Bernoux M., Chenu C. 2015. Impact of alley cropping agroforestry on stocks, forms and spatial distribution of soil organic carbon — A case study in a Mediterranean context. Geoderma, 259–260: 288–299.

29. Carof M., Tourdonnet S., Saulas P., Le Floch D., Roger-Estrade J. 2007. Undersowing wheat with different living mulches in a no-till system. II. Competition for light and nitrogen. Agronomy for Sustainable Development, 27: 347–356.
30. Carr P. M., Gramig G. G., Liebig M. A. 2013. Impacts of organic zero tillage systems on crops, weeds and soil quality. Sustainability, 5: 3172–3201.
31. Casagrande M., Peigné J., Payet V., Mäder P., Xavier Sans F., Blanco-Moreno J. M., Antichi D., Bàrberi P., Beeckman A., Bigongiali F., Cooper J., Dierauer H., Gascoyne K., Grosse M., Heß J., Kranzler A., Luik A., Peetsmann E., Surböck A., Willekens K., David C. 2016. Organic farmers' motivations and challenges for adopting conservation agriculture in Europe. Organic Agriculture, 6: 281–295.
32. Cong W. F., Hoffland E., Li L., Six J., Sun J.H., Bao X. G., Zhang F.S., Van DerWerf W. 2015. Intercropping enhances soil carbon and nitrogen. Global Change Biology, 21: 1715–1726.
33. Cooper J., Baranski M., Stewart G., Nobel-de Lange M., Barberi P., Peigne J., Berner A., Brock C., Casagrande M., Crowley O., David C., Casagrande M. 2016. Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil C stocks: a meta-analysis. Agronomy for Sustainable Development, 36: 1–22.
34. Dahlin A., Stenberg M., Marstorp H. 2011. Mulch N recycling in green manure leys under Scandinavian conditions, Nutrient Cycling Agroecosystems, 91: 119–129.
35. Dane S., Laugale V. 2014. Influence of intercrop on plant growth and yield. Research for Rural Development, 1: 14–18.
36. Dangour A. D., Dodhia S. K., Hayter A., Allen E., Lock K., Uauy R. 2009. Nutritional quality of organic foods: a systematic review. US National Library of Medicine National Institutes of Health, 90 (3): 680–685.
37. De Kroon H. 2007. Ecology: how do roots interact? Science, 318: 1562–1563.
38. De Notaris C. D., Rasmussen J., Sorensen P., Melander B., Olesen J. E. 2019. Manipulating cover crop growth by adjusting sowing time and cereal inter-row spacing to enhance residual nitrogen effects. Field Crops Research, 234 (15): 15–25.
39. De Notaris C., Rasmussen J., Sørensen P., Olesen J. E. 2018. Nitrogen leaching: A crop rotation perspective on the effect of N surplus, field management and use of catch crops. Agriculture, Ecosystems and Environment, 255*:* 1–11.
40. Derpsch R., Franzluebbers A. J., Duiker S. W., Reicosky D. C., Koeller K., Friedrich T., Sturny W. G., Sá J. C. M., Weiss K. 2014. Why do we need to standardize no-tillage research? Soil and Tillage Research, 137: 16–22.
41. Doltra J., Olesen J. E. 2013. The role of catch crops in the ecological intensification of spring cereals in organic farming under Nordic climate. European Journal of Agronomy, 44: 98–108.
42. Döring T. F., Baddeley J. A., Brown R., Collins R., Crowley O., Cuttle S. P., Howlett S. A., Jones H. E., McCalman H., Measures M., Pearce H., Roderick S., Stobart R., Storkey J., Tilston E., Topp K., Watson C. A., Winkler L., Wolfe M. S. 2013. Using legume-based mixtures to enhance the nitrogen use efficiency and economic viability of cropping systems. Project Report No. 513, 188 p.
43. Elsalahy H., Döring T., Bellingrath-Kimura S., Arends D. 2019. Weed suppression in only-legume cover crop mixtures. Agronomy Journal, 9: 648.

44. Engin M., Sprent J. 1973. Effects of water stress on growth and nitrogen-fixing activity of *Trifolium repens*. New Phytologist, 72: 117–126.
45. Entz M. H., Thiessen Martens J. R., May W., Lafond G. P. 2007. Black medic (*Medicago lupulina*) germplasm screening for use as a self-regenerating cover crop on the Canadian Prairies. Canadian Journal of Plant Science, 87: 873–878.
46. Espinoza S., Ovalle C., Zagal E., Matus I., Pozo A. 2015. Contribution of legumes to the availability of soil nitrogen and its uptake by wheat in Mediterranean environments of central Chile. Chilean Journal of Agricultural Research, 75 (1): 111–212.
47. Europos Komisija. 2019. The European Green Deal. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF
48. Faget M., Nagel K. A., Walter A., Herrera J.M., Jahnke S., Schurr U., Temperton V.M. 2013. Root–root interactions: extending our perspective to be more inclusive of the range of theories in ecology and agriculture using *in-vivo* analyses. Annals of Botany, 112 (2): 253–266.
49. Finnan J. M., Burke J. I., Thomas T. M. 2015. A comparison between conventional tilled and bicropped winter wheat grown in monoculture over four years. Sustainable Agriculture Research, 5 (1): 24–37.
50. Finney D. M., White C. M., Kaye J. P. 2016. Biomass production and carbon/nitrogen ratio influence ecosystem services from cover crop mixtures. Agronomy Journal, 108: 39–52.
51. Francaviglia R., Álvaro-Fuentes J., Di Bene C., Gai L., Regina K., Turtola E. 2019. Diversified arable cropping systems and management schemes in selected European regions have positive effects on soil organic carbon content. Agriculture, 9: 261.
52. Garcia-Franco N., Albaladejo J., Almagro M. 2015. Beneficial effects of reduced tillage and green manure on soil aggregation and stabilization of organic carbon in a Mediterranean agroecosystem. Soil Tillage Research, 153: 66–75.
53. Gaudin A. C. M., Westra S., Loucks C. E. S., Janovicek K., Martin, R. C., Deen W. 2013. Improving resilience of northern field crop systems using inter-seeded red clover: A review. Agronomy, 3: 148–180.
54. Gaudin C. M., Janovicek K., Martin R. C., Deen W. 2014. Approaches to optimizing nitrogen fertilization in a winter wheat–red clover (*Trifolium pratense* L.) relay cropping system. Field Crops Research, 155: 192–201.
55. Gecaitė V., Arlauskienė A., Cesevičienė J. 2021. Competition effects and productivity in oat–forage legume relay intercropping systems under organic farming conditions. Agriculture, 11 (2): 99.
56. Ginakes P., Grossman J., Baker J., Sooksa-Nguan T. 2020. Tillage intensity influences nitrogen cycling in organic kura clover living mulch. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 116 (1): 71–82.
57. Grosse M., Haase T., Heß J. 2019. Tillage system comparison in organic farming: effects on N mineralization, soil microbial biomass and yield. Organic Farming, 5(1): 23–36.
58. Hannaway D. B., Larson C. 2018. Berseem clover (*Trifolium alexandrinum* L.). In: Species Selection Information System. Oregon State University: Corvallis, USA.
59. Hansen E. M., Eriksen J. 2016. Nitrate leaching in maize after cultivation of differently managed grass-clover leys on coarse sand in Denmark. Agriculture Ecosystem and Environment, 216: 309–313.

60. Hansen E. M., Munkholm L. J., Olesen J. E., Melander B. 2015. Nitrate leaching, yields and carbon sequestration after noninversion tillage,catch crops, and straw retention. Journal of Environmental Quality, 44: 868–881.
61. Haq M. I., Maqbool M. M., Ali A., Farooq S., Khan S., Saddiq M. S. 2020. Optimizing planting geometry for barley-Egyptian clover intercropping system in semi-arid sub-tropical climate. PLoS ONE, 15 (5): e0233171.
62. Haramoto E. R., Brainard D. C. 2012. Strip tillage and oat cover crops increase soil moisture and influence n mineralization patterns in cabbage. American Society for Horticultural Science, 47 (11): 1596–1602.
63. Hartwig N. L., Ammon H. U. 2002. Cover crops and living mulches. Weed Science, 50 (6): 688–699.
64. Haruna S. I., Anderson S. H., Nkongolo N. V., Zaibon S. 2018. Soil hydraulic properties: Influence of tillage and cover crops. Pedosphere, 28: 430–442.
65. Haruna S. I., Nkongolo N. V. 2015. Effects of tillage, rotation and cover crop on the physical properties of a silt-loam soil. International Agrophysics, 29: 137–145.
66. Haruna S. I., Nkongolo N. V. 2019. tillage, cover crop and crop rotation effects on selected soil chemical properties. Sustainability, 11: 2770.
67. Hassan A., Dresbøl D. B., Rasmussen C. R., Lyhne-Kjærbye A., Nicolaisen M. H., Stokholm M. S., Lund O. S., Thorup-Kristensen K. 2019. Root distribution in intercropping systems – a comparison of DNA based methods and visual distinction of roots. Archives of Agronomy and Soil Science, 67 (1): 15–28.
68. Hauggaard-Nielsen H., Jørnsgaard B., Kinane J., Jensen E. S. 2008. Grain legume-cereal intercropping: The practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. Renewable Agriculture and Food Systems, 23: 3–12.
69. He J., Shi Y., Zhao J., Yu Z. 2019. Strip rotary tillage with a two-year subsoiling interval enhances root growth and yield in wheat. Scientific Reports, 9: 11678.
70. Hiltbrunner J., Liedgens M. 2008. Performance of winter wheat varieties in white clover living mulch. Biological Agricultural and Horticulture, 26: 85–101.
71. Hollander D. N.G., Bastiaans L., Kropff M. J. 2007. Clover as a cover crop for weed suppression in an intercropping design: II. Competitive ability of several clover species. European Journal of Agronomy, 26: 104–112.
72. Ismail F. S., Hassanen S. A. A. 2019. Improvement of Egyptian clover yield and quality by using bio and organic fertilizers in newly cultivated saline soil. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, 10: 147–155.
73. Jaskulska I., Jaskulski J. 2020. Strip-till one-pass technology in Central and Eastern Europe: A MZURI Pro-Til hybrid machine case study. Journal Agronomy, 10 (7): 925.
74. Jensen E. S., Bedoussac L., Carlsson G., Journet E.P., Justes E., Hauggaard-Nielsen H. 2015. Enhancing yields in organic crop production by eco-functional intensification. Sustainable Agriculture Research, 4 (3): 42–50.
75. Kadžiulienė Ž., Šarūnaitė L., Kadžiulis L. 2013. The impact of nitrogen in red clover and Lucerne swards on the subsequent spring wheat. Organic systems as a driver for change. NJR Report (NJF seminar 461), Bredstend, Denmark, 9 (3): 159–160.
76. Känkänen H., Eriksson C. 2007. Effects of undersown crops on soil mineral N and grain yield of spring barley. European Journal of Agronomy, 27: 25–34.

77. Kaur A., Kaur K. P., Kalia A., Rani U., Kahlon J. G., Sharma R., Malaviya D., Kapoor R., Sandhu J. S. 2017. Generation of interspecific hybrids between *Trifolium vesiculosumand T. alexandrinum* using embryo rescue. Euphytica, 213 (1): 253.
78. Kautz T., Amelung W., Ewert F., Gaiser T., Horn R., Jahn R., Javaux M., Kemna A., Kuzyakov Y., Munch J. C., Pätzold S., Peth S. Scherer H. W., Köpke U. 2013. Nutrient acquisition from arable subsoils in temperate climates: A review. Soil Biology and Biochemistry, 57: 1003–1022.
79. Kołota E., Adamczewska-Sowińska K. 2013. Living mulches in vegetable crops production: perspectives and limitations. Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus, 12 (6): 127–142.
80. Köpke U., Athmann M., Han E., Kautz T. 2015. Optimising cropping techniques for nutrient and environmental management in organic agriculture. Sustainable Agriculture Research, 4 (3): 15–25.
81. Kumar S., Kadono A., Lal R., Dick W. 2012. Long-term no-till impacts on organic carbon and properties of two contrasting soils and corn yields in Ohio. Soil Science Society of America Journal, 76 (5): 1798–1809.
82. Lal R., Reicosky D. C., Hanson J. D. 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and therationale for no-till farming. Soil Tillage Research, 93: 1–12.
83. Leary J., DeFrank J., 2000. Living mulches for organic farming systems. Hort Technology, 10 (4): 692–698.
84. Lekavičienė K., Šarauskis E., Naujokienė V., Buragienė S., Kriaučiūnienė Z. 2019. The effect of the strip tillage machine parameters on the traction force, diesel consumption and CO_2 emissions. Soil and Tillage Research, 192: 95–102.
85. Liebman M., Davis A. S. 2000. Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. Weed Research, 40: 27–47.
86. Litrico I., Violle C. 2015. Diversity in plant breeding: A new conceptual framework. Trends Plant Science, 20: 604–613.
87. Liu J., Bergkvist G., Uléna B. 2015. Biomass production and phosphorus retention by catch crops on clayey soils in southern and central Sweden. Field Crops Research, 171: 130–137.
88. Louarn G., Pereira-Lopès E., Fustec J., Mary B., Voisin A. S., Faccio Carvalho P. C., Gastal F. 2015. The amounts and dynamics of nitrogen transfer to grasses differ in alfalfa and white clover-based grass-legume mixtures as a result of rooting strategies and rhizodeposit quality. Plant and Soil, 389: 289–305.
89. Lu Y. C., Watkins K. B., Teasdale J. R., Abdul-Baki A. A. 2000. Cover crops in sustainable food production. Food Reviews International, 16: 121–157.
90. Lynch D. H. 2015. Nutrient cycling and soil health in organic cropping systems – Importance of management strategies and soil resilience. Sustainable Agriculture Research, 4 (3): 80–88.
91. Mäder P., Berner A. 2012. Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. Renewable Agriculture and Food Systems, 27 (1): 7–11.
92. Magrini M. B., Anton M., Cholez C. Corre-Hellou G., Duk G., Jeuffroy M.J., Meynard J. M., Pelzer E., Voisin A. S., Walrand S. 2016. Why are grain-legume rarely present in cropping systems despite their environmental and nutritional benefits? Analyzing lock-in in the French. Ecological Economics, 126: 152–162.

93. Maighany F., Khalghani J., Baghestani M., Najafpour M. 2007. Allelopathic potential of *Trifolium resupinatum* L. (Persian clover) and *Trifolium alexandrium* L. (berseem clover). Weed Biology and Management, 7 (3): 178–183.
94. Mallory E. B., Halberg N., Andreasen L., Delate K., Ngouajio M. 2015. Innovations in organic food systems for sustainable production and ecosystem services: An introduction to the special issue of sustainable agriculture research. Sustainable Agriculture Research, 4 (3): 1–4.
95. McKenna P., Cannon N., Conway J., Dooley J., Davies W. P. 2018. Red clover (*Trifolium pratense*) in conservation agriculture: a compelling case for increased adoption. International Journal of Agricultural Sustainability, 16 (4–5): 342–366.
96. Migliorini P., Moschini V., Tittarelli F., Ciaccia C., Benedettelli S., Vazzana C., Canali S. 2014. Agronomic performance, carbon storage and nitrogen utilisation of long-term organic and conventional stockless arable systems in Mediterranean area. European Journal of Agronomy, 52: 138–145.
97. Murrell E. G., Schipanski M. E., Finney D. M., Hunter M. C., Burgess M., LaChance J. C., Baraibar B., White C. M., Mortensen D. A., Kaye J. P. 2017. achieving diverse cover crop mixtures: Effects of planting date and seeding rate. Journal Agronomy, 109 (1): 259–271.
98. Neugschwandtner R. W., Kaul H. P. 2015. Nitrogen uptake, use and utilization efficiency by oat–pea intercrops. Field Crops Research, 179: 113–119.
99. Neumann M., Restle J., Filho D. C. A., Maccari M., Pellegrini L. G., Souza A. N. M., de Peixoto L. A. O. 2005. Forage quality and beef cattle production of sorghum pasture (*Sorghum bicolor* L.), fertilized with two fertilizer types, under continuous grazing. Revista Brasileira Agricultura, 11 (2): 221–226.
100. Nunes M. R., Van Es H. M., Schindelbeck R., Ristow A. J., Ryan M. 2018. No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. Geoderma, 328: 30–43.
101. Peigné J., Casagrande M., Payet V., David C., Sans F. X., Blanco-Moreno J. M., Cooper J., Gascoyne K., Antichi D., Bàrberi P., Bigongiali F., Surböck A., Kranzler A., Beeckman A., Willekens K., Luik A., Matt D., Grosse M., Heß J., Clerc M., Dierauer H., Mäder P. 2016. How organic farmers practice conservation agriculture in Europe. Renewable Agriculture and Food Systems, 31 (1): 72–85.
102. Peoples M. B., Brockwell J., Herridge D. F. et al. 2009. The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. Symbiosis, 48 (1): 1–17.
103. Pfeiffer A., Silva E., Colquhoun J. 2015. Living mulch cover crops for weed control in small-scale applications. Renewable Agriculture and Food Systems,1 (4): 1–9.
104. Pietsch G., Hrbek D., Laubhann D., Friedel J. K. 2009. Effect of mulching dates modified for nature conservation on the yield and nitrogen fixation of green manure lucerne crops. Agronomy for Sustainable Development, 29: 353–362.
105. Pittelkow C. M., Linquist B. A., Lundy M. E., Liang X., van Groenigen K. J., Lee J., van Gestel N., Six J., Venterea R. T., van Kessel C. 2015. When does no-till yield more? A global meta-analysis. Field Crops Research, 183: 156–168.
106. Pöhlitz J., Rücknagel J., Koblenz B., Schlüter S., Vogel H. J., Christen O. 2018. Computed tomography and soil physical measurements of compaction behaviour under strip tillage, mulch tillage and no tillage. Soil and Tillage Research, 175: 205–216.
107. Preissel S., Reckling M., Schläfke N., Zander P. 2015. Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review. Field Crops Research, 175: 64–79.

108. Radicetti E., Baresel J. P., El-Haddoury E. J., Finckh M. R., Mancinelli R., Schmidt J. H., Thami Alami I., Udupa S. M., van der Heijden M. G. A., Wittwer R., Campiglia E. 2018. Wheat performance with subclover living mulch in different agro-environmental conditions depends on crop management. European Journal of Agronomy, 94: 36–45.
109. Ranaivoson L., Naudin K., Ripoche A., Affholder F., Rabeharisoa L., Corbeels M. 2017. Agro-ecological functions of crop residues under conservation agriculture. A review. Agronomy for Sustainable Development, 37: 26.
110. Rani K., Sharma P., Kumar S., Wati L., Kumar R., Gurjar D. S., Kumar D., Kumar R. 2019. Legumes for sustainable soil and crop management. Sustainable Management of Soil and Environment, 193–215.
111. Raseduzzaman M., Jensen E. S. 2017. Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis. European Journal of Agronomy, 91: 25–33.
112. Ross S. M., King J. R., O'Donovan J. T., Spaner D. 2004. Forage potential of intercropping berseem clover with barley, oat, or triticale. Agronomy Journal, 96: 1013–1020.
113. Sainju U. M., Whitehead W. F., Singh B. P. 2005. Biculture legume–cereal cover crops for enhanced biomass yield and carbon and nitrogen. Agronomy Journal, 97: 1403–1412.
114. Šarauskis E. Vaitauskiene K., Romaneckas K., Sakalauskas A., Jasinskas A., Butkus V., Karayel D., Kriaučiūnienė Z. 2015. Research in strip tillage machine row cleaner technology process. Engineering for Rural Development, Jelgava, p. 51–56.
115. Šarūnaitė L., Deveikytė I., Arlauskienė A., Kadžiulienė Ž., Maikštėnienė S. 2013. Pea and spring cereal intercropping systems: Advantages and suppression of broad-leaved weeds. Polish Journal of Environmental Studies, 22 (2): 541–551.
116. Šarūnaitė L., Kadžiulienė Ž., Kadžiulis L. 2008. Ankštinių augalų įtaka varpiniams javams sėjomainos grandyje ir dvinariame žolių–javų pasėlyje. Žemės ūkio mokslai, 15 (1): 10–16.
117. Schipanski M. E., Drinkwater L. E. 2011. Nitrogen fixation of red clover interseeded with winter cereals across a management-induced fertility gradient. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 90: 105–119.
118. Sharpe S. M., Boyd N. S., Dittmar P. J., MacDonald G. E. 2018. Control recommendations for black medic (*Medicago lupulina*) based on growth and development in competition with strawberry. Weed Science, 66: 226–233.
119. Silsbury J. H. 1981. CO_2 exchange and dinitrogen fixation of subterrenean clover. Plant Physiology, 67: 599–602.
120. Skaalsveen K., Ingram J., Clarke L. E. 2019. The effect of no-till farming on the soil functions of water purification and retention in north-western Europe: A literature review. Soil and Tillage Research, 189: 98–109.
121. Teasdale J., Brandsæter L., Calegari A., Neto F. S. 2007. Cover crops and weed management. In: Non-Chemical Weed Management. Upadhyaya M. K., Blackshaw R. E. (eds.), p. 49–64.
122. Thorsted M. D., Olesen J. E., Weiner J. 2005. Width of clover strips and wheat rows influence grain yield in winter wheat/white clover intercropping. Field Crops Research, 95: 280–290.
123. Thorup-Kristensen K., Dresbøll D. B., Kristensen H. L. 2012. Crop yield, root growth, and nutrient dynamics in a conventional and three organic cropping systems with different levels of external inputs and N re-cycling through fertility building crops. European Journal of Agronomy, 37: 66–82.

124. Thorup-Kristensen K., Kirkegaard J. 2016. Root system-based limits to agricultural productivity and efficiency: the farming systems context. Annals of Botany, 118 (4): 573–592.
125. Tooker J. F., Frank S. D. 2012. Genotypically diverse cultivar mixtures for insect pest management and increased crop yields. Journal of Applied Ecology, 49: 974–985.
126. Tosti G., Paolo Benincasaa P., Farneselli M., Pacea R., Tei F., Guiducci M., Thorup-Kristensen K. 2012. Green manuring effect of pure and mixed barley – hairy vetch winter cover crops on maize and processing tomato N nutrition. European Journal of Agronomy, 43: 136–146.
127. Upendra M., Sainju A. W., Lenssen B. L., Allen W. B., Stevens J. D. 2017. Soil total carbon and nitrogen and crop yields after eight years of tillage, crop rotation, and cultural practice. Heliyon, 3: 12–19.
128. Vaitauskienė K., Šarauskis E., Naujokienė V., Liakas V. 2015. The influence of free-living nitrogen-fixing bacteria on the mechanical characteristics of different plant residues under no-till and strip-till conditions. Soil and Tillage Research, 154: 91–101.
129. Valkama E., Lemola R., Känkänen H., Turtola E. 2015. Meta-analysis of the effects of undersown catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries. Agriculture Ecosystems and Environment, 203: 93–101.
130. Vanden Bygaart A. J. 2016. The myth that no-till can mitigate global climate change. Agriculture Ecosystems and Environment, 216: 98–99.
131. Verret V., Gardarin A., Pelzer E., Médiène S., Makowski D., Valantin-Morison M. 2017. Can legume companion plants control weeds without decreasing crop yield? A meta-analysis. Field Crop Research, 204: 158–168.
132. Voisin A. S., Guéguen J., Huyghe C., Jeuffroy M. H., Magrini M. B., Meynard J. M., Mougel C., Pellerin S., Pelzer E. 2014. Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: A review. Agronomy for Sustainable Development, 34: 361–380.
133. Vrignon-Brenas S., Celette F., Piquet-Pissaloux A., Corre-Hellou G., David C. 2018. Intercropping strategies of white clover with organic wheat to improve the trade-off between wheat yield, protein content and the provision of ecological services by white clover. Field Crops Research, 224: 160–169.
134. Vukicevich E., Lowery T., Bowen P., Urbez-Torres J. R., Hart M. 2016. Cover crops to increase soil microbial diversity and mitigate decline in perennial agriculture. A review. Agronomy Sustainable Development, 36: 48.
135. Walmsley D. C., Siemens J., Kindler R., Kaiser K., Saunders M., Fichtner A., Kaupenjohann M., Osborne B. A. 2018. Reduced nitrate leaching from an Irish cropland soil under non-inversion tillage with cover cropping greatly outweighs increased dissolved organic nitrogen leaching. Agriculture Ecosystems and Environment, 265: 340–349.
136. Wanic M., Mysliwiec M. 2014. Changes in spring wheat (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare* L.) and persian clover (*Trifolium resupinatum* L.) biomass under the influence of plant competition and density. Acta Agrobotanica, 67 (4): 125–134.
137. Wanic M., Mysliwiec M., Orzech K., Michalska M. 2016. Nitrogen content and uptake by spring wheat and undersown Persian clover depending on plant density. Journal of Elementology, 21: 231–246.

138. Watros A., Lipińska H., Lipiński W., Tkaczyk P., Krzyszczak J., Baranowski P. 2019. Mineral nitrogen content in hydrographic areas of Poland depending on land use. International Agrophysics, 33 (4): 481–491.
139. Weigelt A., Jolliffe P. 2003. Indices of competition. Journal of Ecology, 91: 707–720.
140. Weyers S. L., Archer D. W., Forcella F., Gesch R., Johnson J. M. 2018. Strip-tillage reduces productivity in organically managed grain and forage cropping systems in the Upper Midwest, USA. Renewable Agriculture and Food Systems, 33: 309–321.
141. Weyers S. L., Archer D., W, Johnson J. M. F, Wilts A. R. 2020. Management drives differences in nutrient dynamics in conventional and organic four-year crop rotation systems. Agronomy, 10 (6): 764.
142. Wezel A., Casagrande M., Celette F., Vian J. F., Ferrer A., Peigne J. 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. Agronomy for Sustainable Development, 34: 1–20.
143. Willey R. W., Rao M. R. 1980. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. Experimental Agriculture, 16 (2): 117–125.
144. Wilson B. 1988. Shoot competition and root competition. Journal of Applied Ecology, 25: 279–296.
145. Winiarska S. 2005. Wpływ roślin okrywowych na plonowanie i wartość biologiczną pora oraz ich działanie następcze w uprawie warzyw. Rozpr. dokt. AR we Wrocławiu.
146. Wittwer R., Dorn B., Jossi W., Van der Heijden M. G. A. 2017. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. Scientific Reports, **7**: 41911.
147. Wyngaarden S. L., Gaudin A. C. M, Deen W., Martin R. C. 2015. Expanding red clover (*Trifolium pratense*) usage in the corn–soy–wheat rotation. Sustainability, 7 (11): 15487–15509.
148. Xie Y., Nygaard J., Petersen K. K. K., Lakkenborg H. 2018. Stepwise incorporation of white clover (*Trifolium repens* L.)as fertiliser increases nitrogen fixation and improves nitrogenretention when intercropped with leek (*Allium porrum* L.). Plant and Soil, 422: 541–554.
149. Yang X. M., Drury C. F., Reynolds W. D., Phillips L. A. 2020. Nitrogen release from shoots and roots of crimson clover, hairy vetch, and red clover. Canadian Journal of Soil Science, 100 (3): 179–188.
150. Zikeli S., Gruber S. 2017. Reduced Tillage and No-Till in Organic Farming Systems, Germany—Status Quo, Potentials and Challenges. Agriculture, 7 (4): 35.

PASKELBTŲ PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS

Straipsniai žurnaluose, referuojamuose duomenų bazėje *Clarivate Analytics Web of Science* disertacijos tema

1. **Gecaitė V.**, Arlauskienė A., Cesevičienė J. 2021. Competition effects and productivity in oat-forage legume relay intercropping systems under organic farming conditions. Agriculture, vol. 11 (2): 99. IF – 2,072. https://doi.org/10.3390/agriculture11020099
2. Arlauskienė A., **Gecaitė V.**, Toleikienė M., Šarūnaitė L., Kadžiulienė Ž. 2021. Soil nitrate nitrogen content and grain yields of organically grown cereals as affected by a strip tillage and forage legume intercropping. Plants, vol. 10 (7): 1453. IF – 3,935. https://doi.org/10.3390/plants10071453
3. Arlauskienė A., Jablonskytė-Raščė D., Šarūnaitė L., Toleikienė M., Masilionytė L., **Gecaitė V.**, Kadžiulienė Ž. 2021. Perennial forage legume cultivation and their above-ground mass management methods for weed suppression in arable organic cropping systems. Chemincal and Biological Technologies in Agriculture, vol. 8 (34). IF – 2,945 https://doi.org/10.1186/s40538-021-00228-5

Straipsniai recenzuojamuose leidiniuose

1. **Gecaitė V.**, Arlauskienė A. 2021. Importance of forage legumes to the availability of soil mineral nitrogen in different soil tillage systems in organic farming. 17th International Conference of Young Scientists on Energy and Natural Sciences Issues (CYSENI), 24–28 May, 2021. Kaunas, Lithuania, p. 925.
2. Toleikienė M., Brophy C., Arlauskienė A., Rasmussen J., **Gecaitė V.**, Kadžiulienė Ž. 2019. The introduction of soybean in an organic crop rotation in the Nemoral zone: the impact on subsequent spring wheat productivity. Zemdirbyste-Agriculture, vol. 106 (4): 321–328. https://doi.org/10.13080/z-a.2019.106.041
3. Arlauskienė A., **Gecaitė V.** 2019.The influence of perennial legumes, legume-festulolium mixtures and their mulch on soil mineral nitrogen under organic cropping conditions. Conserving Soils and Water, vol. 65 (5): 182–185.
4. Arlauskienė A., **Gecaitė V.**, Jablonskytė-Raščė D. 2017. The evaluation of the compatibility of cereal and green manure on the basis of nutrients. Proceedings of the 8th International Scientific Conference "Rural Development 2017". Raupelienė A. (ed.). Aleksandro Stulginskio universitetas. SSN 1822-3230 / eISSN 2345-0916; eISBN 978-609-449-128-3. http://doi.org/10.15544/RD.2017.039

Straipsniai kituose leidiniuose

1. Arlauskienė A., **Gecaitė V.** 2020. Kaip išspausti maksimalią naudą iš pupinių žolių. Mano ūkis, 2020 m. lapkričio mėn., p. 30-32.

Lietuvoje ir užsienyje rengtose mokslinėse konferencijose pranešimai

1. **Gecaitė V.**, Arlauskienė A. 2021. Importance of forage legumes to the availability of soil mineral nitrogen in different soil tillage systems in organic farming. 17th International Conference of Young Scientists on Energy and Natural Sciences Issues (CYSENI), 24–28 May, 2021, Kaunas, Lithuania.
2. **Gecaitė V.**, Arlauskienė A. 2020. Juostinio žemės dirbimo ir sėjos bei dengiamųjų augalų įtaka dirvožemio drėgniui sunkaus priemolio rudžemyje. Jaunųjų mokslininkų konferencija „Jaunieji mokslininkai – žemės ūkio pažangai“, 2020 m. lapkričio 12 d. Vilnius. p. 26.
3. **Gecaitė V.**, Arlauskienė A. 2019. Use of undersown forage legumes for weed supression in organic cropping systems. The international conference of young scientists „Young scientists for advance of agriculture“, 14 November, 2019, Vilnius, Lithuania.
4. Arlauskienė A., **Gecaitė V**. 2019. The influence of perennial legumes, legume-festulolium mixtures and their mulch on soil mineral nitrogen under organic cropping conditions. IV International Scientific Conference “Conserving Soils and Water”, 28-31 August, 2019, Burgas, Bulgaria.
5. Arlauskienė A., **Gecaitė V.** 2019. Dvinarių pasėlių nauda ir auginimo galimybės. Mokslinė-praktinė konferencija “Naujausios auginimo technologijos: dėmesys dirvožemiui ir augalui”, 2019 m. birželio 20 d., Joniškėlio bandymų stotis.
6. **Gecaitė V.**, Arlauskienė A. 2018. Perennial legumes for plant nutrition in organic agriculture. 26th NJF Congress: Agriculture for the Next 100 Years. 27-29 June, 2018, Aleksandro Stulginskio Universitetas, Kaunas, Lithuania.
7. **Gecaitė V.**, Arlauskienė A., Velykis A., Kadžiulienė Ž., Karbauskienė E. 2018. Competition and productivity in organic spring cereal-forage legumes cropping system. 6th International Conference “Organic Agriculture Sciences (ICOAS’18)”, 7-9. November, 2018, Eisenstadt, Austria.
8. **Gecaitė V.** 2018. Pupinių žolių įsėliai, jų vertė įvairaus intensyvumo ūkiuose. Mokslinė-praktinė konferencija „Dirvožemio ir augalų produktyvumo gerinimo galimybės ir priemonės“. 2018 liepos 4 d., Joniškėlio bandymų stotis.

9. **Gecaitė V.** 2018. Pupinių žolių įsėliai, jų vertė įvairaus intensyvumo ūkiuose. Seminaras "Piktžolių kontrolės ypatumai ekologiniame ūkyje". 2018 birželio 20 d., Joniškėlio bandymų stotis.
10. Arlauskienė A., **Gecaitė V.**, Jablonskytė-Raščė D. 2017. The evaluation of the compatibility of cereal and green manure on the basis of nutrients. 8th International Scientific Conference "Rural Development 2017: Bioeconomy Challenges", lapkričio 23-24 d., Aleksandro Stulginskio Universitetas

MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA KOPIJOS

Copies of published scientific articles

agriculture

MDPI

Article

Competition Effects and Productivity in Oat–Forage Legume Relay Intercropping Systems under Organic Farming Conditions

Viktorija Gecaitė [1,*], Aušra Arlauskienė [1] and Jurgita Cesevičienė [2]

[1] Joniškėlis Experimental Station, Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Pasvalys Distr., 39301 Joniškėlis, Lithuania; ausra.arlauskiene@lammc.lt

[2] Institute of Agriculture, Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Instituto 1, Kėdainiai Distr., 58344 Akademija, Lithuania; jurgita.ceseviciene@lammc.lt

* Correspondence: viktorija.gecaite@lammc.lt; Tel.: +370-62851350

Abstract: Cereal-legume intercropping is important in many low-input agricultural systems. Interactions between combinations of different plant species vary widely. Field experiments were conducted to determine yield formation regularities and plant competition effects of oat (*Avena sativa* L.)–black medick (*Medicago lupulina* L.), oat–white clover (*Trifolium repens* L.), and oat–Egyptian clover (*T. alexandrinum* L.) under organic farming conditions. Oats and forage legumes were grown in mono- and intercrops. Aboveground dry matter (DM) measured at flowering, development of fruit and ripened grain, productivity indicators, oat grain yield and nutrient content were established. The results showed that oats dominated in the intercropping systems. Oat competitive performance (CP_o), which is characterized by forage legumes aboveground mass reduction compared to monocrops, were 91.4–98.9. As the oats ripened, its competitiveness tendency to declined. In oat–forage legume intercropping systems, the mass of weeds was significantly lower compared to the legume monocrops. Oats and forage legumes competed for P, but N and K accumulation in biomass was not significantly affected. We concluded that, in relay intercrop, under favourable conditions, the forage legumes easily adapted to the growth rhythm and intensity of oats and does not adverse effect on their grain yield.

Keywords: aboveground mass; black medick; Egyptian clover; grain yield; nutrients; white clover

check for updates

Citation: Gecaitė, V.; Arlauskienė, A.; Cesevičienė, J. Competition Effects and Productivity in Oat–Forage Legume Relay Intercropping Systems under Organic Farming Conditions. *Agriculture* **2021**, *11*, 99. https://doi.org/10.3390/agriculture11020099

Academic Editors: Claudia Di Bene, Rosa Francaviglia, Roberta Farina, Jorge Álvaro-Fuentes and Raúl Zornoza

Received: 11 December 2020
Accepted: 20 January 2021
Published: 25 January 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Enhancing crop diversity and growing legumes are increasingly recognised as a crucial lever for sustainable agroecological development [1]. This is the basis of organic arable farms. The choice of plant species in a stockless farm is small and the use of forage legumes is limited. Intercropping is important in many subsistence or low-input/resource-limited agricultural systems [2]. Intercropping, the simultaneous growth of more than one crop species or genotype in the same field [3], is the practical application of basic ecological principles [2]. Intercropping effects consist of competition (niche differentiation, resource sharing and weed control), diversity (insect and disease control), facilitation (physical support, nitrogen fixation and excretion of allelochemicals and modification of the rhizosphere) and associated diversity (habitats for natural predators, litter diversity and enhanced soil microbial diversity) [4]. Strip, mixed and relay intercropping can be used to increase crop yields through resource partitioning and facilitation. Relay intercropping involves the staggered planting of two or more crops together in a way whereby only parts of their life cycles overlap [5]. Farmers often intercrop forage legumes into winter or spring cereals as a way to increase crop diversity and increase labile nitrogen pools [6]. This intercropping system works particularly well because of the different phenologies of the two crops, which minimises light competition, as well as differences

in nutrient acquisition [7]. Intercropping can allow better use of subsoil resources, and thereby decrease the need for resource input and help avoid nutrient losses [8,9]. Moreover, one crop can provide resources for the other one with a positive interspecific interaction, which is at the basis of facilitation processes [10]. Intercropping systems improve soil temperature and moisture regulation; erosion, nutrient run-off and leaching are reduced; weeds are controlled insect and disease development cycles are interrupted and soil organic matter content is improved with recycled nutrients being made available to subsequent crops [11,12].

There is competition between the plants in the intercropping system. It is one of many ecological processes shaping the composition, dynamics and productivity of the plant community [1]. Mainly, plants compete for soil resources and light. These interactions affect plant density and plant development rhythm as well as productivity and fertility [13]. Plant competition in spring cereal–forage legume intercropping systems can be regulated by proper selection of plant species [8], optimal plant seed rate and sowing time and methods [14]. Oat is grown in non-fertile soil regions and also in crop production farms globally. Oats are widely used cereal grains grown for its seed and are increasingly used every year. The growing population of health-conscious people is forcing oats manufacturers to increase growing demand. Therefore, the rising demand for oats has led to improve and increase their research. Relay intercropping systems are an important cropping strategy for sustainable agriculture in many countries as they create benefits in terms of better utilisation of soil resources, weed control and yield diversification. In Lithuania, combinations of legumes and non-legumes are a widely spread practice and several studies have been published on the subject, e.g., pea–spring cereal intercropping systems [15,16].

Red (*T. pratense* L.) and white clover are most often under sown with cereals. In order to increase the services provided by plants and their applicability in greening technologies (cover and catch crops, mixer, strip, relay intercropping systems, etc.), other types of forage legumes have been studied and adapted. Egyptian is a high-yielding, nutritious, cool-season forage crop that can grow on a wide range of soils, though it prefers fertile [17,18]. Egyptian clover can withstand some drought and short periods of waterlogging [19]. This type of clover has a short growing season, therefore, there is a wider range for its application compared to perennial clover.

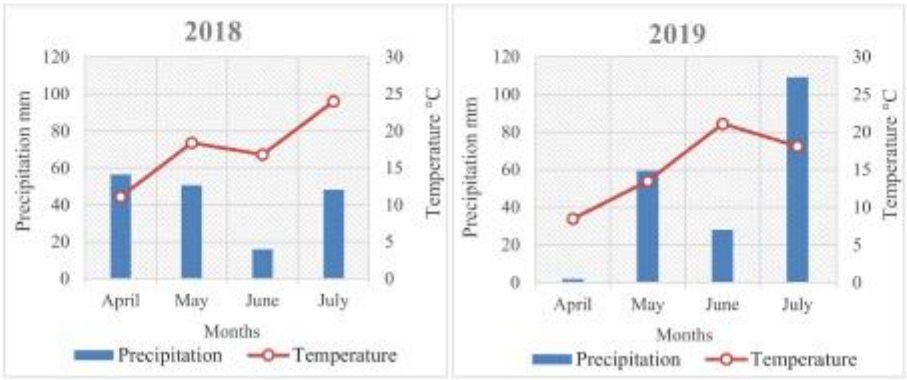
Black medick is a self-seeding legume that has potential for pasture, green manure, cover cropping, intercropping, and phytoremediation throughout temperate and subtropical regions of the world. It is grown both for agronomic and environmental benefits [20]. More recently, black medick has been recognised for its heavy metal tolerance [21]. Its root leachates provide selective allelopathic suppression of weed growth [22]. The use of a self-seeding legume may be a solution to avoid the cost of seeding cover crops annually [23]. However, black medick can also spread like a weed [24]. Nitrogen fertiliser suppresses medick growth, so black medick cover would be beneficial only in low N or organic farming systems [25]. The aim of this study was to determine yield formation regularities and the yield and plant competition effects in different relay intercropping systems, namely, oat–black medic, oat–white clover and oat–Egyptian clover in clay loam Cambisol under organic farming conditions.

2. Material and Methods

2.1. Experimental Site

Field experiments were conducted at the Joniškėlis Experimental Station of the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry in the northern part of Central Lithuania's lowland. The soil of the experimental site is *Endocalcari Endohypogleyic Cambisol*, whose texture is clay loam on silty clay with deeper lying sandy loam. The topsoil (0–25 cm) is close to neutral (pH 6.1), medium in phosphorus (P_2O_5 146 mg kg^{-1}), high in potassium (K_2O 276 mg kg^{-1}) and moderate in humus (2.54%).

During plant development and growth in 2018, April was the wettest, however a similar amount of rainfall fell in May, July and August (Figure 1a). April and May were quite abundant in humidity, heat and sunlight which led to good plant development in the first stages of oat growth. In contrast, precipitation was considerably lesser compared to the standard climate normal (SCN) average data resulted in slower plant development. The year 2019 was slightly wetter and the monthly distribution of precipitation was significantly more even than 2018. In 2019, April was distinguished by a very low rainfall (Figure 1b). The drought, which began in the first 10-day period of April and extended to the end of May. A more abundant amount of precipitation fell only in the third 10-day period of May after which more intensive growth of the aboveground mass of plants began. June was unusually hot, and July was exceptionally wet.



(a) (b)

Figure 1. Distribution of monthly (April–July) precipitation and average temperature over 2018 (**a**) and 2019 (**b**) at Joniškėlis Experimental Station of the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry.

2.2. Experimental Design, Plant Sampling and Analysis

Two analogous field experiments were established and carried out in 2018 and 2019 in separate areas of the same field. The following experimental design was used for monocrops and relay intercropping systems: (1) Oat (O; cultivar 'Migla DS'); (2) black medick (BM; cultivar 'Arka 133 DS')); (3) white clover (WC; cultivar 'Nemuniai'); (4) Egyptian clover (EC; cultivar 'Cleopatra'); (5) oat–black medick (O+BM); (6) oat–white clover (O+WC); (7) oat–Egyptian clover (O+EC). The oat was sown on 23 April 2018 and 16 April 2019 at a seeding rate of 450 seeds m^{-2} using a drill at a 3 cm depth. The forage legume species were intercropped in oats on 25 April 2018 and 16 April 2019 at a seed rate of 50 seeds m^{-2}. The forage legume seeds were sown at a 2 cm depth using a drill. The experiment was laid out in a one-factor randomised complete block design in four replications and individual plot size was 6 × 20 m. Crops were cultivated according to organic management practices.

At full germination, the oats and forage legumes plants were accounted in 0.25 m^2 plots, in four places per plot. In order to evaluate the growth patterns, of plants, the aboveground mass of oat, forage legumes and weeds were determined when oats reached the flowering (BBCH 61–63), grain development (BBCH 71–73), and ripened grain (BBCH 87–89) growth stages. Sampling of aboveground biomass occurred at four randomly chosen squares of 0.25 m^2 in each plot, which were cut to ground level and weighed on each date. The aboveground dry matter (DM) mass was determined (dried to a constant weight at 105 °C in a forced-air oven), of oat, forage legumes, weeds and subsample values from each plot were averaged.

The oat crop was harvested, at complete maturity stage (plot size 2.3 × 18.0 m) with a small combine harvester on 2 August 2018, and 4 August 2019. Before combining, 25 oat plants per plot were collected to determine the number of panicles per unit area (panicle m^{-2}), number of grains per panicle (grain per panicle) and grain weight per panicle (g) of oats. Grain samples (1 kg) were taken from each plot for the determination of 1000-grain weight (TGW) and grain DM content. Oat grain and straw yield were measured by weighing. The grain yield was converted to standard moisture (14%) and straw to DM. Competitive performance (CP) was expressed as the percent reduction in aboveground dry mass as follows: $CP_o = [(P_{fl/s} - P_{fl/t})/ P_{fl/s}] \times 100$; where CPo is the relative competitive ability of the oat; $P_{fl/s}$ is the dry mass of the forage legume grown alone (control) and $P_{fl/t}$ is the mass of the forage legume grown in intercrop.

Oat grain and forage legume aboveground mass samples collected at the oat ripened grain stage were dried, milled and analysed for nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) content. The concentration was evaluated in the sulphuric acid digestates. Plant samples for N determination were analysed using the Kjeldahl method with a Kjeltec system 1002 (Foss Tecator, Hoganas, Sweden). The concentration of P was quantified spectrophotometrically by a coloured reaction with ammonium molybdate-vanadate at a wavelength of 430 nm on a Cary 50 UV-Vis spectrophotometer (Varian Inc., Palo Alto, CA, USA). Respective K concentration was evaluated by atomic absorption spectrometry with an Analyst 200 (Perkin Elmer, Waltham, MA, USA) in accordance with the manufacturer's instructions.

2.3. Statistical Analysis

The data were statistically processed using three-factor (year, assessment time and intercrop) for aboveground mass of oat, perennial legume and weed and two-factor (year and intercrop) for grain yield and its component of oat, nutrition concentration and content analysis of variance as well as correlation and regression methods. The data were analysed when the factual Fisher criterion (F_{fact}) was higher than the theoretical one (F_{theor}). The significance of differences among the treatment means was estimated at the 0.05 probability levels. Interrelationships among aboveground mass of weeds, forage legumes and oats in monocrops and intercropping systems and among P in oats grain and legume aboveground mass were estimated. Simple linear regression (SLR) was applied to the data. Statistical analysis of the experimental data was performed using the ANOVA version 3.1 software and STAT_ENG version 1.5 from the programme package SELEKCIJA [26].

3. Results

3.1. Oat and Forage Legume Mass

Statistical analysis showed that the oat aboveground dry mass yield was significantly ($p < 0.01$) influenced by interaction of year and assessment time (Table 1). The relay intercropping systems did not have any significant effect on the yield of the aboveground oat mass.

The first assessment of the aboveground mass of plants was performed at the beginning of oat flowering and did not differ significantly between the years. The assessment of the aboveground mass of oats during oat grain development revealed that the intensity of the aboveground mass increase of oats was as follows: in 2018 to 18.1% and in 2019 to 84.2%, compared to the first assessment. In general, a significantly higher aboveground mass of oats was found during grain development in 2019, compared to 2018. The increase in the aboveground mass of oats in relay intercrop has been less pronounced (grain development stage) (Table 2). During the fully ripe stage of oats grain, the changes in their aboveground mass were inconsistent (compared to the grain development stage). In 2019, the DM yield of oat aboveground mass was less compared to the second assessment; however, it was significantly greater on average compared to the corresponding data for 2018. In both years, the yields of oats and oats intercropped with legumes did not differ.

Table 1. Probability (p) level of factors for aboveground mass of oat, legumes and weeds.

Factor/Treatment	Aboveground Mass		
	Oat	Legumes	Weeds
Year (Y)	<0.01 **	<0.01 **	<0.01 **
Assessment time (Ta)	<0.01 **	<0.01 **	<0.01 **
Intercrop (Ic)	n.s.	<0.01 **	<0.01 **
Interaction Y × Ta	<0.01 **	<0.01 **	<0.01 **
Interaction Y × Ic	n.s.	<0.01 **	<0.01 **
Interaction Ta × Ic	n.s.	<0.01 **	<0.01 **
Interaction Y × Ta × Ic	n.s.	<0.01 **	<0.01 **

**—differences significant at 99% probability levels, n.s.—no significant.

Table 2. The variation in the aboveground mass (kg DM ha^{-1}) of oat during oat reproductive periods in 2018 and 2019.

Treatment	2018			2019		
	Oat Reproductive Growth Stage (BBCH)					
	Flowering (61–63)	Grain Development (71–73)	Ripened Grain (87–89)	Flowering (61–63)	Grain Development (71–73)	Ripened Grain (87–89)
O	4733	5154	5714	6047	10,138	8283
O+BM	4681	5538	5739	5612	10,514	8219
O+WC	4595	5842	5469	5423	9930	8023
O+EC	5096	6023	5729	5076	10,237	8048
Interaction Y × Ic	4776 a	5639 ab	5663 b	5540 ab	10,205 c	8143 c

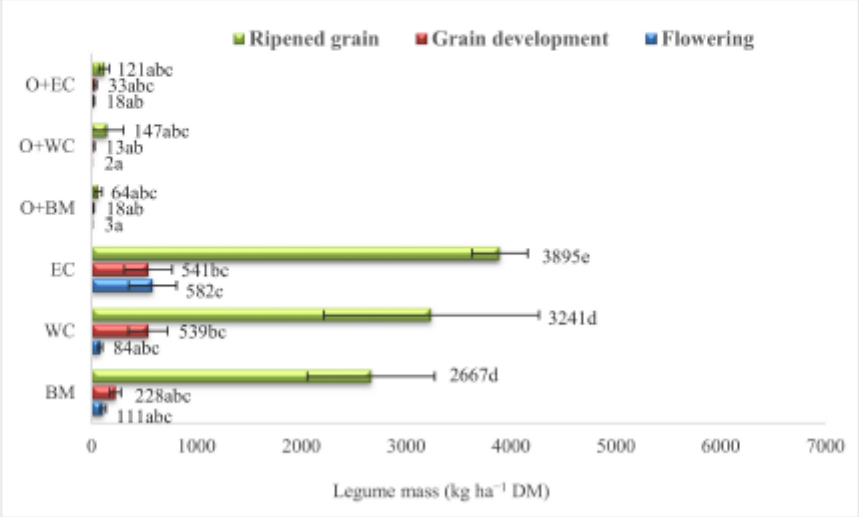
O—oat monocrop; intercropping systems: O+BM—oat–black medick, O+WC—oat–white clover, O+EC—oat–Egyptian clover; means followed by the same letters are not significantly different at $p \leq 0.05$.

The legume aboveground mass yields were influenced by the interaction of all three factors (year, assessment time and treatment, Table 1). During oat flowering, the legume in oats–forage legume intercropping systems did not have any negative effect on the yield of oat aboveground mass in either year (Figure 2). According to the data recorded for 2018, the aboveground mass of legumes was 2.2 times higher on average and that of weeds was 70.6% lower on average compared to 2019. In both years, the aboveground mass was significantly higher for EC when grown as a monocrop compared to other legumes.

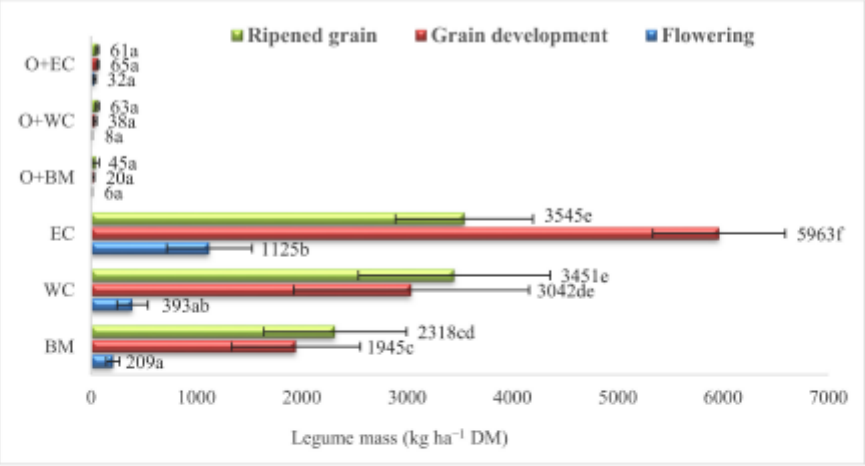
During oat grain development stage, the aboveground mass of the legume monocrop increased most in 2018 (4.1 times) compared to 2019 (2.7 times). In both years, the aboveground mass of legumes grown with oats increased similarly (2.7–2.8 times) compared to the first assessment. The mass of different legume species grown in the sole crop and together with oats varied significantly. In terms of the aboveground mass yield, the legumes grown as monocrops ranked as follows: EC > WC > BM. The variations between the yields of these species of legumes were significant. The aboveground mass yield of legumes grown as monocrops was greater both years compared to those grown together with oats.

As plants matured, the assimilated materials accumulated in the aboveground mass were transported from leaves to seeds. The oat aboveground mass dried up, exposing the lower crop level. In 2018, during the reproductive period, the mass of perennial legumes increased both in the monocrop and legumes intercropped with oats, with the exception of EC. In 2019, the aboveground mass of legumes increased by 4.7 times on average, this was due to better weather conditions. While assessing different legume species, it was found that the lowest yield of the aboveground mass was that of BM, and the highest was of WC

and EC. There was no significant difference between the aboveground mass yields of the latter species, either as monocrops or intercrop.



(a)



(b)

Figure 2. Forage legume aboveground mass during oat reproductive periods in 2018 (**a**) and 2019 (**b**). BM—black medick, WC—white clover, EC—Egyptian clover; intercropping systems: O+BM—oat–black medick, O+WC—oat–white clover, O+EC—oat–Egyptian clover; means followed by the same letters are not significantly different at $p \leq 0.05$.

3.2. Oat and Forage Legume Competition

Competitive oat (CP_o) results in the oat–forage legume relay intercrop were expressed as a percentage decrease in the aboveground mass of forage legume (Table 3). The competi-

tive performance was significantly ($p < 0.01$) influenced by year. The relay intercropping systems assessment time did not have any significant effect on this indicator. In all assessment time, a strong decrease (91.4–98.9%) in the aboveground mass of forage legumes was found. On average, in 2019, the CP value was significantly 2.5 percentage points lower than in 2018. Plant competition in relay intercrop depended on the influence of meteorological conditions on the parallel germination and growth of oats and forage legumes.

Table 3. Competitive performance (CP_O %) of oats in oat–forage legume relay intercropping (mean ±).

Intercrop	2018			2019		
	Oat Reproductive Stage			Oat Reproductive Stage		
	Flowering	Grain Development	Ripened Grain	Flowering	Grain Development	Ripened Grain
O+BM	97.1 ± 1.31	98.9 ± 0.47	98.0 ± 0.81	96.3 ± 2.89	91.4 ± 3.17	97.7 ± 0.53
O+WC	97.7 ± 0.67	98.5 ± 057	98.1 ± 0.28	96.2 ± 2.98	97.5 ± 2.08	95.7 ± 2.11
O+EC	97.0 ± 1.07	98.9 ± 0.17	98.2 ± 0.34	95.9 ± 2.33	92.5 ± 3.95	97.0 ± 0.65
Mean of year			98.1 a			95.6 b

Intercropping systems: O+BM—oat–black medick, O+WC—oat–white clover, O+EC—oat–Egyptian clover; means followed by the same letters are not significantly different at $p \leq 0.01$.

The growth intensity of the aboveground mass of forage legumes varied from year to year (Figure 3). Forage legumes grew most intensively in the following oat growth stages: in 2018 (BBCH 61–73), and in 2019 (BBCH 71–89). This did not affect the legume yield. The growth of legumes was influenced not only by oat productivity (competition), but also by favourable environmental conditions. Under favourable conditions, the legumes easily adapted to the growth rhythm and intensity of oats. In extensive intercultural systems, the yield of legumes is low and the main growth takes place after the oats are harvested.

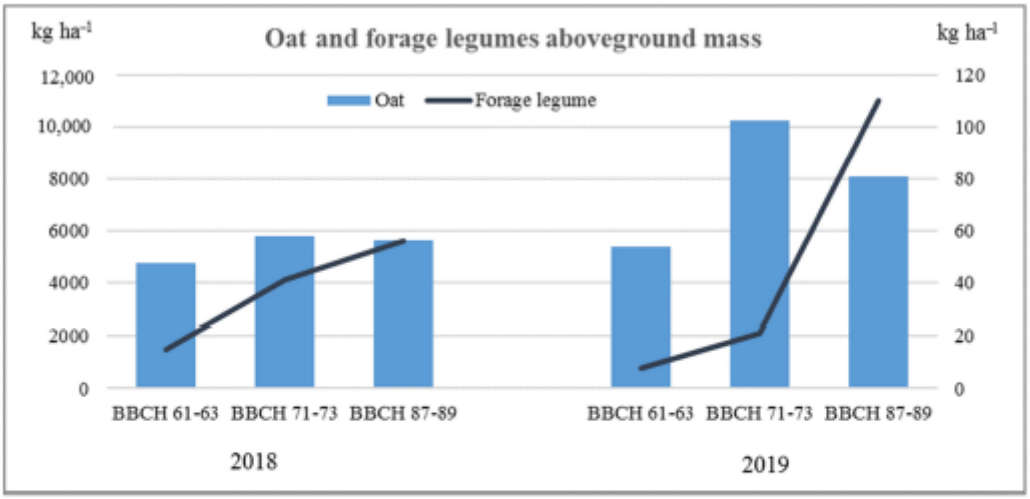
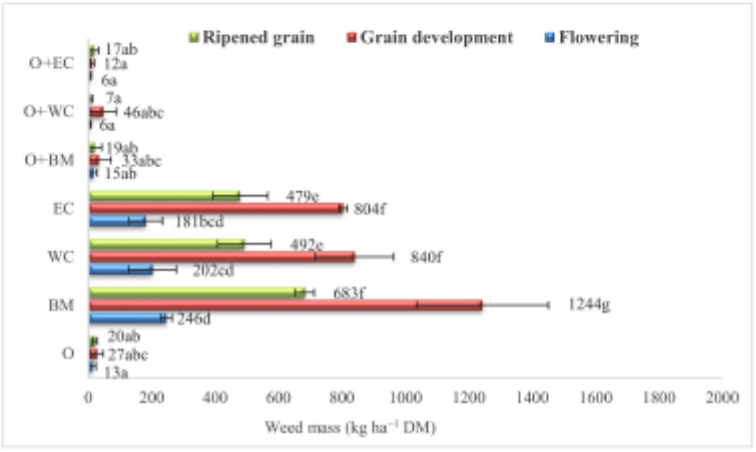


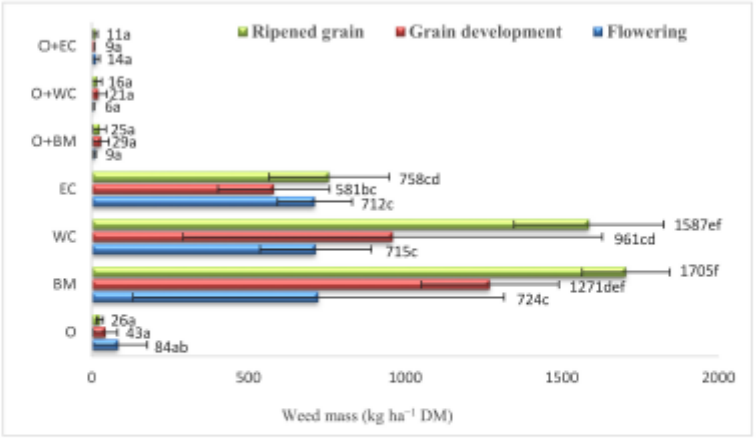
Figure 3. Dynamics of oat and forage legume aboveground mass change during the vegetation period in intercropping systems (average data). Oats growth stages: (BBCH 61–63) flowering, (BBCH 71–73) grain development, (BBCH 87–89) ripened grain.

3.3. *Weeds Mass*

Statistical analysis results showed that the legume aboveground mass yields were influenced by the interaction of all three factors (year, assessment time and treatment, Table 1). During oat flowering the greatest weed mass was found in all types of forage legume sole crops (Figure 4). During grain development, the weed mass increased 4.5 and 1.3 times (in 2018 and 2019, respectively) compared to the flowering stage. In both years, a significantly greater weed mass was found in legume monocrops, being inversely proportional to the legume mass. The greatest weed mass was found in the BM monocrop. In oat–forage legume intercropping systems the mass of weeds was significantly lower compared to the legume monocrops.



(**a**)



(**b**)

Figure 4. Weed aboveground mass during oat reproductive periods in 2018 (**a**) and 2019 (**b**).BM—black medick, WC—white clover, EC—Egyptian clover; intercropping systems: O+BM—oat–black medick, O+WC—oat–white clover, O+EC—oat–Egyptian clover; means followed by the same letters are not significantly different at $p \leq 0.05$.

In 2018, weed mass decreased compared to the second record (ripened grain). Significantly higher weed mass was found in legume monocrops and depended on the yield of aboveground mass of legumes. Meanwhile, the weed mass in 2019 varied less consistently. The increase in weed mass was greatest in legume monocrops. In both years, the weed mass decreased most in the oat monocrop and in O+BM and O+WC relay intercropping systems (compared to the second record). Hereupon, the weed mass tended to increase in growing oats intercropped with annual EC, compared to the second record. This species of annual clover matures earliest and exposes the soil surface, thus creating favourable conditions for weeds to grow.

According to the data from both study years, significant competitive relationships between the bottom level plants (legumes and weeds) and oat in intercropping systems were established at the beginning of oat reproduction. A moderate inverse linear relationship was obtained between the aboveground mass of oats and the mass of lower-level plants (forage legumes and weeds) (Figure 5). There were no consistent relationships during oat maturation. In intercropping systems, the correlations of weed aboveground mass with forage legume mass were weak and nonsignificant at all measurement dates.

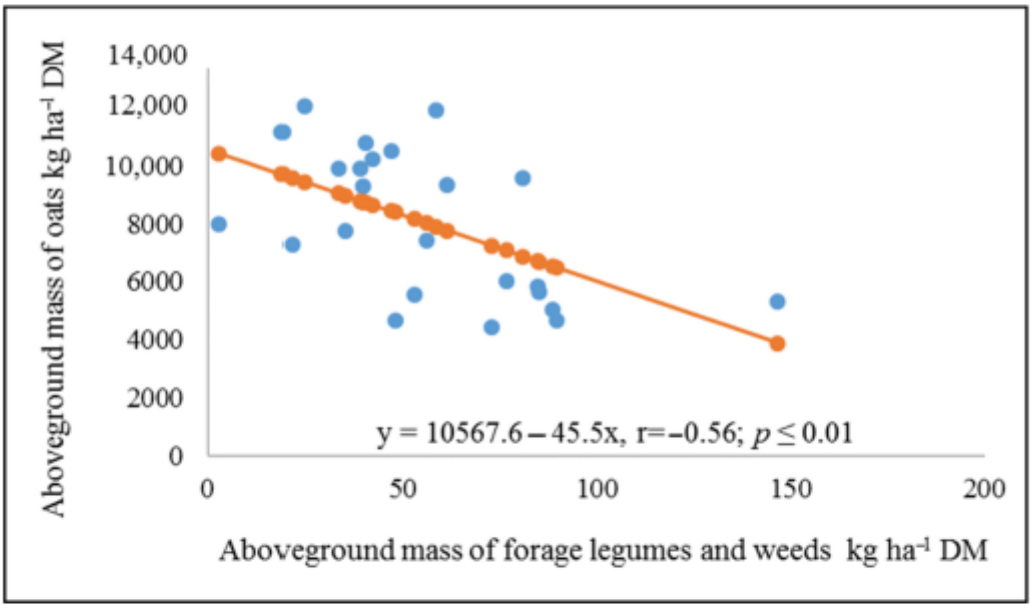


Figure 5. Dependence of aboveground mass yield of oats (grain development stage) on the total aboveground mass of forage legumes and weeds in oats–forage legume intercropping systems.

3.4. Oat Grain Yield and Its Components

Our results showed that the yield and its components were most affected by the meteorological conditions of the years. The influence of the forage legumes was not significant. Having compared the data for different growth periods it was found that the number of plants and panicles in 2019 was lower, and the number and weight of grains per panicle and TGW were higher compared to the data for 2018 (Table 4).

Table 4. The variation in grain yield components of oat growing with or without forage legumes.

Mono- and Intercrops	Crop Number (Plant m^{-2})		Number of Panicles (Panicle m^{-2})	Grain Number per Panicle	Grain Weight per Panicle g	TGW g	Grain Yield Kg ha^{-1}
	Forage Legumes	Oats					
			2018				
O		411	418	44.3	1.46	32.3	2889 ab
O+BM	33	408	445	34.3	1.11	32.9	2900 ab
O+WC	32	413	425	37	1.16	32.9	2932 ab
O+EC	29	396	451	36	1.15	32.7	3058 b
Mean	31 a	407 b	434 b	37.9 a	1.22 a	32.7 a	2945
			2019				
O		339	371	55	1.99	38.1	4087 b
O+BM	38	334	380	57	2.01	38.5	4075 ab
O+WC	42	328	382	55	2.02	39.2	3974 ab
O+EC	49	329	348	57	2.02	38.9	3892 ab
Mean	43b	333 a	370 a	55.8 b	2.01 b	38.7 b	4007

O—oat, BM—black medick, WC—white clover, EC—Egyptian clover; intercrop systems: O+BM—oat–black medick, O+WC—oat–white clover, O+EC—oat–Egyptian clover; means followed by the same letters are not significantly different at $p \leq 0.05$.

This was due to meteorological conditions in 2019 (Figure 1a). As far as legume and oat intercropping was concerned, in 2018, the number and weight of grains per oat panicle were significantly reduced compared to oat monocropping. In 2019, less favourable plant germination conditions led to a thinner oat crop and less consistent productivity indicators. Productivity rates of oat panicles were significantly higher in the thinner crop compared to 2018. There was no significant difference between treatments. The change in yield was due to the different distribution of productivity indicators.

3.5. Nutrient Content in Oat Grain and Legume Biomass

Oat grains were accumulated 15.0–15.80 and 20.79–21.54 g N kg^{-1} DM, 3.29–3.64 and 3.12–3.33 g P kg^{-1} DM in 6.62–7.09 and 3.04–3.30 g K kg^{-1} DM in 2018 and 2019, respectively. Concentration of nutrients (NK) in grains depended on the year ($p < 0.01$), legumes had no significant effect. The amount of nutrients accumulated in the oats grain was influenced by the yield. Intercropping of forage legumes with oats and annual conditions influenced the content of nutrients accumulated in grain. In 2019, the N concentration in grain was 38.7% higher on average, and nitrogen content accumulated in the yield was nearly two times higher compared to 2018. Due to the influence of the year, phosphorus concentration in oat grain varied slightly. In 2018, significantly more potassium was used to grow 1 kg of oat grain compared to 2019. These study data indicated a tendency for annual O+EC intercropping systems to increase competition with oats for nutrients, in contrast to perennial forage legumes.

More pronounced differences in NPK concentrations were found in the aboveground mass of forage legumes (Table 5). In 2018, significantly lesser nitrogen concentrations were found in the EC mass when intercropped with oats compared to other forage legume species, regardless of their cultivation method (in mono- and intercropping). In 2019, a significantly higher concentration in the WC aboveground mass was found in the O+WC relay intercrop compared to the monocrop. The greatest aboveground mass P concentration was measured in EC (2018) and BM (2019), regardless of the cultivation method. Correlation analysis showed that with increasing P concentration in grain of oat, its value in aboveground mass of forage legume decreased as well (Figure 6). The most adverse effects were found for EC. In 2019, favourable for plant growth, this relationship was nonsignificant ($r = -0.49$).

Table 5. Amount of nutrients accumulated in aboveground mass of forage legumes.

Treatment	Concentration of Nutrients, g kg^{-1} DM			Accumulated Nutrients, kg ha^{-1} DM		
	N	P	K	N	P	K
			2018			
BM	28.10 bc	2.84 ab	22.77 ab	65.13	6.58	52.32
WC	28.87 bcde	2.95 ab	32.40 cd	117.01	10.22	111.48
EC	28.50 bc	3.29 d	30.37 c	100.72	11.65	106.32
O+BM	27.80 b	2.99 abcd	40.17 def	1.33	0.14	1.60
O+WC	27.83 b	2.98 ab	41.27 f	1.75	0.19	2.61
O+EC	22.20 a	3.29 cd	33.87 cdef	1.36	0.20	2.06
			2019			
BM	30.9 bcde	2.97 ab	27.93 bc	82.51	7.95	74.51
WC	28.87 bcde	2.75 a	34.13 cdef	96.36	8.84	110.63
EC	29.63 bcde	2.88 ab	26.90 abc	115.74	11.25	105.12
O+BM	31.75 cde	3.10 bcd	20.93 a	2.09	0.20	1.33
O+WC	32.68 e	2.88 ab	31.68 c	4.86	0.43	4.56
O+EC	29.63 bcde	2.88 ab	26.90 abc	3.63	0.35	3.31
			Mean of I c			
BM				73.82 d	7.26 b	63.41 b
WC				106.69 c	9.53 c	105.72 c
EC				108.23 c	11.45 d	111.05 c
O+BM				1.71 a	0.17 a	1.47 a
O+WC				3.3 a	0.31 a	3.59 a
O+EC				2.50 a	0.28 a	2.69 a

BM—black medick, WC—white clover, EC—Egyptian clover; intercrop systems: O+BM—oat–black medick, O+WC—oat–white clover, O+EC—oat–Egyptian clover; N—nitrogen, P—phosphorus, K—potassium; means followed by the same letters are not significantly different at $p \leq 0.05$.

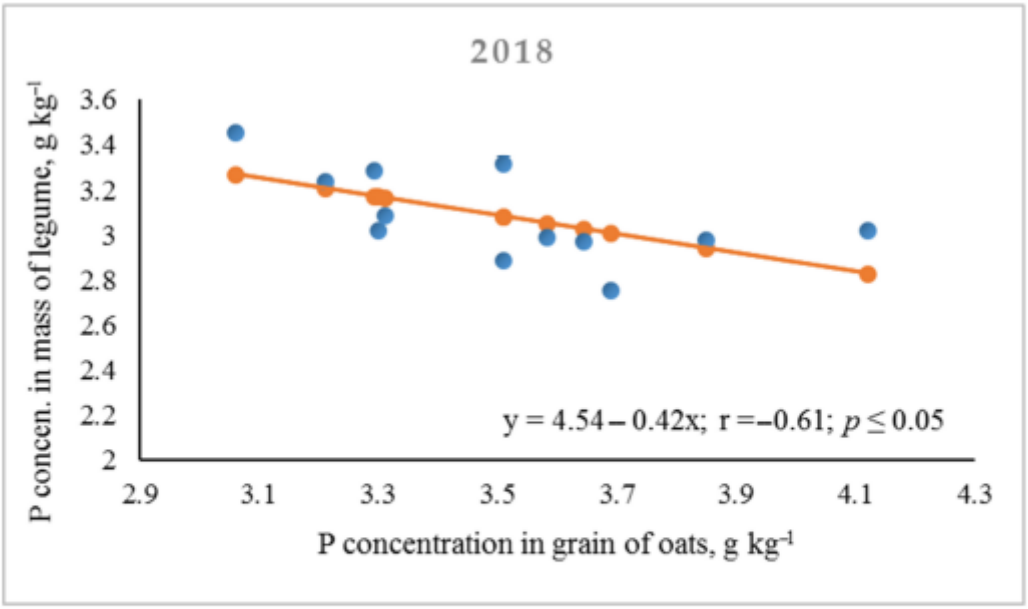


Figure 6. Dependence of P in grain yield of oat (ripened grain stage) on the P of aboveground mass of forage legume in intercropping systems.

The highest potassium concentration was found in the WC biomass, regardless of the year and cultivation method. Black medick grown in monocrop (2018 and intercrop (2019) also EC (regardless of their cultivation method in 2019) had significantly less concentration of K in aboveground mass.

The significant influence of forage legume cultivation methods (in mono- and intercrop) on nutrient accumulation in aboveground mass has been identified ($p < 0.01$). Having compared different legume monocultures, BM was found to have accumulated the lowest nitrogen amount in the aboveground mass. Forage legumes intercropped with oats demonstrated low nitrogen accumulation (1.33–1.75 kg ha^{-1} DM in 2018 on average, and 2.09–4.86 kg ha^{-1} in 2019), there was no significant difference between legume species. A very low phosphorus amount was accumulated in the legume mass in relay intercropping systems. WC and EC, grown as monocrops, demonstrated higher phosphorus content in biomass. Of the forage legumes grown in monoculture, BM accumulated the lowest levels of potassium (as well as nitrogen and phosphorus), and WC accumulated the highest ones. Similarly, the potassium content varied in the aboveground mass of other forage legumes intercropped with oats.

4. Discussion

Oats held the dominant position in oat–forage legume relay intercropping systems. The regularities of oat yield formation were determined by meteorological conditions and self-regulatory functions of crop productivity. In 2019, underdeveloped reproductive stems were compensated by a higher number of grains and their weight compared to a denser 2018 crop. Our studies suggest that the forage legume in relay intercropping systems may have a negative effect on later-emerging crop components (grain number and weight); nevertheless, it did not reduce yield. The data are consistent with those of other researchers who argue that legumes in relay intercropping systems have no significant effect on cereal yield [8]. According to Gaudin et al. [11] red clover can compete with cereals and even reduce their yield.

Studies of the dynamics of oat aboveground mass accumulation showed that the accumulation of DM took place most intensively in 2019 and continued even after the flowering of cereals. This year was characterised by cool weather and sufficient rainfall. The period from flowering to the beginning of maturity, when there is enough moisture, nutrients and maximum amount of solar energy, is of great importance for plant productivity [27]. During oat maturation (mid-July to early August), the redistribution of accumulated assimilated materials in plants resulted in a decrease (2019) or a marginal variation (2018) in the aboveground mass of oats. A number of researchers have observed a decline in cereal competition at the end of the plant growth period [7]. During this period, favourable conditions are created for the plants of the lower crop level to grow. It is argued that the dominance of cereals over forage legumes is necessary to avoid cereal yield losses [28].

In relay intercrops, the aboveground mass of forage legumes began to form more intensively after heading of oats. Annual EC developed most intensively, demonstrating the highest mass. A previous study [7] indicated that the highest competition between spring wheat and annual Persian clover (*Trifolium resupinatum* L.) occurs when cereals are in the stem elongation stage (BBCH 31–32); the mass of annual clover decreases twice during the entire growth period. Contrary to Barilli et al. [10] and Sharpe et al. [24] the aboveground mass of BM was the lowest in intercrop. This may have been determined by the genetic diversity of the species and varietal characteristics. According to other researchers, BM and red clover competed best with winter wheat, in contrast to BM and WC [8]. Our studies concur with Bybee-Finley and Ryan [5] that the accumulation of forage legume mass in a cereal crop is minimal and most of the biomass is formed after cereal harvest. It is believed that forage legume mass increases six times during the post-harvest period [29]. Environmental variables such as soil type, precipitation quantity and distribution during the growing season and day length also have an effect on biomass accumulation [11]. Fertile clay loam soils have a higher supply of resources and lower

competition between plants compared to less fertile ones, where oats are usually grown. Clover is considered to be an under sown crop that poorly competes with cereals [30]. Our study substantiated this argument. In relay intercrops, WC, BM and EC were dominated by oats for all growing periods.

Under sown forage legumes establish in the lower crop level and compete with weeds. This is especially important in the second half of summer when an under sown clover with drying crop leaves covers the soil surface [11]. Plants and weeds compete for light, water and nutrient resources [31,32]. Den Hollander et al. [33] state that the relative growth rate is determined by the characteristics of clover, such as light extinction coefficient, light use efficiency and specific leaf area. It was determined that the fastest soil surface cover was demonstrated by Persian clover. [11] reported that forage legume species that produce a high yield of aboveground mass are considered to be effective competitors for local resources. The competitive properties of forage legumes also depend on the sowing rate and sowing time. Forage legumes under sown in cereals can suppress weeds, however, legumes can compete with cereals too [33]. Verret et al. [34] indicated that the use of legume companion plants generally seemed to enhance weed control without reducing crop yield. Our research shows that oat was the most weed suppressive, and the forage legumes in relay intercropping systems only enhanced their effect as oats matured. Egyptian clover competed best with weeds, as confirmed by other researchers [35]. The positive effect of low-mass forage legumes on weed reduction cannot be assessed unequivocally. Many weed species are adapted to spread in cereal crops. Therefore, as cereals mature and forage legumes grow intensively, some of the weeds have already matured their seeds and dried out.

In our studies, forage legumes accumulated low N, which is confirmed by other researchers [30]. A decrease in light and water resources under the cereal canopy may also directly reduce nodule formation and N fixation in clover species [36]. On the other hand, forage legumes that are intercropped with cereal also fix a greater proportion of nitrogen than legumes grown in monoculture [13]. Nitrogen uptake in under sown crops is affected by competition with main crops [37]. It is proposed that the competition for N can be detrimental when cereals and legume catch crops are sown simultaneously in spring [8]. Additionally, catch crops generally seem more suitable as post crops for P [38]. Plant species with different growth cycles can ensure a more efficient use of environmental resources. We can say that, in our studies, the drought after sowing postponed the competition for resources between the intercropped plants and oats. Forage legumes, that produced a small aboveground mass, accumulated low N levels, which is confirmed by other researchers. Our research has shown that EC with a growth period similar to oats can compete more intensively with oat for resources. Meanwhile, the intensity of WC and BM nutrient uptake increased with maturation of oats and the decrease in nutrient utilisation by the oat. The high yield of intercropping is connected to better exploitation of soil resources, and deep rooting of some species is a determinant factor for complementarity in competition for soil resources [9]. They may also have the ability to absorb different quantities of nutrients and produce distinct root exudates (organic acids) resulting in benefits both for the soil and organisms [10]. Finally, one crop can provide resources for the other one with a positive interspecific interaction, which is at the basis of facilitation processes [10].

5. Conclusions

Oats dominated in oat–forage legume relay intercropping systems. Meteorological conditions of the year and crop self-regulation functions had a significant impact on the yield components of oats and the regularities of aboveground mass formation. This determined the intensity of aboveground mass formation of forage legumes in relay intercrop. Forage legumes grew most intensively in the following oat growth stages: In 2018 (BBCH 61–73), and in 2019 (BBCH 71–89). Annual EC demonstrated the earliest aboveground mass formation. Oat competitive performance (CP_o), which is characterised by forage legumes aboveground mass reduction compared to monocrops, were 91.4–98.9%. As the

oats ripened, its competitiveness tended to decline. In oat–forage legume intercropping systems, the mass of weeds was significantly lower, compared to the legume monocrops. The total mass of forage legumes and weeds during their period of intensive growth was negatively correlated with the aboveground mass yield of oats (BBCH 71–73). Oats and forage legumes competed for P, but N and K accumulation in biomass was not significantly affected Legumes in intercrops accumulated a small amount of nutrients (N: 1.33–4.86 kg ha^{-1} DM; P: 0.14–0.43 kg ha^{-1} DM and K: 1.33–4.56 kg ha^{-1} DM). The yield of forage legumes, as service crop, and amount of nutrients stored were still insufficient and must be left to grow in autumn.

Author Contributions: Conceptualization, V.G. and A.A.; methodology, A.A.; software, V.G. and A.A.; validation, V.G., A.A. and J.C.; formal analysis, A.A.; J.C.; investigation, V.G. and A.A.; resources, V.G.; J.C.; data curation, A.A.; writing—original draft preparation, V.G.; A.A.; J.C.; writing—review and editing, V.G.; A.A. and J.C.; visualization, A.A.; supervision, V.G.; project administration, funding acquisition. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Data Availability Statement: Our institution does not have a data collection database.

Acknowledgments: This research was part of the long-term programme 'Biopotential and quality of plants for multifunctional use' implemented by the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry. We also acknowledge the support provided by all technical personnel for fieldwork and laboratory analyses.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Bedoussac, L.; Journet, E.-P.; Hauggaard-Nielsen, H.; Naudin, C.; Corre-Hellou, G.; Jensen, E.S.; Prieur, L.; Justes, E. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **2015**, *35*, 911–935. [CrossRef]
2. Brooker, R.W.; Bennett, A.E.; Cong, W.F.; Daniell, T.J.; George, T.S.; Hallett, P.D.; Hawes, C.; Iannetta, P.P.M.; Jones, H.G.; Karley, A.J.; et al. Improving intercropping: A synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytol.* **2014**, *206*, 107–117. [CrossRef] [PubMed]
3. Willey, R.W. Intercropping—Its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. *F. Crop. Res.* **1979**, *32*, 1–10.
4. Hauggaard-Nielsen, H.; Jørnsgaard, B.; Kinane, J.; Jensen, E.S. Grain legume-cereal intercropping: The practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renew. Agric. Food Syst.* **2008**, *23*, 3–12. [CrossRef]
5. Bybee-Finley, K.A.; Ryan, M.R. Advancing Intercropping Research and Practices in Industrialized Agricultural Landscapes. *Agriculture* **2018**, *8*, 80. [CrossRef]
6. Wyngaarden, S.L.; Gaudin, A.C.M.; Deen, W.; Martin, R.C. Expanding Red Clover (*Trifolium pratense*) Usage in the Corn–Soy–Wheat Rotation. *Sustainability* **2015**, *7*, 15487–15509. [CrossRef]
7. Wanic, M.; Mysliwiec, M.; Orzech, K.; Michalska, M. Nitrogen content and uptake by spring wheat and undersown Persian clover depending on plant density. *J. Elem.* **2016**, *21*, 231–246. [CrossRef]
8. Amossé, C.; Jeuffroy, M.-H.; Mary, B.; David, C. Contribution of relay intercropping with legume cover crops on nitrogen dynamics in organic grain systems. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* **2014**, *98*. [CrossRef]
9. Hassan, A.; Dresbøll, D.B.; Rasmussen, C.R.; Lyhne-Kjærbye, A.; Nicolaisen, M.H.; Stokholm, M.S.; Lund, O.S.; Thorup-Kristensen, K. Root distribution in intercropping systems—A comparison of DNA based methods and visual distinction of roots. *Arch. Agron. Soil Sci.* **2019**, *2*, 1476–3567. [CrossRef]
10. Barilli, E.; Jeuffroy, M.H.; Gall, J.; Tourdonnet, S.; Médiène, S. Weed response and crop growth in winter wheat–lucerne intercropping: A comparison of conventional and reduced soil-tillage conditions in northern France. *Crop. Pasture Sci.* **2017**, *68*, 1070–1079. [CrossRef]
11. Gaudin, A.C.M.; Westra, S.; Loucks, C.E.S.; Janovicek, K.; Martin, R.; Deen, B. Improving Resilience of Northern Field Crop Systems Using Inter-Seeded Red Clover: A Review. *Agron. J.* **2013**, *3*, 148–180. [CrossRef]
12. Arlauskienė, A.; Cesevičienė, J.; Velykis, A. Improving mineral nitrogen control by combining catch crops, fertilisation, and straw management in a clay loam soil. *Acta Agric. Scand. B Soil Plant Sci.* **2019**, *69*, 422–431. [CrossRef]
13. Schipanski, M.E.; Drinkwater, L.E. Nitrogen fixation of red clover interseeded with winter cereals across a management-induced fertility gradient. *Nutr. Cycle. Agroeco.* **2011**, *90*, 105–119. [CrossRef]
14. Notaris, C.D.; Rasmussen, J.; Sørensen, P.; Melander, B.; Olesena, J.E. Manipulating cover crop growth by adjusting sowing time and cereal interrow spacing to enhance residual nitrogen effects. *Field Crops Res.* **2019**, *234*, 15–25. [CrossRef]

15. Arlauskienė, A.; Maikštėnienė, S.; Šarūnaitė, L.; Kadžiulienė, Ž.; Deveikytė, I.; Žėkaitė, V.; Česnulevičienė, R. Competitiveness and productivity of organically grown pea and spring cereal intercrops. *Zemdirb. Agric.* **2011**, *98*, 339–348.
16. Šarūnaitė, L.; Deveikytė, I.; Arlauskienė, A.; Kadžiulienė, Ž.; Maikštėnienė, S. Pea and Spring Cereal Intercropping Systems: Advantages and Suppression of Broad-Leaved Weeds. *Pol. J. Environ. Stud.* **2013**, *22*, 541–551.
17. Kaur, A.; Kaur, K.P.; Kalia, A.; Rani, U.; Kahlon, J.G.; Sharma, R.; Malaviya, D.; Kapoor, R.; Sandhu, J.S. Generation of interspecific hybrids between *Trifolium vesiculosum* and *T. alexandrinum* using embryo rescue. *Euphytica* **2017**, *253*. [CrossRef]
18. Hannaway, D.B.; Larson, C. Berseem clover (*Trifolium alexandrinum* L.). In *Species Selection Information System*; Oregon State University: Corvallis, OR, USA, 2018.
19. Ismail, F.S.; Hassanen, S.A.A. Improvement of Egyptian Clover Yield and Quality by Using Bio and Organic Fertilizers in Newly Cultivated Saline Soil. *J. Soil Sci. Agric. Eng.* **2019**, *10*, 147–155. [CrossRef]
20. Boe, A.; Bortnem, R.; Johnson, P.J. Changes in weight and germinability of black medic seed over a growing season, with a new seed predator. *Proc. S. Dak. Acad. Sci.* **2016**, *95*, 105–117.
21. Amer, N.; Al Chami, Z.; Al Bitar, L.; Mondelli, D.; Dumontet, S. Evaluation of Atriplex halimus, Medicago lupulina, and Portulaca oleracea for phytoremediation of Ni, Pb, and Zn. *Int. J. Phyto.* **2013**, *15*, 498–512. [CrossRef]
22. Elsalahy, H.; Döring, T.; Bellingrath-Kimura, S.; Arends, D. Weed suppression in only-legume cover crop mixtures. *Agron. J.* **2019**, *9*, 648. [CrossRef]
23. Entz, M.H.; Thiessen Martens, J.R.; May, W.; Lafond, G.P. Black medic (*Medicago lupulina*) germplasm screening for use as a self-regenerating cover crop on the Canadian Prairies. *Can. J. Plant. Sci.* **2007**, *87*, 873–878. [CrossRef]
24. Sharpe, S.M.; Boyd, N.S.; Dittmar, P.J.; MacDonald, G.E. Control Recommendations for Black Medic (*Medicago lupulina*) Based on Growth and Development in Competition with Strawberry. *Weed Sci.* **2018**, *66*, 226–233. [CrossRef]
25. Döring, T.F.; Baddeley, J.A.; Brown, R.; Collins, R.; Crowley, O.; Cuttle, S.P.; Howlett, S.A.; Jones, H.E.; McCalman, H.; Pearce, B.D. *Using Legume-Based Mixtures to Enhance the Nitrogen use Efficiency and Economic Viability of Cropping Systems*; Project Report for DEFRA No. RD-3447; 2013.
26. Tarakanovas, P.; Raudonius, S. *Agronominių Tyrimų Duomenų Statistinė Analizė Taikant Kompiuterines Programas ANOVA, STAT, SPLIT-PLOT from the Package SELEKCIJA and IRRISTAT*; Lithuanian University of Agriculture: Akademija, Lithuania, 2003; p. 58.
27. Finney, D.M.; White, C.M.; Kaye, J.P. Biomass production and carbon/nitrogen ratio influence ecosystem services from cover crop mixtures. *Agron. J.* **2016**, *108*, 39–52. [CrossRef]
28. Andersen, M.K.; Hauggaard-Nielsen, H.; Weiner, J.; Jensen, E.S. Competitive dynamics in two-component intercrops. *J. App. Ecol.* **2007**, *44*, 545–551. [CrossRef]
29. Bergkvist, G.; Stenberg, M.; Wetterlind, J.; Båth, B.; Elfstrand, S. Clover cover crops under-sown in winter wheat increase yield of subsequent spring barley—Effect of N dose and companion grass. *Field Crop. Res.* **2011**, *120*, 292–298. [CrossRef]
30. Raudonius, S. Application of statistics in plant and crop research: Important issues. *Zemdirb. Agric.* **2017**, *104*, 377–382. [CrossRef]
31. Teasdale, J.; Brandsæter, L.; Calegari, A.; Neto, F.S. Cover Crops and Weed Management. In *Non-Chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology*; Upadhyaya, M.K., Blackshaw, R.E., Eds.; CABI International: Oxfordshire, UK, 2007; pp. 49–64.
32. Amosse, C.; Jeuffroy, M.H.; Celette, F.; David, C. Relay-intercropped forage legumes help to control weeds in organic grain production. *Eur. J. Agron.* **2013**, *49*, 158–167. [CrossRef]
33. Den Hollander, N.G.; Bastiaans, L.; Kropff, M.J. Clover as a cover crop for weed suppression in an intercropping design: II. Competitive ability of several clover species. *Eur. J. Agron.* **2007**, *26*, 104–112. [CrossRef]
34. Verret, V.; Gardarin, A.; Pelzer, E.; Médiène, S.; Makowski, D.; Valantin-Morison, M. Can legume companion plants control weeds without decreasing crop yield? A meta-analysis. *Field Crop. Res.* **2017**, *204*, 158–168. [CrossRef]
35. Ross, S.M.; King, J.R.; O'Donovan, J.T.; Spaner, D. Forage potential of intercropping berseem clover with barley, oat, or triticale. *Agron. J.* **2004**, *96*, 1013–1020. [CrossRef]
36. Silsbury, J.H. CO_2 exchange and dinitrogen fixation of subterranean clover in response to light level. *Plant Physiol.* **1981**, *67*, 599–602. [CrossRef] [PubMed]
37. Doltra, J.; Olesen, J.E. The role of catch crops in the ecological intensification of spring cereals in organic farming under Nordic climate. *Eur. J. Agron.* **2013**, *44*, 98–108. [CrossRef]
38. Liu, J.; Bergkvist, G.; Uléna, B. Biomass production and phosphorus retention by catch crops on clayey soils in southern and central Sweden. *Field Crop. Res.* **2015**, *171*, 130–137. [CrossRef]

plants

MDPI

Article

Soil Nitrate Nitrogen Content and Grain Yields of Organically Grown Cereals as Affected by a Strip Tillage and Forage Legume Intercropping

Aušra Arlauskienė [1], Viktorija Gecaitė [1], Monika Toleikienė [2], Lina Šarūnaitė [2,*] and Žydrė Kadžiulienė [2]

[1] Joniškelis Experimental Station, Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Joniškėlis, LT-39301 Pasvalys, Lithuania; ausra.arlauskiene@lammc.lt (A.A.); viktorija.gecaite@lammc.lt (V.G.)
[2] Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Institute of Agriculture, Instituto al. 1, Akademija, LT-58344 Kėdainiai, Lithuania; monika.toleikiene@lammc.lt (M.T.); zydre.kadziuliene@lammc.lt (Ž.K.)
* Correspondence: lina.sarunaite@lammc.lt

Abstract: Reducing tillage intensity and increasing crop diversity by including perennial legumes is an agrotechnical practice that strongly affects the soil environment. Strip tillage may be beneficial in the forage legume–cereals intercropping system due to more efficient utilization of biological nitrogen. Field experiments were conducted on a clay loam Cambisol to determine the effect of forage legume–winter wheat strip tillage intercropping on soil nitrate nitrogen ($N\text{-}NO_3$) content and cereal productivity in various sequences of rotation in organic production systems. Forage legumes (*Medicago lupulina* L., *Trifolium repens* L., *T. alexandrinum* L.) grown in pure and forage legume–winter wheat (*Triticum aestivum* L.) strip tillage intercrops were studied. Conventional deep inversion tillage was compared to strip tillage. Nitrogen supply to winter wheat was assessed by the change in soil nitrate nitrogen content ($N\text{-}NO_3$) and total N accumulation in yield (grain and straw). Conventional tillage was found to significantly increase $N\text{-}NO_3$ content while cultivating winter wheat after forage legumes in late autumn (0–30 cm layer), after growth resumption in spring (30–60 cm), and in autumn after harvesting (30–60 cm). Soil $N\text{-}NO_3$ content did not differ significantly between winter wheat strip sown in perennial legumes or oat stubble. Winter wheat grain yields increased with increasing $N\text{-}NO_3$ content in soil. The grain yield was not significantly different when comparing winter wheat–forage legume strip intercropping (without mulching) to strip sowing in oat stubble. In forage legume–winter wheat strip intercropping, N release from legumes was weak and did not meet wheat nitrogen requirements.

Keywords: black medick; Egyptian clover; inorganic nitrogen; mulch; nitrogen yield; white clover

Citation: Arlauskienė, A.; Gecaitė, V.; Toleikienė, M.; Šarūnaitė, L.; Kadžiulienė, Ž. Soil Nitrate Nitrogen Content and Grain Yields of Organically Grown Cereals as Affected by a Strip Tillage and Forage Legume Intercropping. *Plants* **2021**, *10*, 1453. https://doi.org/10.3390/plants10071453

Academic Editors: Beatriz Ramos Solano and F. Javier Gutierrez-Manero

Received: 4 June 2021
Accepted: 9 July 2021
Published: 15 July 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Crop rotation diversification using legumes has been advocated as one of the solutions to improve crop system resilience to multiple environmental stresses and use of nitrogen (N) resources [1,2]. The cultivation of perennial forage legumes in arable organic farming has shown encouraging results [3]. However, their cultivation often is limited by biological and economic factors. In order to increase commercial production, various practices involving intercropping forage legumes with main crops can be applied (as service crops). By mixing several plant species in one field, ecological principles based on biodiversity, plant interactions, and other mechanisms that promote crop self-regulatory functions can be applied in practice [4,5]. The advantages of intercropping include higher overall productivity, better control of pathogens and pests, strengthening of ecological services, and higher profitability of the crop [6]. Much research has been done on intercropping forage legumes with cereals for short periods (a year) [1,7]. When trying to keep

forage legumes for a longer period and resowing cereals, farmers face problems related to sowing cereals and managing the competitiveness of plants [8].

Having ploughed in forage legumes or their green mass, the yield of winter wheat grown afterwards increased significantly [9]. However, when forage legume or grass-legume leys are ploughed-in, there is a high risk of nitrate leaching, especially on sandy soils [10,11]. Some studies have shown that skipping autumn tillage, or at least postponing it before sowing spring cereals, can reduce nitrate losses by up to 25% during winter [12]. Other studies have shown slower mineralization of forage legume mass [13] and smaller nitrogen leaching following less intensive tillage [14]. However, the effect varies widely with the crop and soil type and climatic conditions [15]. No-tillage improves soil structure, its biological activity, and nutrient cycling, and it increases soil water retention capacity and efficiency of its use [16,17]. In addition to savings in energy and labor, reduced tillage can also protect soil from erosion or loss of organic matter in the topsoil [18]. Numerous research data show that no-tillage/reduced tillage temporarily reduces yields [19–22]. This decrease depends on the plant species, hydrothermal conditions, method of plant residue management, and nitrogen fertilizer rates. Plant yields increased only with the long-term application of no-till practices [19,20]. However, some sources claim that the benefits of no-tillage agriculture are highly overstated [23].

The use of reduced tillage in organic farms often causes problems not only in terms of yield reduction but also in terms of weed infestation [24,25] and disturbed nutrient cycling [22,26]. Organic farming relies on a combination of different practices, and a reduction in one area (e.g., tillage) requires intensification in another (e.g., the diversification of the crop rotation) [22]. Long-term no-tillage can improve soil properties and crop yield when combined with multicropping and diverse rotations, cover crops, and manure application [16,19,27,28]. Another very important condition is the permanent covering of the soil with plant residues [28,29]. In low-input systems, mulching enhances soil fertility by maintaining or increasing soil organic carbon stocks [30] and stabilizing the physical properties of the soil [16].

Strip tillage is the form of conservative tillage, in which soil is disturbed only for sowing rows, and the spaces between rows are not tilled. Strip tillage combines the advantages of conventional and no-tillage, creating two soil zones with different properties and functions [31]. Favorable conditions for seed germination and plant growth are created in the sowing zone, and the no-tilled zone [32] serves to restore soil fertility, suppress weeds, and reduce erosion [30]. Combining cover crops and living mulches with strip tillage brings many benefits to crop production. Living mulches are multifunctional components that can be used to address key challenges faced by the arable sector such as erosion control, reduction in surface water pollution, unused soil nitrogen recycling, declining soil productivity, structure and health, and weed control [33]. Future research on intercrops should focus on the development of the relevant crop management practices to avoid yield losses [34,35].

We hypothesized that winter cereal–forage legume strip intercropping with living or dead mulch technologies could optimize the mineralization of crop residues and increase productivity in the long term. The objective of the study was to determine the effect of winter wheat (*Triticum aestivum* L.)–black medick (*Medicago lupulina* L.), winter wheat–white clover (*Trifolium repens* L.), and winter wheat–Egyptian clover (*T. alexandrinum* L.) strip tillage intercrop management on the soil nitrate N content and cereal productivity compared to crop sequences without forage legumes and with conventional tillage.

2. Materials and Methods

2.1. Experimental Site, Soil, and Design

Field experiments were conducted at Joniškėlis Experimental Station of the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry (LAMMC) in the northern part of Central Lithuania's lowland in 2018–2019. The soil at the experimental site was classified as

an *Endocalcari-Endohypogleyic Cambisol* (Siltic, Drainic) [36], the texture of which is clay loam on silty clay with deeper lying sandy loam. The topsoil pH (0–25 cm) is close to neutral (6.1), medium in phosphorus (146 mg P_2O_5 kg^{-1}), high in potassium (276 mg K_2O kg^{-1}), and moderate in humus (2.54%).

The main crop in 2018 was spring oats (*Avena sativa* L.), cv. 'Migla DS' (O); these were undersown with black medick cv. 'Arka 133 DS' (O+BM), white clover cv. 'Nemuniai' (O+WC) and Egyptian clover cv. 'Cleopatra' (O+EC). Oat and forage legumes (BM, WC, and EC) were also grown in monocrops. In 2019, winter wheat cv. 'Gaja' was grown in monocrops (WW) and intercropped with forage legumes (BM+WW, WC+WW, EC+WW). Twelve winter wheat management strategies with two soil tillage treatments—conventional deep inversion tillage and strip tillage—were compared. The treatments included pure stands of wheat grown after four monocrops using conventional tillage and sowing (CTS): O–WW(CTS), BM–WW(CTS), WC–WW(CTS), and EC–WW(CTS); and grown after oat monocrop and oat-forage legume intercrop using strip tillage (STS): O–WW(STS), O+BM–BM+WW(STS), O+WC–WC+WW(STS), and O+EC–EC+WW(STS). To reduce the competitiveness of forage legumes in strip intercropping systems (BM+WW, WC+WW), the forage legume was mulched once (M) or twice (2M) (Table 1). The mass of Egyptian clover froze in 2018–2019 winter (dead mulch). The control treatments included winter wheat grown as a sole crop in a cereal sequence: O–WW(CTS). On the 24th of April 2020 spring wheat was sown on all treatments at a density of 450 seeds m^{-2}. The experimental plots were designed as a complete one-factor randomized block with four replicates. The size of individual plot was 6 × 20 m.

Table 1. Crops, tillage, and sowing methods.

Rotation Sequences					
2018		2019			Treatments
Crops	**Soil Tillage and WW Sowing**	**Crops**	**Mulching of Forage Legumes**	**Soil Tillage in Autumn**	
Oat (Control)	Conventional tillage: mass of forage legumes and oat straw incorporated into the soil during ploughing at 23–25 cm depth (26 September 2018) and sowing (27 September 2018)	Winter wheat (WW)		Conventional tillage: cereal straw incorporated into the soil during ploughing at 23–25 cm depth (25 October 2019)	O–WW(CTS)
Black medick (BM)					BM–WW(CTS)
White clover (WC)					WC–WW(CTS)
Egyptian clover (EC)					EC–WW(CTS)
Oat	Strip tillage and sowing (26 September 2018)			Conventional tillage: mass of forage legumes and cereal straw incorporated into the soil during ploughing at 23–25 cm depth (25 October 2019)	O–WW(STS)
Oat and undersown black medick (O+BM)		Black medick–winter wheat intercrop (BM+WW)	No		O+BM–BM+WW (STS)
			once (M) (31 May 2019)		O+BM–BM+WW (STS+M)
			twice (2M) (26 June 2019)		O+BM–BM+WW (STS+2M)
Oat and undersown white clover (O+WC)		White clover–winter wheat intercrop (WC+WW)	No		O+WC–WC+WW (STS)
			once (M) (31 May 2019)		O+WC–WC+WW (STS+M)
			twice (2M) (26 June 2019)		O+WC–WC+WW (STS+2M)
Oat and undersown Egyptian clover (O+EC)		Egyptian clover–winter wheat intercrop (EC+WW)	Dead mulch		O+EC–EC+WW (STS)

2.2. *Experimental Setup*

The oats were sown on 23 April 2018 at a rate of 450 seeds m^{-2} using a narrow spacing drill (with 0.125 m row spacing) at 3 cm depth. The forage legume species were intercropped in oats on 25 April 2018 at a rate of 50 seeds m^{-2}. The forage legume seeds were sown at 2 cm depth using a narrow spacing drill. The conventional tillage and sowing methods were used. After harvesting the oats, the straw was chopped and spread. Forage legumes in monocrops were mulched twice during the growing season (mid-July and late summer before ploughing), and those intercropped were mulched once in late summer. In conventional tillage (according to the respective treatments), the following were used: deep inversion tillage and a pre-sowing cultivation unit. The winter wheat was drill-seeded at a rate of 450 seeds m^{-2} with 0.125 m row spacing, at a depth of 2.5–3.0 cm. In the strip tillage system, involving one-pass tillage, winter wheat sowing operations were performed using a Pro Till 3T hybrid machine manufactured by Mzuri (Pershore, UK) (http://mzuri.eu/pro-til/, accessed on 5 July 2021) The row spacing was 0.33 m, the sowing depth was also 2.5–3.0 cm, and it was sown at a density of 380 seeds m^{-2}. In October 2019, after growing winter wheat (straw was chopped and spread by the harvesting machine), each plot was ploughed. Grain yield was harvested when the majority of crops had reached hard dough stage (BBCH 87). Each experimental plot was harvested with a small plot combine harvester. The experimental sites were managed with no use of fertilizers and pesticides.

2.3. *Weather Conditions*

The weather data were obtained from the meteorological station, located 0.5 km away from the experimental site (Figure 1).

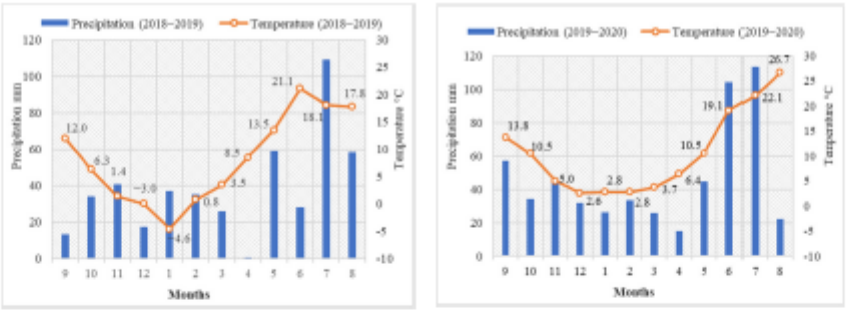


Figure 1. Monthly mean temperature and precipitation at the experimental sites during the periods 2018–2019 (**a**) and 2019–2020 (**b**).

Weather conditions varied between years. The fall in 2018 was dry, which resulted in lower mineral N migration to deeper soil layers, whereas in 2019 the fall was warmer with more sufficient rainfall than in 2018. The winter periods also differed. The winter of 2018–2019 was close to the standard climate normal (SCN). December 2019 to February 2020 was characterized by a positive average daily temperature that was not usual in Lithuania. In 2019, the weather conditions were close to the SCN with a dry period in April and early May. This may have adversely affected N release and winter wheat nutrition. In 2020, the vegetation period was characterized by an uneven distribution of precipitation: insufficient in the first and excess in the second half of this period. The mean temperatures in June and July were significantly higher than the SCN.

2.4. Plant and Soil Analyses

Oat, winter wheat grain, and straw yields (kg ha^{-1}) were determined. The grain yield was converted to standard moisture content (14%), and straw was converted to dry matter (DM). Plant samples were dried and ground using a ZM200 ultra-centrifugal mill (Retch, Haan, Germany) with 1 mm mesh sieves. Grain and straw N content (kg ha^{-1}) was determined in the sulphuric acid digestates using the Kjeldahl method with a Kjeltec system 1002 (Foss Tecator, Hoganas, Sweden). To determine nitrate (N-NO_3, kg ha^{-1}) nitrogen content, soil samples were collected four times: in autumn after winter wheat sowing, 21 November 2018 (Assessment 1); in spring before winter wheat growth resumed, 25 March 2019 (Assessment 2); in autumn, when all experimental plots were ploughed, 16 October 2019 (Assessment 3); and before spring wheat sowing, 23 April 2020 (Assessment 4); all were at 0–30 cm and 30–60 cm depths. One soil sample consisted of five drills from each plot. Nitrate nitrogen (N-NO_3) was determined by the ionometric method. The samples were placed in 1 mol L^{-1} KCl extract, *w*/*v* ratio 1:5.

2.5. Statistical Analysis

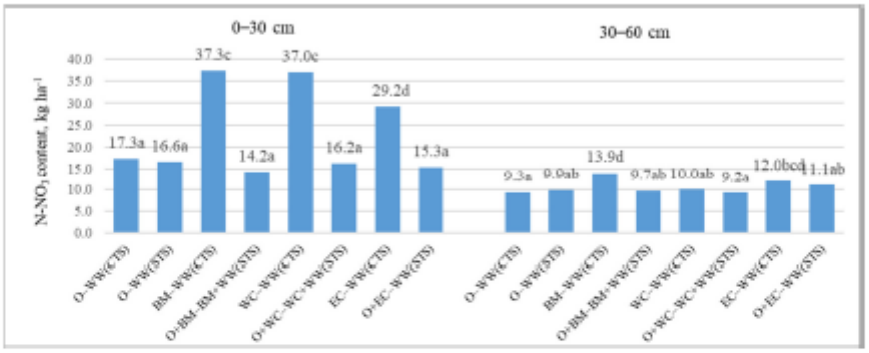
The data were statistically processed using one-factor analysis of variance as well as correlation and regression methods. The significance of differences among the treatment means was estimated at the 0.05 probability level. Correlations among cereal grain yield and soil N-NO_3 were determined. Simple linear regression (SLR) was applied. The statistical analysis was performed using ANOVA version 3.1 software and STAT_ENG version 1.5 from the programme package SELEKCIJA.

3. Results

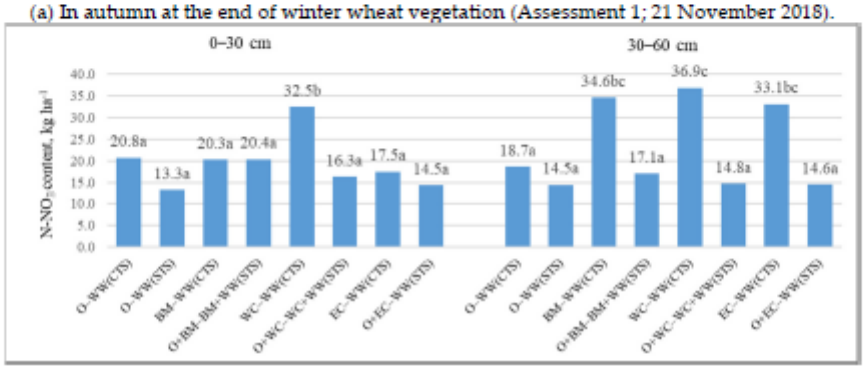
3.1. Soil Nitrate Nitrogen Content

The results showed a significant (at $p < 0.01$) influence of the soil tillage system on the N-NO_3 content in autumn (Assessment 1, Figure 2a). Having ploughed in BM, WC, and EC prior to winter wheat sowing, N-NO_3 content in the 0–30 cm soil layer was significantly higher than when CTS and STS had been used after oats. Nitrate N concentration was higher by 2.2 times in winter wheat grown after ploughing in BM, 2.1 times after WC, and 68.8% after EC compared to winter wheat sowing after oats (CTS). Strip tillage tended to reduce N-NO_3 (4.0–17.9%). As N-NO_3 increased in the upper soil layer, it tended to increase in the deeper ones as well.

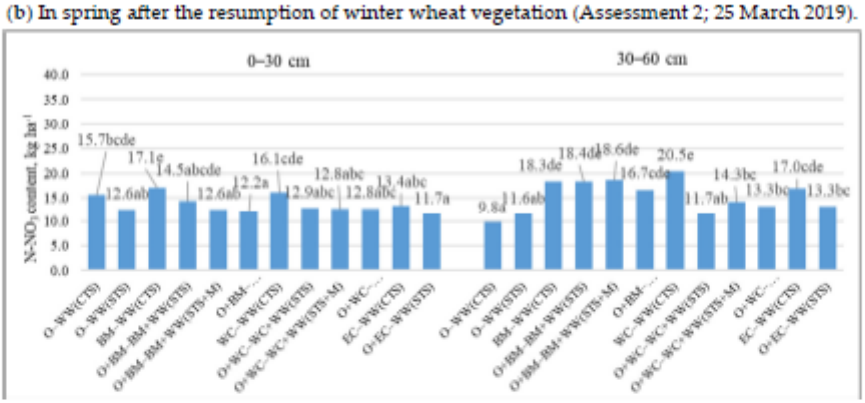
The results showed that with increasing N-NO_3 (0–30 cm) in autumn, N-NO_3 values also increased in the spring (Assessment 2, Figure 2b). The dependences of N-NO_3 content in spring in the deeper soil layer were stronger ($r = 0.89$, $p \leq 0.01$) than in the upper ($r = 0.45$, $p \leq 0.05$). High concentrations of N-NO_3 in the soil on the objects with CTS were also noted in early spring. N-NO_3 content in the 0–30 cm soil layer increased during wheat cultivation after WC (CTS) by 56.2%, and in the 30–60 cm layer after all forage legumes (CTS) by 77.0–97.3%, compared to sowing after oats (CTS). Strip tillage and forage legume–winter wheat intercropping tended to reduce N-NO_3 in both soil layers compared to sowing wheat after oats (CTS).



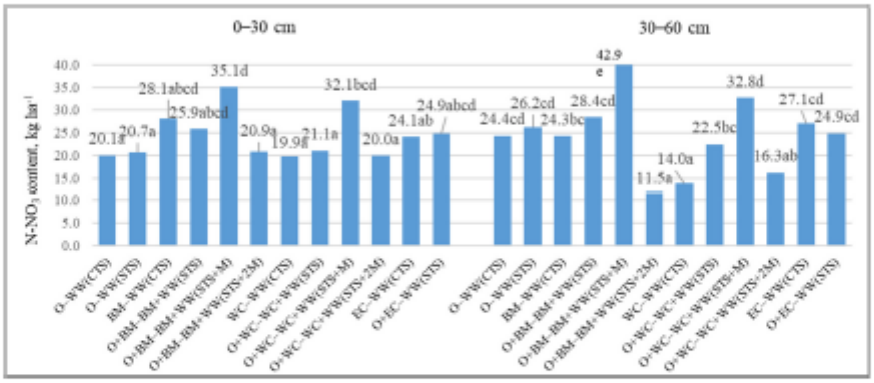
(a) In autumn at the end of winter wheat vegetation (Assessment 1; 21 November 2018).



(b) In spring after the resumption of winter wheat vegetation (Assessment 2; 25 March 2019).



(c) In autumn at the end of the growing season (Assessment 3; 16 October 2019).



(d) In spring before spring wheat sowing (Assessment 4; 23 April 2020).

Figure 2. Nitrate nitrogen content at two soil depths on four assessment dates (a–d) in different tillage crop sequences.

Winter wheat management strategies: O-WW(CTS)–oat–winter wheat (conventional tillage and sowing); O–WW(STS)–oat–winter wheat (strip tillage and sowing); BM-WW(CTS)–black medick–winter wheat (conventional tillage and sowing); O+BM–BM+WW(STS)–oat undersown with black medick–black medick and winter wheat intercrop (strip tillage and sowing); O+BM–BM+WW(STS+M)–oat undersown with black medick–black medick and winter wheat intercrop (strip tillage and sowing, mulching once); O+BM–BM+WW(STS+2M)–oat undersown with black medick–black medick and winter wheat intercrop (strip tillage and sowing, mulching twice); WC-WW(CTS)–white clover–winter wheat (conventional tillage and sowing); O+WC–WC+WW(STS)–oat undersown with white clover–white clover and winter wheat intercrop (strip tillage and sowing); O+WC–WC+WW(STS+M)–oat undersown with white clover–white clover and winter wheat intercrop (strip tillage and sowing, mulching once); O+WC–WC+WW(STS+2M)–oat undersown with white clover–white clover and winter wheat intercrop (strip tillage and sowing, mulching twice); EC-WW(CTS)–Edyptian clover–winter wheat (conventional tillage and sowing); O+EC–EC+WW(STS)–oat undersown with Edyptian clover–Edyptian clover and winter wheat intercrop (strip tillage and sowing); means followed by the same letters are not significantly different at $p \leq 0.05$.

At the end of the 2019 growing season and before ploughing (Assessment 3), the highest N-NO_3 content in the 0–30 cm soil layer was found with winter wheat grown after BM and WC using conventional tillage (Figure 2c). Compared to these treatments, strip tillage significantly reduced N-NO_3 content in the soil when sowing winter wheat into oat stubble, or mulching EC and BM aboveground mass during the growing season. There was slightly more N-NO_3 in the 30–60 cm soil layer, and differences between the treatments were more pronounced compared to the upper layer. The lowest N-NO_3 content was found for winter wheat grown after oats (CTS). Growing forage legumes (CTS) before winter wheat increased the N-NO_3 content in soil significantly (from 73.5% to 2 times) compared to that with oats as a preceding crop (CTS). Strip tillage increased N-NO_3 significantly, with the exception of sowing into oat stubble and into WC (without mulching), compared to sowing after oats (CTS). The highest N-NO_3 content in soil was found when intercropping winter wheat with black medick.

In the spring 2020, significantly higher N-NO_3 content in the 0–30 soil layer (74.6 and 59.7% respectively) was noted after ploughing black medick–winter wheat and white clover–winter wheat stubble with the mass mulched once (STS+M) compared to control (Figure 2d). In the deeper soil layer, similar trends in N-NO_3 content remained, only the differences were larger. When evaluating BM treatments, it was found that significantly higher N-NO_3 content (76.5%) was observed after ploughing black medick–winter wheat

stubble with the mass mulched once (STS+M), and a significantly lower content (73.2%) was found when the mass was mulched twice (STS+2M), compared to BM-WW(CTS). Significantly higher N-NO_3 content was also noted with one mulching of the aboveground mass of white clover (WC+WW(STS+M)) and without its mulching (WC+WW(STS)) in strip tillage system compared to that with WC in the conventional tillage system (WC-WW(CTS)). Our studies also showed higher N-NH_4 accumulation in soil as influenced by strip tillage (data not shown).

3.2. Cereal Productivity

The forage legume intercrop had no significant effect on oat grain yield compared to the yield of oats grown as a monocrop (Table 2). Winter wheat grain yields of different cropping sequences depended on winter wheat establishment strategies (at $p < 0.01$). Ploughing in forage legumes before winter wheat sowing increased grain yield significantly by 30.6–47.4% compared to the winter wheat grown after oats. Winter wheat strip tillage and sowing into oat stubble reduced the grain yield by a substantial 21.2% compared to conventional sowing into ploughed soil. However, the yield of winter wheat sown in BM (STS and STS+M) and EC (STS) stubble was similar to that of winter wheat sown conventionally after oats. When winter wheat was intercropped with forage legumes (without mulching) or sown into oat stubble, the grain yields did not differ significantly. An upward trend in winter wheat grain yield was observed when applying strip sowing in dead EC mulch.

Table 2. Cereal yields in different cropping sequences using conventional and strip tillage.

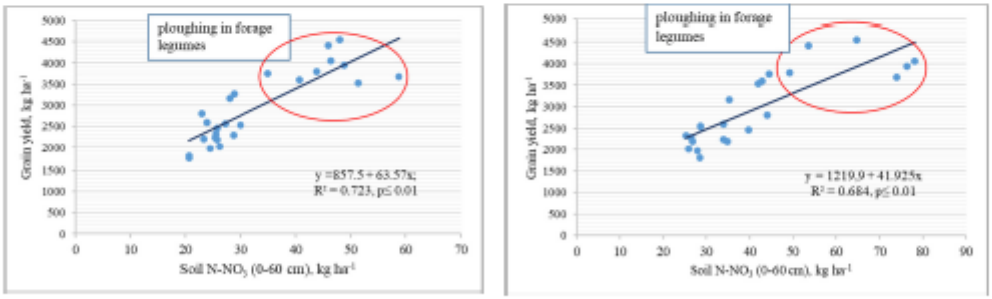
2018			2019	
Crops	Grain Yield of Oat	Crops,	Grain Yield of Winter Wheat	Nitrogen Accumulation
	kg ha^{-1}	Tillage and Sowing Methods	kg ha^{-1}	kg Nha^{-1}
O	3360 a	WW (CTS)	2808 d	57.9 c
O	3360 a	WW (STS)	2212 abc	47.1 abc
BM	-	WW (CTS)	3668 e	84.6 d
O+BM	3372 a	BM+WW (STS)	2412 bcd	50.5 abc
O+BM	3372 a	BM+WW (STS+M)	2449 bcd	50.2 abc
O+BM	3372 a	BM+WW (STS+2M)	2340 abc	46.7 abc
WC	-	WW (CTS)	4138 g	99.0 f
O+WC	3409 a	WC+WW (STS)	2151 ab	44.5 ab
O+WC	3409 a	WC+WW (STS+M)	1992 a	41.0 a
O+WC	3409 a	WC+WW (STS+2M)	2485 bcd	50.3 abc
EC	-	WW (CTS)	3969 efg	88.9 def
O+EC	3556 ab	EC+WW (STS)	2559 cd	53.9 bc

Note: O—oat, BM—black medick, WC—white clover, EC—Egyptian clover, O+BM—oat undersown with black medick, O+WC—oat undersown with white clover, O+EC—oat undersown with Egyptian clover; WW(CTS)—winter wheat (conventional tillage and sowing), WW(STS)—winter wheat (strip tillage and sowing), BM+WW(STS)—black medick and winter wheat intercrop (strip tillage and sowing), BM+WW(STS+M)—black medick and winter wheat intercrop (strip tillage and sowing, mulching once), BM+WW(STS+2M)—black medick and winter wheat intercrop (strip tillage and sowing, mulching twice), WC+WW (STS)—white clover and winter wheat intercrop (strip tillage and sowing), WC+WW (STS+M)—white clover and winter wheat intercrop (strip tillage and sowing, mulching once), WC+WW (STS+2M)—white clover and winter wheat intercrop (strip tillage and sowing, mulching twice), EC+WW (STS)—Egyptian clover and winter wheat intercrop (strip tillage and sowing); means followed by the same letters are not significantly different at $p \leq 0.05$.

The total N accumulation in winter wheat harvest (grain + straw) differed between treatments (Table 2). The highest N amount in winter wheat yield was accumulated during its cultivation in the forage legumes sequence with conventional tillage. Having ploughed in forage legumes BM, WC, and EC prior to winter wheat sowing, the N content increased by 46.1%, 71.0%, and 53.5%, respectively, compared to the control treatment.

The correlations between the N yield of winter wheat and N-NO_3 content in the 0–60 cm layer in autumn and spring were statistically significant (r = 0.79 and r = 0.73, $p \leq 0.01$, respectively).

The correlation analysis showed that the yield of winter wheat grain depended on the N-NO_3 content in the soil (0–60 cm) both in the autumn and spring after the resumption of wheat growth (Figure 3a,b). As the N-NO_3 content increased from 20.7 to 58.7 kg ha^{-1} (Assessment 1) and from 25.2 to 78.1 kg ha^{-1} (Assessment 2), the yield of winter wheat grain increased two-fold, i.e., from 1804 to 4413 kg ha^{-1}. The increase in yield was mainly influenced by ploughing in forage legume mass.



(a) In autumn (21 November 2018) (b) In spring (25 March 2019)

Figure 3. Dependence of winter wheat grain yield on N-NO_3 content accumulated in soil (0–60 cm) during autumn (a) and spring (b).

4. Discussion

4.1. Nitrogen Supply for Winter Wheat

Winter wheat–forage legume intercropping with strip tillage allows retaining forage legumes for a longer period of time owing to the soil enrichment with nitrogen [37]. In the late autumn of 2018, the highest N-NO_3 content in the 0–30 cm soil layer was with conventional soil tillage, and it was 2.9 times higher than when winter wheat was strip-intercropped with forage legumes. The increase in mineral nitrogen in soil was due to the nitrogen-rich and rapidly decomposing (C:N < 15) mass of forage legumes incorporated during ploughing [9]. Previous studies showed that in the conditions of variable humidity in autumn, most of the mineral nitrogen accumulates in the deeper layer (30–60 cm) after ploughing in forage legume mass [9], and usually this nitrogen is not available, as the main cereal roots have not yet formed [38]. Therefore, during such a period, there is a risk of nitrogen migration into deeper soil layers and its leaching [10]. Based on recent studies, Skaalsveen et al. [15] stated that no-tillage does not reduce nitrogen leaching unless cover crops are grown. Walmsley et al. [39] noted that non-inversion tillage with a cover crop can increase the leaching of dissolved, organically bound nitrogen.

After the resumption of winter wheat growth in the spring of 2019, N-NO_3 content was analogous to that measured in the autumn, only most of it was in the deeper soil layer (30–60 cm). The application of strip tillage to forage legumes–winter wheat resulted in an average of 43.9% lower N-NO_3 content in both soil layers combined (0–60 cm) compared to conventional sowing after forage legume ploughing in. This confirms the statement that mineralization intensity and nitrogen supply can be managed by choosing the right tillage method [22,40]. Low soil nitrogen content was determined by several factors. When tilling only the sowing lines, a small mass of forage legumes was incorporated. In addition, some portion of the chopped oat straw (C:N = 80–100) also entered the soil, and the microorganisms may use soil nitrogen to decompose it. Winter wheat and forage legumes, as well as other plants and soil microorganisms, compete for soil nitrogen. Applying no-tillage or

reduced tillage methods increases soil density, and reduces aeration and water supply [41], resulting in the slow mineralization of plant residues.

Winter wheat had access to high amounts of nitrogen after ploughing-in forage legumes. Nitrogen supply was reduced by strip tillage. Other researchers also noted that nitrogen supply for the crops can be limited by reduced tillage [20,22]. Plant nutrition is reported to improve by increasing soil biological activity due to shallow soil loosening and incorporation of plant residues [27,42]. Soil moisture and heat retention also improved due to covering the soil surface with plant residues [16]. In our studies, loosening of the sowing strips (13 cm) at a depth of 13–15 cm did not have any more pronounced effect on N-NO_3 content in spring than sowing into oat stubble. Forage legumes were usually uprooted and laid between rows. Uprooted BM and EC performed the function of dead mulch, and WC took root (as living mulch) in spring and competed with the wheat. Mulching of the aboveground mass of forage legumes and the application of organic fertilizers [43] can reduce competitiveness and increase nitrogen application [24,44]. Nitrogen release from plant mass depends on tillage intensity and mulch mass [26], forage legume density, root morphology, and plant residue quality [45], as well as mulch C:N [22]. Due to the narrow C:N ratio, more nitrogen releases from the shoots (63.4–70.0% of the initial N) and more rapidly than from the roots (27.3–50.7%) [46].

Effective nitrogen utilization depends on the synchronism of its release from plant residues and the requirements of crops. By reducing tillage intensity, nitrogen is released at later stages of crop growth during the growing season [21,47]. In addition, the development and depth of penetration of the main crop roots is also determined by tillage [41]. Our studies (Assessment 3) showed that in most cases higher N-NO_3 levels remained after ploughing-in forage legumes. However, an increase in N-NO_3 was observed in the deeper soil layer of the winter wheat–forage legume intercrop compared to the wheat monocrop (CTS). After ploughing-in the intercrop and monocrop in spring, the highest N-NO_3 content was found in the plots with winter wheat–white clover and winter wheat–black medick intercrops with mulching of forage legume mass on the soil surface (STS+M).

Other studies have shown that the combination of reduced tillage and organic manure increases the sequestration of organic carbon in the upper soil layer. Using legume in combination with grass increases total soil organic C and N content and reduces negative environment impacts [5]. The addition of plant residues from green manure and their incorporation into soil activates the subsequent physico-chemical protection of organic carbon [48]. Prolonged application of no-tillage and the accumulation of organic matter of different availability in the soil increases the soil's capacity to supply available nitrogen by generating intrinsic resources [49]. This contributes to an improvement in plant nutrition with nitrogen in the long run. However, the effect varies largely with the crop, soil type, and climatic conditions.

4.2. *Variation in Winter Wheat Yield*

Winter wheat is moderately sensitive to no-tillage [19]. Our results show that the grain yield of winter wheat decreased when applying strip tillage in oat stubble by 21.2%, in BM by 14.1% and in WC by 23.4% (as a living mulch), and in EC by 8.9% (as a dead mulch) compared to conventional tillage after oats. In other studies, the crop yields under conventional tillage were 34% higher compared to those under strip tillage [20]. Some studies found that strip tillage in organic farming decreased yields due to inadequate weed control and decreased nutrient availability [20,21]. When wheat is intercropped with clover (as a living mulch), wheat yields are mostly reduced due to plant competition [35] for light, moisture, and nitrogen, and crop losses can reach 10–25% compared to the wheat monocrop [47]. The suitability of plants for intercropping depends on differences in the root system of forage legumes and the main crop, the rate of regrowth of forage legumes, uniformity of soil cover, moisture demand, and competitive properties [22,50]. When switching from conventional tillage to no-tillage, crop yields tend to decline. This decline can last 5 years or more [19]. This is often related to soil carbon sequestration and the

stabilization of beneficial soil properties [51,52]. Application of no-tillage improves soil health and sometimes can increase crop yields [28]. Covering the soil surface with plant residues, increasing plant diversity (especially perennial grass cultivation), and using mulch are essential no-tillage conditions [22,42]. In our studies, when the plant residue mass was increased using dead EC mulch, the yield of winter wheat grain was 15.7% higher compared to sowing into oat stubble. The results showed that the use of living mulch led to competition between WC and winter wheat. Suppression of forage legumes in spring is required to reduce competition between plants [37]. In our studies, mulching did not significantly increase the yield of winter wheat. Recent studies suggest that in order to improve the efficiency of plant resource use, optimizing planting geometry for cereal–forage legume intercropping systems is required [53]. Cooper et al. [21] stated that using inversion tillage to a shallow depth is the most suitable for organic farming as it reduces yields (5.5%) marginally, but it significantly increases soil carbon stocks and controls the spread of weeds better. According to Casagrande et al. [8], the most important motivation for reduced tillage is the preservation of soil fertility, with the challenges being related to crop management, machinery, and fertility.

5. Conclusions

Ploughing in forage legume monocrops for winter wheat increased N-NO_3 content after sowing wheat in late autumn, after growth had resumed in spring and after harvesting (mostly in the 30–60 cm soil layer). Strip tillage and winter wheat–forage legume intercropping reduced N-NO_3 content by an average of 43.9% in spring compared to conventional tillage and sowing after the forage legume monocrop. An increase in N-NO_3 in the soil of forage legume–winter wheat intercrops was observed only after harvesting winter wheat in late autumn compared to the wheat monocrop (CTS). After ploughing in intercrops and monocrops, the highest N-NO_3 content in spring 2020 was noted in winter wheat–white clover and winter wheat–black medick intercrops with mulching of forage legume mass on the soil surface (STS+M).

Our results showed that grain yields decreased by 21.2% with strip tillage and winter wheat sowing into oat stubble compared to conventional tillage and sowing after oats. The grain yield from strip tillage was the highest after sowing winter wheat in dead EC mulch. The application of winter wheat intercropping with BM and WC reduced the yield of winter wheat grain by 14.1% and 23.4%, respectively, compared to conventional tillage and sowing after oats. This indicates greater competition from WC compared to BM. Mulching of the aboveground mass of forage legumes did not significantly increase the yield of winter wheat grain. Future research should focus on improving forage legume–cereal intercrop management in order to optimize plant residue mineralization and to obtain satisfactory and stabile cereal yields.

Author Contributions: A.A. and V.G. drafted the work. M.T. and L.Š. acquired, analyzed, and interpreted the data. Ž.K. and A.A. developed a research scheme. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This project received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement N°727672".

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The datasets used and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Acknowledgments: The paper presents research findings, obtained through the long-term research program "Biopotential and quality of plants for multifunctional use" implemented by Lithuanian Research center for Agriculture and Forestry.

Conflicts of Interest: The authors declare that they have no competing interests.

References

1. Gaudin, A.C.M.; Westra, S.; Loucks, C.E.S.; Janovicek, K.; Martin, R.C.; Deen, W. Improving Resilience of Northern Field Crop Systems Using Inter-Seeded Red Clover: A Review. *Agronomy* **2013**, *3*, 148–180, doi:10.3390/agronomy3010148.
2. Rani, K.; Sharma, P.; Kumar, S.; Wati, L.; Kumar, R.; Gurjar, D.S.; Kumar, D. Legumes for Sustainable Soil and Crop Management. In *Sustainable Management of Soil and Environment*; Springer: Singapore, 2019; pp. 193–215.
3. McKenna, P.; Cannon, N.; Conway, J.; Dooley, J.; Davies, W.P. Red clover (*Trifolium pratense*) in conservation agriculture: A compelling case for increased adoption. *Int. J. Agric. Sustain.* **2018**, *16*, 342–366, doi:10.1080/14735903.2018.1498442.
4. Malezieux, E.; Crozat, Y.; Dupraz, C.; Laurans, M.; Makowski, D.; Lafontaine, H.O.; Rapidel, B.; De Tourdonnet, S.; Valantin-Morison, M. Mixing plant species in cropping systems: Concepts, tools and models. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **2009**, *29*, 43–62, doi:10.1051/agro:2007057.
5. Blesh, J. Feedbacks between nitrogen fixation and soil organic matter increase ecosystem functions in diversified agroecosystems. *Ecol. Appl.* **2019**, *29*, e01986.
6. Franco, J.G.; King, S.R.; Masalmi, J.G.; Volder, A. Plant functional diversity improves short-term yields in a low-input intercropping system. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2015**, *203*, 1–10.
7. Gecaitė, V.; Arlauskienė, A.; Cesevičienė, J. Competition effects and productivity in oat–forage legume relay inter-cropping systems under organic farming conditions. *Agriculture* **2021**, *11*, 99.
8. Casagrande, M.; Peigné, J.; Payet, V.; Mäder, P.; Sans, F.X.; Blanco-Moreno, J.M.; Antichi, D.; Bàrberi, P.; Beeckman, A.; Bigongiali, F.; et al. Organic farmers' motivations and challenges for adopting conservation agriculture in Europe. *Org. Agric.* **2015**, *6*, 281–295, doi:10.1007/s13165-015-0136-0.
9. Arlauskiene, A.; Jablonskyte-Rasce, D.; Slepetiene, A. Effect of legume and legume-festulolium mixture and their mulches on cereal yield and soil quality in organic farming. *Arch. Agron. Soil Sci.* **2020**, *66*, 1058–1073, doi:10.1080/03650340.2019.1652816.
10. Hansen, E.; Eriksen, J. Nitrate leaching in maize after cultivation of differently managed grass-clover leys on coarse sand in Denmark. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2016**, *216*, 309–313, doi:10.1016/j.agee.2015.10.010.
11. De Notaris, C.; Rasmussen, J.; Sørensen, P.; Olesen, J.E. Nitrogen leaching: A crop rotation perspective on the effect of N surplus, field management and use of catch crops. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2018**, *255*, 1–11.
12. Thomsen, I.K.; Crop, N. Utilization and leaching losses as affected by time and method of application of farmyard manure. *Eur. J. Agron.* **2005**, *22*, 1–9, doi:10.1016/j.eja.2003.10.008.
13. Lal, R.; Reicosky, D.C.; Hanson, J.D. Evolution of the plow over 10,000 years and therationale for no-till farming. *Soil Tillage Res.* **2007**, *93*, 1–12.
14. Askegaard, M.; Olesen, J.E.; Rasmussen, I.; Kristensen, K. Nitrate leaching from organic arable crop rotations is mostly determined by autumn field management. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2011**, *142*, 149–160, doi:10.1016/j.agee.2011.04.014.
15. Skaalsveen, K.; Ingram, J.; Clarke, L.E. The effect of no-till farming on the soil functions of water purification and re-tention in north-western Europe: A literature review. *Soil Tillage Res.* **2019**, *189*, 98–109.
16. Blanco-Canqui, H.; Ruis, S.J. No-tillage and soil physical environment. *Geoderma* **2018**, *326*, 164–200.
17. Büchia, L.; Wendlinga, M.; Amosséa, C.; Necpalovac, M.; Charles, R. Importance of cover crops in alleviating negative effects of reduced soil tillage and promoting soil fertility in a winter wheat cropping system. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2018**, *256*, 92–104.
18. Novara, A.; Gristina, L.; Saladino, S.; Santoro, A.; Cerdà, A. Soil erosion assessment on tillage and alternative soil managements in a Sicilian vineyard. *Soil Tillage Res.* **2011**, *117*, 140–147, doi:10.1016/j.still.2011.09.007.
19. Pittelkow, C.; Linquist, B.A.; Lundy, M.E.; Liang, X.; van Groenigen, K.J.; Lee, J.; van Gestel, N.; Six, J.; Venterea, R.T.; van Kessel, C. When does no-till yield more? A global meta-analysis. *Field Crop. Res.* **2015**, *183*, 156–168, doi:10.1016/j.fcr.2015.07.020.
20. Weyers, S.L.; Archer, D.W.; Forcella, F.; Gesch, R.; Johnson, J.M. Strip-tillage reduces productivity in organically managed grain and forage cropping systems in the Upper Midwest, USA. *Renew. Agric. Food Syst.* **2018**, *33*, 309–321, doi:10.1017/s1742170517000084.
21. Cooper, J.; Baranski, M.; Stewart, G.; Nobel-de Lange, M.; Bàrberi, B.; Fließbach, A.; Peigné, J.; Berner, A.; Brock, C.; Casagrande, M.; et al. Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil C stocks: A meta-analysis. *Agron. Sustain. Dev.* **2016**, *36*, 1–22.
22. Grosse, M.; Haase, T.; Heß, J. Tillage System Comparison in Organic Farming: Effects on N Mineralization, Soil Microbial Biomass, and Yield. *Org. Farming* **2019**, *5*, 23–36, doi:10.12924/of2019.05010023.
23. VandenBygaart, A. The myth that no-till can mitigate global climate change. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2016**, *216*, 98–99, doi:10.1016/j.agee.2015.09.013.
24. Peigné, J.; Ball, B.C.; Roger-Estrade, J.; David, C. Is conservation tillage suitable for organic farming? A Review. *Soil Use Manag.* **2007**, *23*, 129–144.
25. Anderson, R.L. Integrating a complex rotation with no-till improves weed management in organic farming. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **2015**, *35*, 967–974, doi:10.1007/s13593-015-0292-3.
26. Ginakes, P.; Grossman, J.; Baker, J.; Sooksa-Nguan, T. Tillage intensity influences nitrogen cycling in organic kura clover living mulch. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* **2020**, *116*, 71–82, doi:10.1007/s10705-019-10025-0.
27. Mäder, P.; Berner, A. Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. *Renew. Agric. Food Syst.* **2011**, *27*, 7–11, doi:10.1017/s1742170511000470.
28. Nunes, M.R.; van Es, H.M.; Schindelbeck, R.; Ristow, A.J.; Ryan, M. No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. *Geoderma* **2018**, *328*, 30–43, doi:10.1016/j.geoderma.2018.04.031.

29. Peigné, J.; Casagrande, M.; Payet, V.; David, C.; Sans, F.X.; Blanco-Moreno, J.M.; Cooper, J.; Gascoyne, K.; Antichi, D.; Bàrberi, P.; et al. How organic farmers practice conservation agriculture in Europe. *Renew. Agric. Food Syst.* **2015**, *31*, 72–85, doi:10.1017/s1742170514000477.
30. Ranaivoson, L.; Naudin, K.; Ripoche, A.; Affholder, F.; Rabeharisoa, R.L.; Corbeels, M. Agro-ecological functions of crop residues under conservation agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **2017**, *37*, 26, doi:10.1007/s13593-017-0432-z.
31. Pöhlitz, J.; Rücknagel, J.; Koblenz, B.; Schlüter, S.; Vogel, H.-J.; Christen, O. Computed tomography and soil physical measurements of compaction behaviour under strip tillage, mulch tillage and no tillage. *Soil Tillage Res.* **2018**, *175*, 205–216, doi:10.1016/j.still.2017.09.007.
32. Lal, R. No-till farming: Soil and water conservation and management in the humid and subhumid tropics. *IITA Monogr.* **1983**, *2*, 64.
33. Hartwig, N.L.; Ammon, H.U. Cover crops and living mulches. *Weed Sci.* **2002**, *50*, 688–699, doi:10.1614/0043-1745(2002)050[0688:aiacca]2.0.co;2.
34. Sarunaite, L.; Kadziuliene, Z.; Deveikyte, I.; Kadziulis, L. Effect of legume biological nitrogen on cereals grain yield and soil nitrogen budget in double-cropping system. *J. Food Agric. Environ.* **2013**, *11*, 528–533.
35. Radicetti, E.; Baresel, J.; El-Haddoury, E.; Finckh, M.; Mancinelli, R.; Schmidt, J.; Alami, I.T.; Udupa, S.; Van Der Heijden, M.; Wittwer, R.; et al. Wheat performance with subclover living mulch in different agro-environmental conditions depends on crop management. *Eur. J. Agron.* **2018**, *94*, 36–45, doi:10.1016/j.eja.2018.01.011.
36. WRB. *World Reference Base for Soil Resources*; World Soil Resources Reports; FAO: Rome, Italy, 2014; p. 189.
37. Jonathan, R.; Alexander, J.R.; Venterea, R.T.; Baker, J.M.; Coulter, J.A. Kura clover living mulch: Spring management effects on nitrogen. *Agronomy* **2019**, *9*, 69.
38. Watros, A.; Lipińska, H.; Lipiński, W.; Tkaczyk, P.; Krzyszczak, J.; Baranowski, P. Mineral nitrogen content in hydro-graphic areas of Poland depending on land use. *Int. Agrophys.* **2019**, *33*, 481–491.
39. Walmsley, D.C.; Siemens, J.; Kindler, R.; Kaiser, K.; Saunders, M.; Fichtner, A.; Kaupenjohann, M.; Osborne, B.A. Reduced nitrate leaching from an Irish cropland soil under non-inversion tillage with cover cropping greatly outweighs increased dissolved organic nitrogen leaching. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2018**, *265*, 340–349, doi:10.1016/j.agee.2018.06.031.
40. Francaviglia, R.; Álvaro-Fuentes, J.; Di Bene, C.; Gai, L.; Regina, K.; Turtola, E. Diversified Arable Cropping Systems and Management Schemes in Selected European Regions Have Positive Effects on Soil Organic Carbon Content. *Agriculture* **2019**, *9*, 261, doi:10.3390/agriculture9120261.
41. He, J.; Shi, Y.; Zhao, J.; Yu, Z. Strip rotary tillage with a two-year subsoiling interval enhances root growth and yield in wheat. *Sci. Rep.* **2019**, *9*, 11678.
42. Derpsch, R.; Franzluebbers, A.; Duiker, S.; Reicosky, D.; Koeller, K.; Friedrich, T.; Sturny, W.; Sá, J.; Weiss, K. Why do we need to standardize no-tillage research? *Soil Tillage Res.* **2014**, *137*, 16–22, doi:10.1016/j.still.2013.10.002.
43. Vrignon-Brenas, S.; Celette, F.; Piquet-Pissaloux, A.; Corre-Hellou, G.; David, C. Intercropping strategies of white clover with organic wheat to improve the trade-off between wheat yield, protein content and the provision of ecological services by white clover. *Field Crop. Res.* **2018**, *224*, 160–169, doi:10.1016/j.fcr.2018.05.009.
44. Valkama, E.; Lemola, R.; Känkänen, H.; Turtola, E. Meta-analysis of the effects of undersown catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2015**, *203*, 93–101, doi:10.1016/j.agee.2015.01.023.
45. Louarn, G.; Pereira-Lopès, E.; Fustec, J.; Mary, B.; Voisin, A.-S.; Carvalho, P.C.D.F.; Gastal, F. The amounts and dynamics of nitrogen transfer to grasses differ in alfalfa and white clover-based grass-legume mixtures as a result of rooting strategies and rhizodeposit quality. *Plant Soil* **2014**, *389*, 289–305, doi:10.1007/s11104-014-2354-8.
46. Yang, X.M.; Drury, C.F.; Reynolds, W.D.; Phillips, L.A. Nitrogen release from shoots and roots of crimson clover, hairy vetch, and red clover. *Can. J. Soil Sci.* **2020**, *100*, 179–188.
47. Thorsted, M.; Olesen, J.E.; Weiner, J. Width of clover strips and wheat rows influence grain yield in winter wheat/white clover intercropping. *Field Crop. Res.* **2006**, *95*, 280–290, doi:10.1016/j.fcr.2005.04.001.
48. Garcia-Franco, N.; Albaladejo, J.; Almagro, M.; Martínez-Mena, M. Beneficial effects of reduced tillage and green manure on soil aggregation and stabilization of organic carbon in a Mediterranean agroecosystem. *Soil Tillage Res.* **2015**, *153*, 66–75, doi:10.1016/j.still.2015.05.010.
49. Weyers, S.L.; Archer, D.W.; Johnson, J.M.F.; Wilts, A.R. Management drives differences in nutrient dynamics in conventional and organic four-year crop rotation systems. *Agronomy* **2020**, *10*, 764.
50. Wyngaarden, S.L.; Gaudin, A.C.M.; Deen, W.; Martin, R.C. Expanding red clover (*Trifolium pratense*) usage in the corn–soy–wheat rotation. *Sustainability* **2015**, *7*, 15487–15509.
51. Six, J.; Elliot, E.T.; Paustian, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: A mechanism for C se-questration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* **2000**, *32*, 2099–2103.
52. Kumar, S.; Kadono, A.; Lal, R.; Dick, W. Long-term no-till impacts on organic carbon and properties of two contrasting soils and corn yields in Ohio. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **2012**, *76*, 1798–1809.
53. Haq, M.I.U.; Maqbool, M.M.; Ali, A.; Farooq, S.; Khan, S.; Saddiq, M.S.; Khan, K.A.; Ali, S.; Khan, M.I.; Hussain, A.; et al. Optimizing planting geometry for barley-Egyptian clover intercropping system in semi-arid sub-tropical climate. *PLoS ONE* **2020**, *15*, e0233171, doi:10.1371/journal.pone.0233171.

Arlauskienė et al. Chem. Biol. Technol. Agric. (2021) 8:34
https://doi.org/10.1186/s40538-021-00228-5

Chemical and Biological Technologies in Agriculture

RESEARCH Open Access

Perennial forage legume cultivation and their above-ground mass management methods for weed suppression in arable organic cropping systems

Aušra Arlauskienė[1], Danutė Jablonskytė-Raščė[1], Lina Šarūnaitė[2*], Monika Toleikienė[2], Laura Masilionytė[1], Viktorija Gecaitė[1] and Žydrė Kadžiulienė[2]

Abstract

Background: In organic crop farms, growing crop yields are limited by insufficient nitrogen supply to plants and crop weediness. In such farms, legume swards are proposed as a service crop to improve nitrogen cycling. However, a positive effect of nitrogen is not only on cereals but also on weeds. In crop rotation, legume swards can stimulate the competition of cereals using the above-ground mass of legume to control the spread of weeds.

The effects of the following methods for weeds control were analyzed: (i) forage legumes (*Trifolium pratense* L. and *T. repens*) undersown in cereals, (ii) forage legumes (*T. pratense L., Medicago sativa* L.) and their mixture with festulolium (*x Festulolium*) and their above-ground mass management methods, and (iii) plant-based fertilizers (red clover above-ground mass fermented and composted).

Results: Oat with red clover undersown reduced weediness more than red clover monocrops, pea, and their mixture with oats. Incorporated undersown white clover mass increased spring barley competitiveness with weeds. When growing legume swards for a longer period of time (green fallow), red clover and their mixture with festulolium are the most suitable for this purpose. The lowest weed dry weight (average 34%, compared with the removal from the field) was obtained while using the mixed management. The cultivation of cereals after forage legumes and their mixtures with festulolium (as a preceding crop) increases its grain yield and competitive ability against weeds. Fermented red clover and fermented pea and spring wheat mixture mass, as a manure, did not increase weediness.

Conclusions: It was concluded that the effectiveness of the perennial forage legumes is determined by the uses of the above-ground mass: soil cover, mulching, application of green manure, and intensity of mass mineralization. Type of activity of forage legumes on weeds were competition for environmental resources, disruption/promotion of germination, destruction of above-ground mass, reduction of the amount of matured seeds, creation of a physical barrier (mulch), and increase of competitiveness of cereals. Growing forage legumes in pure crops usually leads to a loss of marketable production.

Keywords: Clover, Farmyard manure, Lucerne, Mulch, Plant-based organic manure, Undersown

Background

Crop rotation diversification has high value to control weed populations and maintain its effectiveness under different environmental conditions and management scenarios [48] Crop rotations of arable organic farms

*Correspondence: lina.sarunaite@lammc.lt
[2] Institute of Agriculture, Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Kėdainiai District, Akademija, Lithuania
Full list of author information is available at the end of the article

Springer Open

© The Author(s) 2021. This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.

are dominated by a small variety of plants (mostly cereals). Grain legume (pea, faba bean, and other) serve as a source of nitrogen. Lundkvist et al. [23] and Sinchana et al. [39] indicated that including peas in a crop rotation increased the risk of weed problems in the long term. The cultivation and agrotechnics of grain legumes are very close to those of cereals and are favorable for the spread of the same weed species [4]. This fact indicates that crop type modulates weed community composition and diversity [44]. Annual weeds are well adapted to such crops (cereals, grain legumes), they grow well in partial shade, have similar growing needs to the crops, and are able to mature and spread the seeds before harvest [30]; they are commonly referred to as cereals weeds [19]. Homogeneous of crops, low diversity of legume crops and short crop rotations also result in the problems associated with plant nutrients supply, disease and pest control, and declining soil fertility. This weakens crop growth, productivity, and competitive ability against weeds [17]. Weed spread represents a major source of inefficiency, diverting scarce resources (nutrients, water, light, and labor) and has been reported to result in approximately one-third of yield losses in major crops [5]. Mechanical control of weeds is most commonly applied, but it increases energy and labor costs.

Kolb and Gallandt [17] point out that the main weed management mechanisms include increasing the competitive advantage of cereals through practices that reduce weed density and increase interspecies competition.

Rotating crops with different planting dates appears to be important for reducing the size of seedbanks, presumably because it changes the timing of field activities [31] and gives priority to depletion of seedbanks through interfering with dormancy or germination requirements [8]. Therefore, the cultivation of plants that differ in architecture, growth intensity, and duration at the time of harvest is of great value [21].

Perennial legumes are a good preceding crop, improving soil properties, ensuring nitrogen supply to crop of rotation [45]. A better use of resources (especially nitrogen) by cultivated plants and growth stimulation are key conditions for indirect weed control, and ensure plant competitiveness and productivity [35, 38]. However, nitrogen also influences germination, emergence, and competitiveness of weeds [7]. Studies show that the forage legume mass incorporated as green manure increases crop yields and weed biomass, as well as the highest crop N uptake reduction in the presence of weeds [10, 28]. Various studies have been carried out on the cultivation of forage legumes in organic crop rotation [25, 43, 47]. Studies show that the use of legume cover crops (grow for 1 year) generally enhances weed control without reducing crop yield [43, 45, 47]. However, the conditions that determine the benefits should be further explored to encourage this practice among farmers. Perennial legumes are more effective if they grow more than a year in crop rotation. The cultivation of perennial legumes for a longer period of time is limited due to the above-ground mass utilization of perennial legumes is limited in arable farms. Melander er al. [25] argue that biennial leguminous green manure crop can mitigate weed problems in organic annual crops. Forage legumes ground mass can be used as needed, e.g., change the length of the vegetation period, suspetion strategy, and competition. This can be done by mulching [6, 33, 34]. Mulching smothers the weeds by excluding light and providing a physical barrier to impede their emergence. The properties and functions of perennial legume mulch differ substantially from grasses swards [1]; herefore, the differences in their use for weed control are not clear. Combining different agronomic strategies helps to manipulate nutrient cycles, yield, and weed control [10].

We hypothesized that cultivation of perennial forage legumes in crop rotation as a cover crop (legume swards infestation in cereals) or nitrogen supply and soil improvement (green fallow) can increase the competition of cereals, and control the spread of weeds by properly selecting the practice of using the above-ground mass of legume swards. The objective of these complex studies was to evaluate the effects of the cultivation methods of perennial forage legumes, using the above-ground mass, for the suppression of dicotyledonous weeds in organic cropping systems.

Materials and methods

Experimental site and soil

The study was carried out at the Joniškelis Experimental Station of the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, situated in the northern part of Central Lithuania's lowland region (56°21′ N, 24°10′ E) during the period 2008–2017. The soil of the experimental site is Endocalcari–Endohypogleyic Cambisol (CMg-n-w-can), with a clay–loam texture (27% clay, 50% silt, 23% sand). The topsoil (0–25 cm) pH was close to neutral (6.8), and had moderate phosphorus (150 mg kg^{-1} of soil) and humus (2.5%) contents and a high (220 mg kg^{-1} of soil) potassium content. The annual mean temperature and total amount of precipitation are 6.1 °C and 547.4 mm, respectively. The climate of Lithuania's territory is moderately cold. During the field experiments, the plants were grown according to organic farming standards.

Experimental treatments and design

Undersown clover (experiment I)

This study was conducted in 2013–2015 to determine the influence of forage legumes undersown in cereals

on the weediness and productivity of a crop rotation sequence compared to granulated cattle manure (GCM). Crop rotation and experimental design are presented in Table 1. The main crops included oats (*Avena sativa* L.) 'Migla' (seed rate 220 kg ha^{-1}), pea (*Pisum sativum* L.) 'Simona' (320 kg ha^{-1}), spring wheat (*Triticum aestivum* L.) 'Vanek' (250 kg ha^{-1}), red clover (*Trifolium pratense L.*) 'Sadūnai' (12 kg ha^{-1}), an oat–pea mixture (seed ratio 1:1), and spring barley (*Hordeum vulgare* L.) 'Noja' (250 kg ha^{-1}). Red clover (2013) and white clover (*Trifolium repens L.*) 'Nemuniai' (10 kg ha^{-1}) were undersown in cereals, with a seeding rate reduced by 10%. Acorting to experimental design, GCM was applied at 2000 kg ha^{-1} (N-55 kg ha^{-1}, P_2O_5—27 kg ha^{-1} and K_2O—109 kg ha^{-1}), above-ground mass of red clover—2269 kg ha^{-1} (N-76 kg ha^{-1}, P_2O_5—6 kg $ha^{-1}$and K_2O—65 kg ha^{-1}), white clover—2023 kg ha^{-1} (N-54 kg ha^{-1}, P_2O_5—6 kg ha^{-1} and K_2O—75 kg ha^{-1}). The experimental plots, each of 5 m × 12 m, were laid out in a complete one-factor randomized block design with four replicates.

Perennial legumes and above-ground mass mulch (experiment II)

The aim of the experiment was to determine the influence of methods for using forage legumes and their above-ground mass (as mulch and forage) on the weediness and productivity of cereal crops. Three analogous field experiments were established and carried out (in 2007–2010, in 2008–2011, and in 2009–2012). The experiments were conducted in the following crop rotation sequence: barley + undersown perennial grasses (year of introduction) → perennial grasses → winter wheat → winter triticale. The experimental design is presented in Table 2. In the starting years of the experiments (2007, 2008 and 2009), spring barley ('Ūla,' seed rate 250 kg ha^{-1}) was undersown with perennial grasses in compliance with the experimental design: intergeneric hybrid festulolium (*x Festuliolium*) 'Punia' (12 kg ha^{-1}), red clover 'Vyliai' (12 kg ha^{-1}), lucerne (*Medicago sativa* L.) 'Birutė' (8 kg ha^{-1}), and mixtures of forage legumes with festulolium (seed ratio of legume to grass 2:1). The management methods for the above-ground biomass of perennial grasses can be explained as follows: (1) cut twice and removal from the field; (2) mixed management: the herbage of the first cut was removed from the field and the herbage of the second and third cuts was mulched; (3) mulching: herbage was cut four times and mulched. Perennial grasses were cut for forage at the flowering stage, and for mulching at the bud formation stage. In the second half of August, the plots of all treatments were disked and 2 weeks later were ploughed to a depth of 25 cm. The field was cultivated before wheat sowing. In the first year (2009, 2010, and 2011) after perennial grasses and their mulch incorporation, winter wheat ('Tauras,' 250 kg ha^{-1}) was grown, and in the second year (2010, 2011, and 2012) (winter triticale (*Triticum x secale*, 'Woltario' 250 kg ha^{-1}) was grown. The experimental plots were laid out in a randomized complete two-factor block design in four replicates. Individual plot size was 5 m × 16 m.

Plant-based organic manure (experiment III)

Field experiments were established and carried out in 2015–2017 to determine the influence of differently treated (composted, fermented) fertilized forage legume mass on the weediness and productivity of cereals (design in Table 3). The experiments were conducted in the following crop rotation sequence: winter wheat 'Ada' (seed rate 250 kg ha^{-1}) → spring wheat 'Vanek' (250 kg ha^{-1}) → spring barley Noja (250 kg ha^{-1}) with undersown red clover 'Vyliai' (12 kg ha^{-1}). Organic manure was produced in summer of 2015 and applied in spring of 2016, excluding the treatment when green clovers had been mass cut and ploughed in the autumn of 2015. The fermentation (ensiling) of plant-based organic manure was produced from red clover mass (cut at the beginning of flowering stage, on 19 June 2015) and from pea and spring wheat (mass ratio 1:2) mass (cut at the beginning of the development of the wheat grain stage, on 24 July 2015). The fermentation of plant above-ground mass was performed as follows: the mass was cut, chopped, piled into a special trench, and then pressed well to minimize the contact with air as much as possible. Having completed the piling, the mass was sealed as hermetically as possible with a special white bale silage film (standard film thickness, 25 µm). The compost was piled on 22 June 2015 using two main components: the above-ground mass of red clover (three parts) and winter wheat straw (one part). Aerobic composting was used, and to stimulate decomposition, the pile was turned five times. After 9–10 months, in spring, the organic manure was used. After spreading, the manure was incorporated into the 0–10 cm soil layer. The amount of manure was calculated based on the nitrogen content of the manure, so that 1 ha would receive 50 kg ha^{-1} N (with the exception of undersown red clover and fermented pea and wheat mass, which received 76 kg ha^{-1} and 25 kg ha^{-1} N, respectively). Individual plot size was 5 m × 12 m.

Experimental methods and assessments

The above-ground biomass of legumes and legume–festulolium mixtures at each cut and belowground biomass before their ploughing-in were measured. Sampling of above-ground biomass occurred at four randomly chosen squares of 0.25 m^2 in each plot that were cut to ground level and weighed. After plant biomass determination,

Table 1 Design of field experiment I and fertilizing

Rotation sequences					
2013		2014		2015	
Crops	Fertilizing	Crops	Fertilizing	Crops	Fertilizing
Oats (Control)		Spring wheat (SW)		Spring barley (SB)	
Oats	GCM	Spring wheat (SW)		Spring barley (SB)	
Oats	GCM	Spring wheat and undersown white clover (SW + WC)	WC mass[a]	Spring barley (SB)	
Oats and undersown red clover (O + RC)	RC mass[a]	Spring wheat (SW)		Spring barley (SB)	
Mixture of oats and pea (O + P)		Spring wheat (SW)		Spring barley (SB)	
Pea (P)		Spring wheat (SW)		Spring barley (SB)	
Red clover (RC)	RC mass[a]	Spring wheat (SW)		Spring barley (SB)	

GCM granulated cattle manure

[a] Incorporated RC or WC mass

the dry matter was determined after drying the samples to a constant weight at 105 °C, and the above-ground biomasses of the legumes and legume–festulolium mixtures were calculated. All plant samples were dried, milled, and analyzed for nitrogen (N) content, determined by the Kjeldahl method. Grain yield was harvested when the majority of crops had reached hard dough stage (BBCH 87). Each plot of the experiment was harvested with a small-size combine harvester. After threshing grain yields were reported at 14% moisture.

Weed incidence in cereals was assessed twice during the growing period, by measuring the number of weeds and species during the tillering stage (BBCH 27) and during the milk stage (BBCH 75) of cereals, while the dry biomass was only measured during the milk stage. Weed incidence in forage legumes was assessed in spring and after the last mulching (experiment II), or at the grass growth stage (BBCH 61). Measurements were made in 0.25 m^2 fixed plots, in four places per plot.

The data of Experiments I and III were statistically processed using a one-factor the data of Experiments II, a two-factor analysis of variance, as well as correlation and regression methods [36]. The data of the experiment were analyzed when the factual Fisher criterion (F_{fact}) was higher than the theoretical one (F_{theor}). The significance of differences between the means (control and individual treatments) was estimated according to the least significant difference (LSD) at the 0.05 and 0.01 probability levels. The data for the number and mass of weeds were transformed, according to the formula $\sqrt{x+1}$, for statistical analysis. Experiment II provided average data for the factors (perennial grasses and management methods of above-ground biomass) as it showed significant differences. Statistical analysis of the experimental data was performed using the ANOVA version 3.1 software and STAT_ENG version 1.5 from the programme package SELEKCIJA [40], Lithuanian University of Agriculture, Lithuania).

Results and discussion

Undersown clover (experiment I).

Oats and other crops

In experimental plots among annual weeds, *Stellaria media* L., *Veronica arvensis* L., *Sinapis arvensis* L., *Polygonum convolvulus* L., and *Chenopodium album* L. prevailed. Red clover sown in oats suppressed weeds significantly (Table 4). During the growing season (from BBCH 27 to BBCH 75), oats reduced the number of weeds by 73%, and in the case when they were grown with undersown RC—by 84%. The number of weeds was greatest in crops where red clover was grown alone, and where peas and their mixture with oats. The significantly higher oat yield was determined by GCM fertilization compared to non-fertilized one. A strong, significant negative correlation was found between grain yield and weed weight ($r = -0.95$; $p < 0.01$). The competition of oats, peas, and pure red clover (without oats) depended on the ability of these plants to suppress weeds. Oats have outstanding tillering ability, peculiarities of nutrition: they grow tall and, therefore, their competitive properties are strong. Semi-leafless peas are classified as plants with weak weed-suppressing ability [4, 23].

Spring wheat

Cultivating spring wheat as the second crop in a crop rotation resulted in more germinated weeds compared to oats. On average, the number of ephemeral weeds decreased by 51% during the growing season of spring wheat (compared its content in cereal BBCH 75 with BBCH 27). At the beginning of spring wheat maturity, a

Table 2 Crop rotation and design of field experiment II

Years	Crops	Management methods of the above-ground mass*
2007, 2008, 2009	Spring barley with undersown (SB)	
2008, 2009, 2010	Festulolium (Fs)	Removed from the field Mixed management Mulching
	Red clover (RC)	Removed from the field Mixed management Mulching
	Mixture of red clover and festulolium (RC + Fs)	Removed from the field Mixed management Mulching
	Lucerne (L)	Removed from the field Mixed management Mulching
	Mixture of lucerne and festulolium (L + Fs)	Removed from the field Mixed management Mulching
2009, 2010, 2011	Winter wheat (WW)	
2010, 2011, 2012	Winter triticale (WT)	

Note. Forage legumes and their mixture with festulolium mulched mass incorporated in autumn during ploughing, before winter wheat sowing

Table 3 Crop sequence and fertilization of field experiment III

Years	Crops	Plant-based organic manure
2015	Winter wheat (2 treatment undersown red clover)	No manured
2016	Spring wheat	Control with no manure (C)
		Green clovers (undersown in winter wheat) mass cut and ploughed in the fall of 2015 (RC)
		Red clover ground mass fermented under anaerobic conditions (FerRC)
		Fermented pea and spring wheat mass manure (FerP + W)
		Composted red clover and straw manure, in a ratio of 3: 1 (ComRC + S)
		Granulated cattle manure (GCM)
2017	Spring barley	No manured

significantly lower density and dry weight of weeds were observed when the crop was grown together with undersown white clover. The presence of white clover in spring wheat reduced the number of weeds by 72% and weight by 67% compared to the control plot. The red clover mass (2269 kg ha^{-1} DM, containing 76 kg ha^{-1} N) that was incorporated in autumn significantly increased the grain yield of spring wheat, but it did not reduce weediness. Spring wheat grain yield increased (11–17%) using grown legume swards mass as fertilizer, growing grains legume or their mixtures with cereals fertilizing with organic fertilizers. When spring wheat was grown, there was no correlation between grain yield and weight of weeds ($r = 0.15$; $p > 0.05$).

Spring barley

In spring, the number of weeds was the highest in crop rotation sequence with peas, peas mixture with oats, and red clover (without oats) while growing spring barley as the third crop in rotation. A higher number of weeds was determined by sowing spring barley in a weedy crop plot (in crop rotation with red clover, pea, and mixture of pea and oat). During the growing season (from BBCH 27 to BBCH 75), the number of weeds increased in all plots (36% on average), except the barley crop after the incorporation of white clover mass. Contrary to spring wheat, the incorporated undersown white clover mass (2023 kg ha^{-1} DM containing 54 kg ha^{-1} N) increased spring barley competitiveness, and significantly reduced the number of weeds (44%) at the milk stage of cereals, compared to the control plot. Spring barley grain yield was found significantly higher after incorporation of

white clover mass compared to the control. The lowest grain yield was in the crop rotation sequence with peas.

Undersown clover establishes in the lower crop level and competes with weeds. This is especially important in the second half of summer when an undersown clover with drying crop leaves covers the soil surface [14, 49]. Plants and weeds compete for light, water, and nutrient resources [20, 22, 41]. Den Hollander et al. [12] state that the relative growth rate is determined by the characteristics of clover, such as light extinction coefficient, light use efficiency, and specific leaf area. It was determined that the fastest grow soil surface cover was demonstrated by annual clover *Trifolium resupinatum* L. [46]. Gaudin et al. [14] reported that those forage legume species that produced a high yield of above-ground mass were considered to be effective competitors for local resources. The competitive properties of forage legumes also depend on the size of their seeds, and the sowing rate and sowing time [12]. Forage legumes undersown in cereals can both suppress weeds; however, legume can compete with cereals, too [13, 33, 34]. Verret et al. [43] indicated that the use of legume companion plants generally seemed to enhance weed control without reducing crop yield.

Our results provide evidence that the undersowing of red clover in oats during the growing season reduced the number of weeds by 63.8%, and white clover undersown in spring wheat reduced the number of weeds by 72.3%, compared to the weeds present in the respective cereals without undersown. The presence of undersown forage legumes was more effective in spring barley that had lower suppression ability. The incorporation of legumes in crop rotation as a main or services crop (for one growing season) improves cereal nutrition and increases grain yield.

Perennial legumes and above-ground mass mulch (experiment II)

Perennial forage legumes and their mixture with festulolium

In spring, the highest number of weeds was observed in lucerne crop (Table 5). Among annual weeds, *Galium aparine* L., *Viola arvensis* Murr., *Chenopodium album* L., *Lamium purpureum* L., and *Thlapsi arvense* L. prevailed. At the end of summer (crops BBCH 61), species of legume and legume-festulolium mixture and their above-ground mass (herbage) management methods had a significant influence on the number of weeds. Lucerne increased the number of weeds (by 79%) compared to festulolium. The mixed management of the herbage of forage legumes and their mixtures with festulolium and mulching increased the number of weeds (mulching—significantly) compared to that removed from the field (by an average of 36% and by 60%, respectively). The highest number of weeds was observed when lucerne herbage mass was used for mixed management or mulching, and the lowest number of weeds was observed when the whole herbage of red clover and mixture of red clover and festulolium was removed from the field (data not shown).

The dry weight of weeds was strongly influenced by perennial grasses and above-ground mass management. Both the removal of the herbage mass from the field and the whole of its mulching on the soil surface demonstrated the greatest weed dry weights of the forage legumes (Table 5). The conditions for weed growth in terms of higher light penetration, nutritional conditions, and lower competition were the most favorable in mulching treatment. The lowest weed dry weight was obtained while using the above-ground mass in mixed management (the difference was significantly). The species of forage legumes varied in their weed-suppression ability [2, 11]. Increased competitive properties were observed in forage legume and grass mixtures, which is consistent with previous research [37]. The highest weed mass was observed in lucerne; however, it depends on weed species, too. Meiss et al. [24] noted that lucerne had strong negative impacts on broad-leaved weeds with an upright morphology (e.g., *Chenopodium album* L.) and on species which climbed on neighbouring plants (e.g., *Galium aparine* L., *Polygonum convolvulus* L.).

When forage legumes are grown for fodder, they are harvested in later growth stages, and suppress weeds well during the growing season. On the contrary, for mulching, legumes and legume–festulolium mixture are cut in early stages, meaning that the soil surface is often uncovered, and the penetrating light causes weeds to germinate. Additionally, mulch degradation (forage legume mass is particularly intensively degrading) causes nitrogen release, which induces weed germination and increases their mass, unlike the twice cut grass for green feed in later stages [3]. The data show that the mixed management method for use of above-ground mass increased the legume and legume–festulolium mixture yields. The mulch of forage legumes with festulolium formed a more intensive cover on the soil surface due to a denser crop, a thicker mulch layer, and its slower degradation, and served as a physical barrier against weed growth and development [32]. Campiglia et al. [9] reported that the different types of organic mulches could control weeds effectively. In our research, there was no correlation between the mass of mulch and the weight of weeds. However, N of mulch directly correlated with the density and weight of weeds ($r=0.66$, $p<0.05$; $r=0.59$, $p<0.05$, respectively). Four time cutting and mulching can stop inhibited the maturation of weed seeds.

Table 4 Weed density, dry weight, and grain yield in different crop sequences, Experiment I

The first crop in rotation, 2013						The second crop in rotation, 2014					
Crops	Cereal growth stage (BBCH)										
	27	75	75	Grain yield		Crops	27	75	75	Grain yield	
	Density, weeds m^{-2}		Weight gm^{-2} DM	kg ha^{-1}	%		Density, weeds m^{-2}		Weight gm^{-2} DM	kg ha^{-1}	%
O	172	47	5.2	5669	100	SW	204	112	18.5	3767	100
O + GCM	132	38	7.7	6322*	112	SW	234	119	15.2	4281	114
O + GCM	152	48	11.1	6322*	112	SW + WC	154*	31**	6.2**	4162	110
O + RC	109**	17*	2.6	5988	106	SW	192	104	21.6	4420**	117
P + O	133	78	37.4**	5294	93	SW	207	87	16.0	4323	115
P	124	79	154.4**	3051**	54	SW	190	108	19.1	4308	114
RC	151	107*	168.3**	0	0	SW	205	119	14.9	3603	96
Mean	139	59	55.2	5441		Mean	198	97	15.9	4123	
Statistics of ANOVA (*p*)	*< 0.01*	*< 0.01*	*< 0.01*	*< 0.05*		Statistics of ANOVA (*p*)	*< 0.05*	*< 0.01*	*< 0.05*	*< 0.01*	
The third crop in rotation, 2015											
SB	67	99	8.5	2491	100						
SB	64	104	9.3	2683	108						
SB	60	55*	7.7	5016**	201						
SB	72	101	10.8	2456	99						
SB	91**	137**	14.4*	2536	102						
SB	98**	145**	11.9	2286	92						
SB	96**	103	9.7	2405	97						
Mean	78	106	10.3	2839							
Statistics of ANOVA (*p*)	*< 0.01*	*< 0.01*	*< 0.05*	*< 0.01*							

O oat (control), *RC* red clover, *WC* white clover, *SW* spring wheat, *SB* spring barley, *GCM* granulated cattle manure

Values in italic and followed by * or ** are significantly different than the control according to other variant at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively

Winter wheat

The use of lucerne and red clover as preceding crops for winter wheat created good growth conditions for both cereals and weeds. Also, this was demonstrated by the increase of soil mineral N in spring when the vegetation of wheat was renewed [3]. Following these preceding crops, the quantity of weeds which germinated in wheat was higher of 28% and 41% for red clover and lucerne (significantly) respectively, compared to festulolium (Table 6). The lowest number of weeds was observed in the winter wheat grown after festulolium had been used as a preceding crop. During the growing season (from cereal growth stages BBCH 27–BBCH 75), the winter wheat grown after festulolium was used as a preceding crop and had the lowest weed-suppression capacity: the number of weeds increased by 18%. Weeds were best suppressed by the winter wheat grown after red clover. The highest number of weeds was recorded in the winter wheat that was cultivated after lucerne. At the BBCH 75 growth stage of winter wheat, no significant influence of the perennial grasses and above-ground mass used on the dry weight of weed mass was determined. The herbage of lucerne and festulolium mixture reduced the dry weight of weeds (by 19%) compared to festulolium. A lower weed mass mostly corresponds to a lower number of matured seeds [26]. All forage legumes and legume–festulolium mixtures increased wheat grain yield (1220–2028 kg ha^{-1} or 51–85%) compared to festulolium. Mulching increases the yield (454 kg ha^{-1} or 23%) compared to the treatment when herbage was removed from the field.

Winter triticale

Cultivating winter triticale in the second year following ploughing of legumes, festulolium, and their mixture resulted in a higher number of germinated seeds in spring compared to winter wheat. The number of weeds was significantly reduced (by 13%) by the mulching of the herbage of legumes and legume–festulolium mixture. During the growing season, the number of weeds varied marginally. Forage legume and their above-ground mass management methods did not have any significant impact on the weed dry weight. A positive effect on the yield of legumes and their mixtures with festulolium (except mixture or luceren and festulolium) was also found in the second year. The yield supplement of winter triticale grain was 395–482 kg ha^{-1} or 15–19%, compared to control.

In our studies, the use of festulolium as a preceding crop did not increase the competitiveness of cereals. In contrast, crop residues may encourage weed emergence in certain circumstances, either when residues maintain soil moisture at a level suitable for germination during periods of drought or when germination-stimulating compounds such as nitrates are released [22]. Red clover and lucerne induced the germination of weed seeds at the beginning of the growing season compared to the festulolium. In most cases, the above-ground mass of forage legumes increased cereal competitiveness against weeds, and the weed number decreased during the growing season (Table 6). The incorporated plant residues affect soil temperature, the quality and quantity of light, and biological activity at various trophic levels in the leaf canopy and underlying soil [41], with affect weed germination as well. Mulching of above-ground mass increased grain yield by 14% compared to non-mulched.

Our results provided the cultivation of perennial forage legumes in cereal crop rotation and the technique of using the above-ground mass for mulching changed the established life cycle of plants, which adversely affected the spread of weeds. Forage legumes stimulated weeds to germinate; after germination, repeated cutting and mulch spreading on the soil surface were performed, which prevented seed maturation. This reduced the spread of weeds via seeds.

Forage legumes and their combinations with festulolium as preceding crops provided favorable conditions for weed germination in the winter wheat crop. Cereal cultivation after forage legume cultivation strengthened the crop and its competitive ability. Winter cereals grown after festulolium cultivation demonstrated weak weed suppression.

Plant-based organic manure (experiment III)

Winter wheat (data not shown)

Plant-based organic manure was produced to preserve nitrogen in the plant mass, to reduce the intensity of mineralization and to extend their duration effect [42]. In the spring of the first (2015) research year, after the vegetative growth of winter wheat resumed, the weed number recorded was 54–88 plants m^{-2}. On average, at the end of summer, before wheat harvest, the number of weeds increased by 32% compared to the number of weeds in spring. Significantly lower weed dry weight was observed in cereals with undersown red clover. Among annual weeds, *Veronica arvensis* L., *Chenopodium album* L., and *Lamium purpureum* L. prevailed.

Spring wheat

In 2016, when organic manure was used, a significantly lower number (wheat growth stage BBCH 27 and 75) and dry weight of weeds (wheat growth stage BBCH 75) were observed in the plot with undersown red clover mass incorporated in the autumn (Table 7).

The incorporation of red clover mass improved the nutrition and weed-competitiveness of cereals. This practice is widely used in other countries [15]. A significantly

Table 5 The effect of perennial forage legumes and their above-ground biomass management methods on the weed density and dry weight, Experiment II

Treatments	Weeds				Forage legumes and the mixture with festulolium			
	Perennial swards growth stage (BBCH)				Yield kg ha^{-1}	Mass of mulch kg ha^{-1}	Applied N with mulch kg ha^{-1}	
	27		61					
	Density plants m^{-2}		Density plants m^{-2}	Weight gm^{-2} DM				
Perennial legume and legume- grasses								
Fs (control)	30	47		8.1	4728	2030		28.6
RC	24	56		12.8	7866**	4072		131.6
Fs+RC	24	55		7.7	8134**	3979		106.8
L	39**	84*		14.5	7293**	3754		129.7
L+Fs	31	56		5.9	8013**	3836		103.7
Statistics of ANOVA (*p*)	*< 0.01*	*< 0.05*		*< 0.01*	*< 0.01*	–		–
Management methods of above-ground biomass								
Removal from field (control)	30	45		11.0	7100	0		0.0
Mixed	31	61		7.3	7945**	4028		115.4
Mulching	29	72**		11.1	6575	6575		184.9
Statistics of ANOVA (*p*)	*n.s*	*< 0.01*		*< 0.01*	*< 0.01*	–		–

Fs festulolium, *RC* red clover, *L* Lucerne, *RC+Fs* mixture of red clover and festulolium, *L+Fs* mixture lucerne and festulolium; Values in italic and followed by * or ** are significantly different than the control according to other variant at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively. n.s. indicate significant differences; value in brackets indicate standard error

lower dry weight of weeds (45% lower) was observed in the experiment that used fermented pea and spring wheat mass. The literature emphasizes that fermented plant mass contains phytoncides and acetic acid, which can inhibit the growth and development of weeds and contribute to a decline of the seed bank [16, 18]. Fermented red clover mass and composted red clover and straw manure have a tendency to reduce the weight of weeds (by 29% and 27%, respectively). The use of fertilizer GCM resulted in the highest number and dry weight of weeds. This could have been caused by uneven weed density, different species composition, and low competition for nutrients. Mieldazys et al. [27] found that cattle manure significantly increased the total number of productive stems per plant, making the crop denser and weed suppression stronger. Having compared the total weediness of spring wheat (2016) and winter wheat (2015), we found that the number of weeds (cereal growth stage BBCH 27 and 75) and the dry weight of weeds (cereal growth stage BBCH 75) decreased marginally after the application of plant-based manure. The spring wheat yield after the use of fermented and composted plant-based manure had a tendency to decrease.

Spring barley

In the second year (2017) of the use of organic manure, the number and the dry weight of weeds (cereal growth stage BBCH 75) increased on average by 22%, and by 36%, respectively, compared to spring wheat. A significantly higher dry weight of weeds before harvest was observed when red clover had been undersown. When using fermented red clover mass and fertilizer GCM, the grain yield increased by 13% and 17% respectively, compared to control. This had no significant effect on weediness. The results reported that spring barley grain yields inversely correlated with the weight of weeds ($r = -0.70$, $p < 0.05$).

The use of compost and manure amendment, cover crops, and other low-external-input management practices create a change in the physical, chemical and biological properties of soil [29]. Additionally, surface residues can affect seed germination via physical and chemical changes to the seed environment [31]. There is a paucity of research on the effects of plant-based organic manure on the incidence of weeds in organic farming.

Our results provide that fermented red clover mass and fermented pea and spring wheat mass low degree of decomposition and N release (C:N = 21 and C:N = 35, respectively) did not increase weed weight (with relatively high crop productivity of 3766–3774 kg ha^{-1}). These manure did not affect weeds in a less competitive spring barley.

Concluding remarks

Studies show that forage legumes are multifunctional plants, one of the functions of which is to control the spread of crop weed populations. The undersowing of red clover in oats during the growing season reduced the number of weeds by 63.8%, and white clover undersown in spring wheat reduced the number of weeds by 72.3%, compared to the weeds present in the respective cereals without a grass undersown. The presence of undersown forage legume was more effective in cereals that had lower suppression ability. White clover is valued for its ability to compete with cover crop. This type of clover has a creeping, rooted stem, making it the best 'carpet-forming' grass to cover the soil surface. In the case of short cultivation of legume swards (one vegetation period), their effect as a pre-sowing on cereal yield depends on the above-ground mass of legume swards.

The cultivation of perennial forage legumes in cereal crop rotation (for a longer period) and the technique of using the above-ground mass for mulching changed the established life cycle of plants, which adversely affected the spread of weeds. Forage legumes stimulated weeds to germinate; after germination, repeated cutting and mulch spreading on the soil surface were performed, which prevented seed maturation. This reduced the spread of weeds via seeds. Forage legumes, and their combinations with festulolium as preceding crops, provided favourable conditions for weed germination in the winter wheat crop. Cereal cultivation after forage legume (as a source of nitrogen) strengthened the crop and its competitive ability. The number of weeds in the winter wheat grown after red clover cultivation during the growing season decreased by 23% on average (while applying the above-ground mass in mixed ways and mulching); and after growing Lucerne, the number of weeds decreased by 14% (while using the above-ground mass in mixed ways). Winter cereals grown after festulolium cultivation demonstrated weak weed suppression. Red clover grows in almost all soils, competes well with weeds, and produces large above-ground mass, especially after harvesting cereals. It regrows quickly during mulching. During the sowing year, lucerne grows slowly and does not cover the soil surface as a rule. However, mixtures with grasses are ideal for growing for two years or more.

In arable farms, legume sward can be processed into organic fertilizers. These manure were mainly affected by the years of fertilizer use. Studies show that the dry weight of weeds decreased (by 27–45%) when the crops were fertilized with fermented and composted organic fertilizers.

The choice of forage legume cultivation method (especially with the proliferation of weeds) is a trade-off

Table6 The effect of the above-ground mass of perennial forage legumes, used as green manure, on annual weed density, dry weight, and gain yields of winter cereals, Experiment II

Treatments	Winter wheat						Winter triticale					
	Perennial swards growth stage (BBCH)			Grain yield			Perennial swards growth stage (BBCH)			Grain yield		
	27	75	75	kg ha^{-1}	%		27	75	75	kg ha^{-1}	%	
	Density weeds m^{-2}		Weight gm^{-2} DM				Density weeds m^{-2}		Weight gm^{-2} DM			
Perennial legume and legume- grasses												
Fs (control)	39	46	20.7	2384	100	69	54	19.9	2585	100		
RC	50	43	18.8	4412**	185	69	62	21.4	2980**	115		
Fs+RC	47	47	19.0	3694**	155	64	57	21.4	3000**	116		
L	55**	53	20.8	4104**	172	72	64	23.3	3067**	119		
L+Fs	44	43	16.7	3604**	151	62	62	26.2	2781	108		
Statistics of ANOVA (*p*)	*< 0.01*	*< 0.01*	*n.s*	*< 0.01*		*n.s*	*< 0.05*	*n.s*	*< 0.01*			
Management methods of above-ground biomass												
Removal from field (control)	49	50	21.0	3410	100	71	62	20.3	2712	100		
Mixed	45	44	18.4	3646	107	69	58	22.0	2840	105		
Mulching	46	45	18.3	3864**	113	62*	59	25.0	3096*	114		
Statistics of ANOVA (*p*)	*n.s*	*< 0.01*	*n.s*	*< 0.01*		*< 0.05*	*n.s*	*n.s*	*< 0.05*			

Fs festulolium, *RC* red clover, *L* Luceme, *RC+Fs* mixture of red clover and festulolium, *L+Fs* mixture luceme and festulolium, *K* control

Values in italic and followed by * or ** are significantly different than the control according to other variant at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively. n.s. Indicate significant differences

Table 7 Influence of plant-based manure on weed density, dry weight, and grain yields of cereals, Experiment III

Organic manure	Spring wheat					Spring barley + undersowing				
	Cereal growth stage (BBCH)									
	27	75	75	Grain yield		27	75	75	Grain yield	
	number m^{-2}		Weight gm^{-2} DM	kg ha^{-1}	%	number m^{-2}		Weight gm^{-2} DM	kg ha^{-1}	%
No manure (control)	70	67	23.2	4015	100	78	77	22.1	2450	100
RC	48*	47*	9.4*	4237	108	115**	90	29.0*	2360	96
FerRC	63	66	16.4	3774	94	97	88	24.0	2777*	113
FerP + W	57	52	12.7*	3766	94	94	79	25.3	2496	102
ComRC + S	62	67	16.9	3818	95	95	70	20.2	2665	109
GCM	74	80	24.5	4297	107	86	60	19.7	2863*	117
Mean	62	63	17.2	3985		94	77	23.4	2602	
Statistics of ANOVA (p)	*p < 0.05*	*p < 0.05*	*p < 0.05*	n.s		*p < 0.01*	n.s	n.s	*p < 0.05*	

RC green clovers mass cut and ploughed in the fall, *FerRC* red clover ground mass fermented under anaerobic conditions, *FerP + W* fermented pea and spring wheat mass manure, *ComRC + S* composted red clover and straw manure, *GCM* granulated cattle manure

Values in italic and followed by * or ** are significantly different than the control according to other variant at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively

between the expected ecosystem services and the possibility to obtain commercial products each year.

Acknowledgements
The paper presents research findings, obtained through the long-term research programme "Biopotential and quality of plants for multifunctional use" implemented by Lithuanian Research centre for Agriculture and Forestry.

Authors' contributions
AA and LŠ—have drafted the work. WG—the acquisition, analyzed, and interpreted the data of Experiment I; LŠ and MT—the acquisition, analyzed, and interpreted the data of Experiment III; DR and LM—the acquisition, analyzed, and interpreted the data of Experiment II; ŽK and AA—developed a research scheme. All authors read and approved the final manuscript.

Funding
This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Grant Agreement No. 727672".

Availability of data and materials
The datasets used and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Declarations

Ethics approval and consent to participate
Not applicable.

Consent for publication
Not applicable.

Competing interests
The authors declare that they have no competing interests.

Author details
[1]Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Joniškelis Experimental Station, Pasvalys District, Joniškėlis, Lithuania. [2]Institute of Agriculture, Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Kėdainiai District, Akademija, Lithuania.

Received: 7 December 2020 Accepted: 27 April 2021
Published online: 09 June 2021

References

1. Adekiya AO, Agbede TM, Aboyeji CM, Dunsin O. Response of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) and soil properties to different mulch materials in different cropping seasons. Sci Hortic. 2017;217:209–16.
2. Anderson RL. A rotation design to reduce weed density in organic farming. Renew Agric Food Syst. 2010;25:189–95.
3. Arlauskiene A, Jablonskyte-Rasce D, Slepetiene A. Effect of legume and legume-festulolium mixture and their mulches on cereal yield and soil quality in organic farming. Archiv Agron Soil Sci. 2020;66(8):1058–73.
4. Arlauskienė A, Šarūnaitė L, Deveikytė I, Kadžiulienė Ž, Maikštėnienė S. Suppression of annual weeds in pea and cereal intercrops as influenced by different growing conditions. Agron J. 2014;106(5):1765–74.
5. Armengot L, Jose-Maria L, Chamorro L, Sans FX. Weed harrowing in organically grown cereal crops avoids yield losses without reducing weed diversity. Agron Sustain Dev. 2013;33(2):405–11.
6. Bahadur S, Verma SK, Prasad SK, Madane AJ, Maurya SP, Gaurav V, Vermaand VK, Sihad SK. Eco-friendly weed management for sustainable crop production-A review. J Crop Weed. 2015;11(1):181–9.
7. Bajwa AA. Sustainable weed management in conservation agriculture. Crop Prot. 2014;65:105–13.
8. Bastiaans L, Paolini R, Baumann DT (2002) Integrated crop management: opportunities and limitations for prevention of weed problems. In: Proceedings of the 12th symposium of the European Weed Research Society, Wageningen, p 8–9
9. Campiglia E, Paolini R, Colla G, Mancinelli R. The effects of cover cropping on yield and weed control of potato in a transitional system. Field Crops Res. 2009;112(1):16–23.
10. Ciaccia C, Montemurro F, Campanelli G, Diacono M, Fiore A, Canali S. Legume cover crop management and organic amendments application: effects on organic zucchini performance and weed competition. Sci Hortic. 2015;185:48–58.
11. Connolly J, Sebastia MT, Kirwan L, Finn JA, Llurba R, Suter M, Bélanger G. Weed suppression greatly increased by plant diversity in intensively managed grasslands: a continental-scale experiment. J Appl Ecol. 2018;55(2):852–62.
12. Den Hollander NG, Bastiaans L, Kropff MJ. Clover as a cover crop for weed suppression in an intercropping design I. Characteristics of several clover species. Eur J Agron. 2007;26:92–103.

13. Den Hollander NG, Bastiaans L, Kropff MJ. Clover as a cover crop for weed suppression in an intercropping design II. Competitive ability of several clover species. Eur J Agron. 2007;26:104–12.
14. Gaudin ACM, Westra S, Loucks CES, Janovicek K, Martin RC, Deen W. Improving resilience of northern field crop systems using inter-seeded red clover: a review. Agronomy. 2013;3:148–80.
15. Gnanavel I. Eco-friendly weed control options for sustainable agriculture. Sci Int. 2015;3:37–47.
16. Jebarathnam G, Kathiresan RM. Influence of organic manures on the weed seed bank in maize. Indian J Weed Sci. 2006;38:247–9.
17. Kolb LN, Gallandt ER. Weed management in organic cereals: advances and opportunities. Org Agr. 2012;2:23–42.
18. Kremer RJ. Management of weed seed banks with microorganisms. Ecol Appl. 1993;3:42–52.
19. Lazauskas P. Agronomical practices against weeds. Mekisiute G Ed. Vilnius: Mokslas; 1990. p 37–50
20. Liebman M, Davis AS. Integration of soil, crop and weed management in low external input farming systems. Weed Res. 2000;40:27–47.
21. Lowry CJ, Smith RG. Weed control through crop plant manipulations. In: Jabran K, Chauhan BS, editors. Non-chemical weed control. New York: Academic Press; 2018. p. 73–96.
22. Lu Y-C, Watkins KB, Abdul-Baki TJR, AA, . Cover crops in sustainable food production. Food Rev Int. 2000;16:121–57.
23. Lundkvist A, Salomonsson L, Karlsson L, Gustavsson AMD. Effects of organic farming on weed flora composition in a long term perspective. Eur J Agron. 2008;28(4):570–8.
24. Meiss H, Médiène S, Waldhardt R, Caneill J, Bretagnolle V, Reboud X, Munier-Jolain N. Perennial lucerne affects weed community trajectories in grain crop rotations. Weed Res. 2010;50:331–40.
25. Melander B, Rasmussen IA, Olesen JE. Legacy effects of leguminous green manure crops on the weed seed bank in organic crop rotations. Agr Ecosyst Environ. 2020;302:107078.
26. Menalled F, Schonbeck M (2018) Manage the weed seed bank—minimize "deposits" and maximize "withdrawals". https://www.mssoy.org/uploads/files/weed-seed-bank-ext.pdf. Accessed: July 27, 2018
27. Mieldazys R, Jotautiene E, Jasinskas A, Aboltins A (2017) Evaluation of physical mechanical properties of experimental granulated cattle manure compost fertilizer. In: Proceedings of the international scientific conference. Latvia University of Agriculture, p 575–580
28. Mueller T, Thorup-Kristensen K. N-fixation of selected green manure plants in an organic crop rotation. Biol Agric hortic. 2001;18:345–63.
29. Ngouajio M, McGiffen ME. Going organic: changes weed population dynamics. HortTechnology. 2002;12(4):590–6.
30. Nichols V, English L, Carlson S, Gailans S, Liebman M (2020) Effects of Long-Term Cover Cropping on Weed Seedbanks. Front Agron 2:591091
31. Nichols V, Verhulst N, Cox R, Govaerts B. Weed dynamics and conservation agriculture principles: a review. Field Crop Res. 2015;183:56–68.
32. Patil SS, Kelkar TS, Bhalerao SA. Mulching: a soil and water conservation practice. Res J Agric Forest Sci. 2013;1:26–9.
33. Pfeiffer A, Erin S, Colquhoun JC. Living mulch cover crops for weed control in small-scale applications. Renewable Agric Food Syst. 2016;31(4):309–17.
34. Pfeiffer A, Silva E, Colquhoun J. Living mulch cover crops for weed control in small-scale applications. Renew Agric Food Syst. 2016;31:309–17.
35. Rasmussen J, Nørremark M. Digital image analysis offers new possibilities in weed harrowing research. Zemdirbyste. 2006;93:155–65.
36. Raudonius S. Application of statistics in plant and crop research: important issues. Zemdirbyste. 2017;104(4):377–82.
37. Sanderson MA, Brink G, Ruth L, Stout R. Grass–legume mixtures suppress weeds during establishment better than monocultures. Agron J. 2012;104:36–42.
38. Sardana V, Mahajan G, Jabran K, Chauhan BS. Role of competition in managing weeds: an introduction to the special issue. Crop Prot. 2017;95:1–7.
39. Sinchana JK, Raj SK. Weed management in pulses: a review. Legume Research. 2020. Accessed 09 Nov 2020
40. Tarakanovas P, Raudonius S. The statistical analysis of agronomic research data using the software programs Anova, Stat, Split-Plot from package Selekcija and Irristat, Zidoniene, M., ed.; Publisher: Akademija, Kaunas distr; 2003. p 6–52
41. Teasdale J, Brandsæter L, Calegari A, Neto FS. In non-chemical weed management– principles, concepts and technology.In: Upadhyayaln MK, Blackshaw RE, eds. Oxfordshire: CABI International. 2007. p 49–64
42. Toleikienė M, Arlauskienė A, Šarūnaitė L, Šidlauskaitė G, Kadžiulienė Ž. The effect of plant-based organic fertilisers on the yield and nitrogen G utilization of spring cereals in the organic cropping system. Zemdirbyste-Agriculture. 2020;107(1):17–24.
43. Verret V, Gardarin A, Pelzer E, Médiène S, Makowski D, Valantin-Morison M. Can legume companion plants control weeds without decreasing crop yield? A meta-analysis. Field Crop Res. 2017;204:158–68.
44. Vilora RA, Plaza EH, Navarrete L, Sánchez MJ, Sánchez AM. Climate and tillage system drive weed communities' functional diversity in a Mediterranean cereal-legume rotation. Agric Ecosyst Environ. 2019. https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106574.
45. Vrignon-Brenas S, David C. Biotic and abiotic factors impacting establishment and growth of relay intercropped forage legumes. Eur J Agron. 2016;81:169–77.
46. Wanic M, Myśliwiec M, Jastrzębska M, Michalska M. Interactions between spring wheat (*Triticum aestivum* ssp. vulgare L.) and undersown Persian clover (*Trifolium resupinatum* L.) depending on growth stage and plant density. Acta Agrobot. 2016;69(1):1655–69.
47. Wayman S, Cogger D, Benedict C, Burke I, Collins D, Bary A. The influence of cover crop variety, termination timing and termination method on mulch, weed cover and soil nitrate in reduced-tillage organic systems. Renew Agric Food Syst. 2015;30(5):450–60.
48. Weisberger D, Nichols V, Liebman M. Does diversifying crop rotations suppress weeds? A meta-analysis. PLOS ONE. 2019;14(7):e0219847. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219847.
49. Yeganehpoor F, Salmasi SZ, Abedi G, Samadiyan F, Beyginiya V. Effects of cover crops and weed management on corn yield. J Saudi Soc Agric Sci. 2015;14:178–218.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Submit your manuscript to a SpringerOpen journal and benefit from:

- ► Convenient online submission
- ► Rigorous peer review
- ► Open access: articles freely available online
- ► High visibility within the field
- ► Retaining the copyright to your article

Submit your next manuscript at ► springeropen.com

SUMMARY OF DOCTORAL DISSERTATION

INTRODUCTION

Agriculture in Lithuania is one of the most important sources of income for the country's economic sectors and rural areas. In addition, it contributes significantly to the loss of biodiversity and environmental pollution. In this sector, it is much more difficult to control greenhouse gas (GHG) emissions, leaching of nutrients, soil degradation, and other adverse events, as agricultural activities involve extremely complex biological and ecological processes.

Europe is working to reduce the environmental impact of intensive agriculture and the use of synthetic, anthropogenic raw materials (Wittwer et al., 2017). The European Commission has developed a strategy for sustainable economic growth – the Green Deal (European Green Deal), to promote resource efficiency in the transition to a clean circular economy; restore biodiversity and reduce pollution. One of the objectives of this document is to achieve that by 2030 at least 25 percent of the EU agricultural land will be used for organic farming (Farm to Fork Strategy). Organic agrosystems are recognised as sustainable farming systems that reduce energy costs, protect the environment and provide consumers with safe and quality food (European Commission, 2019).

In Lithuania, the establishment of organic farms has slowed down, most of these farms usually certify grain and legume cereals, and have given up animal husbandry (Arlauskienė et al., 2015). Such organic farming systems do not maintain the principle of ecology: a potentially closed cycle, which requires a wide variety of species and forms and a reduction in the cost of energy and imported resources. Disintegration of the ecosystem (spread of harmful organisms, disruption of nutrient cyclicality, deterioration of soil quality) often reduces the yield of cultivated plants and the competitiveness of organic farming (Abbot, Manning, 2015; Arlauskienė et al., 2020).

The European Green Deal emphasizes the special role of new technologies, sustainable solutions and breakthrough innovation. It is proposed to implement environmentally safe strategies and management practices in plant growing technologies, i.e. reduced tillage or direct sowing technologies, perennial crops, and instead of fallow fields, to use soil cover crops, catch crops or intercropping (Anderson, 2015; Zikeli, Gruber, 2017; Francaviglia et al., 2019). One solution, combining several environmentally sustainable technological elements, is intercropping. The advantages of intercropping are higher overall productivity, better control of diseases and pests, strengthening of ecological services and higher economic profitability of the crop (Cooper et al., 2016; Bybee-Finley, Ryan, 2018; Arlauskiene et al., 2020).

Much research has been done on growing legumes for a short period of time (one year). In order to keep legumes for a longer period of time (without allocating field in the crop rotation) and sow cereals, farmers face the regularities of sowing cereals and plant competitiveness management problems (Arlauskiene et al., 2020). Recently, more and more various direct/strip sowing implements are being introduced to the Lithuanian market, the application of which in the forage legumes and cereal intercropping technologies has not been studied that much yet.

In Lithuania, there is a lack of knowledge about the principles of plant selection for intercropping, their competitive properties, technical solutions for installing these crops and reducing the competitiveness of plants and the spread of weeds.

Hypothesis: it is likely, that increasing plant diversity in monocropping and intercropping of forage legumes and cereals, improving their cultivation technologies, possible to reduce interspecies competition between plants for environmental resources, maintain forage legumes for a longer period of time and stabilize crop rotation productivity

Objective: to determine the regularities of plant competition, nutrition, weed and yield formation in monocropping and intercropping in organic crops of forage legumes and cereals using conventional and strip tillage and sowing system.

Research tasks:

1. To evaluate the regularities and productivity of yield formation of oat with perennial and annual forage legumes.
2. To determine the regularities of nitrogen release in the soil by applying strip tillage and sowing of winter wheat into forage legumes in comparison with monocropping and conventional tillage.
3. To determine the regularities of plant competition, nutrition N, P, K in monocropping and intercropping of forage legumes and winter wheat, using strip tillage and sowing system.
4. To evaluate the productivity of crop rotation chains with forage legumes, grown in monocropping and intercropping, using conventional and strip tillage and sowing, productivity and changes in soil chemical properties.

Defended statements

1. Perennial and annual forage legumes, undersown in oat, more intense aboveground mass formulate after the oats have heading, so this does not adversely affect the productivity of oats and the accumulation of nutrients in the grain.

2. The decomposition of forage legumes mass and residues and the release of nitrogen depend on the intensity of tillage. Nitrogen release and winter wheat nitrogen demand do not always coincide.
3. During vegetation in intercropping between winter wheat and forage legumes have going competition for nutrients
4. Intercropping forage legumes and winter wheat strip tillage and sowing crops increase the overall productivity of the crop rotation chain compared to the monocropping and conventional tillage crop rotation.

The novelty of the research

The research provides new knowledge about the properties of black medick, Egyptian and white clover, the peculiarities of their cultivation with oat intercropping and intercropping with winter wheat. The research identified the interaction between monocropping and intercropping and tillage and sowing methods: increasing the intensity of tillage after forage legumes increased the amount of nitrate nitrogen in the soil during no plant vegetation, while application of strip tillage and sowing winter wheat into forage legumes – it decreased. As the amount of mineral nitrogen in the soil increased, the aboveground mass of winter wheat and the amount of nutrients stored in it increased. Intercropping were dominated by winter wheat, white clover was more resistant to competitive pressure than black medick. Mostly plants competed for N and K. Mulch of living and dead forage legumes were studied in intercropping. Productivity advantages of crop rotation chains with intercropping compared to the crop rotation chain, were to grow monocropping and applied conventional tillage were determined.

The practical relevance of the research

The results of the research will contribute to the development and improvement of no plowing organic farming technologies. Knowledge of forage legumes and cereal intercropping and their inclusion in crop rotation will help increase the diversity of farm crops. Strip tillage and sowing system were applied for the set up of intercropping. The obtained research data are new and evaluated in the conditions of intensive farming from the point of view of sustainable agriculture.

RESEARCH CONDITIONS AND METHODS

Object of research: monocropping and intercropping of forage legumes and cereals.

Research site and conditions. Two analogous field experiments were set up for annually 2018–2020 (Experiment I) and 2019–2021 (Experiment II) and they were performed at the Joniškėlis Experimental Station of the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, located in the northern part of the Central Lithuania. The soil at the experimental site was classified as an *Endocalcari-Endohypogleyic Cambisol* (Siltic, Drainic), the texture of which is clay loam on silty clay with deeper lying sandy loam. In experiment I, the topsoil pH (0–25 cm) is 6.09 and subsoil (25–50 cm) – 7.18, mobile P_2O_5 – 146 mg $kg^{-1}$and 157 mg kg^{-1}, respectively, and mobile K_2O – 276 mg $kg^{-1}$and 207 mg kg^{-1}, respectively. The pH of the topsoil in Experiment II was 5.90 and in the subsoil – 6.94, mobile P_2O_5 – 121 mg $kg^{-1}$and 117 mg kg^{-1}, respectively, and mobile K_2O – 298 mg $kg^{-1}$and 192 mg kg^{-1}, respectively.

Experimental parameters and scheme.

Twelve winter wheat management strategies with two soil tillage treatments—conventional deep inversion tillage and strip tillage and two methods of forage legumes aboveground mass mulching were studied (Table 1). The experiment is carried out in 4 replicates. The size of individual plot was 120 m^2 (6×20 m). The plot buffer strip is 1 m wide, and it is 5 m wide between replicates.

Table 1. *Cultivation and sowing methods for field experiments.*

Rotation Sequences							*Treatment*
First year of the experiment		***Second year of the experiment***			***Thirdt year of the experiment***		
Soil Tillage	***Crops***	***Soil Tillage***	***Crops***	***Mulching of Forage Legumes***	***Soil Tillage***	***Crops***	
Conventional tillage	*Oat (Control)*	*Conventional tillage*	*Winter wheat (WW)*	*No*	*Conventional tillage: cereal straw incorporated into the soil during ploughing*	*Spring wheat (SW)*	*O–WW–SW*
	Black medick (BM)						*BM–WW–SW*
	White clover (WC)						*WC–WW–SW*
	Egyptian clover (EC)						*EC–WW–SW*
Conventional tillage	*Oat (O)*	*Strip tillage and sowing*	*Winter wheat (WW)*	*No*	*Conventional tillage: mass of forage legumes and cereal straw incorporated into the soil during ploughing*	*Spring wheat* (SW)	*O–WW*
	Oat and black medick intercrop (O+BM)		*Black medick and winter wheat intercrop (BM+WW)*	*No*			*O+BM–BM+WW–SW*
				once			*O+BM–BM+WW+1M–SW*
				twice			*O+BM–BM+WW+2M–SW*
	Oat and white clover intercrop (O+WC)		*White clover and winter wheat intercrop (WC+WW)*	*No*			*O+WC–WC+WW –SW*
				once			*O+WC–WC+WW+1M–SW*
				twice			*O+WC–WC+WW+2M–SW*
	Oat and Egyptian clover intercrop (O+EC)		*Egyptian clover and winter wheat intercrop* (EC+WW)	*Freezing mulch*			*O+EC–WW–SW*

Two analogous field experiments were established and carried out in 2018 and 2019 in separate areas of the same field. The experimental plots were ploughed in the autumn, and in the spring before oats sowing, were cultivated at the 4–5 cm depth. In the first years in 2018 and 2019 of the experiment, the main crop was spring oat, cv. 'Migla DS' (O). The oats was sown on 23 April 2018 and 16 April 2019 at a seed rate of 180 kg ha^{-1} using narrow spacing a drill (with 0.125 m row spacinng) at 3 cm depth. After sowing oats, on 25 April 2018 and 16 April 2019, forage legumes were undersown in oats: black medick cv. 'Arka 133 DS' (O+BM), white clover cv. 'Nemuniai' (O+WC) and Egyptian clover cv. 'Cleopatra' (O+EC). The forage legumes seeds (in 2018 – 8 kg ha^{-1}, in 2019 – 10 kg ha^{-1}) were sown at 2 cm depth using a narrow spacing drill. At the same time, oats and forage legumes (black medick, white clover and Egyptian clover) were also sown in monocrops. The oat grain yield harvested on 2 August 2018, and on 4 August 2019. After harvesting the oats, the straw was chopped and spread. Forage legumes in monocrops were mulched twice during the growing season (mid-July and late summer before ploughing), and those intercropped were mulched once in late summer. In conventional tillage (according to the respective treatments), the following were used: deep inversion tillage and a pre-sowing cultivation unit. The winter wheat, cv. 'Gaja DS' was drill-seeded at a rate of 230 kg ha^{-1} with 0.125 m row spacing, at a depth of 2.5–3.0 cm (in 2018 on 27 September, in 2019 on 25 September 2019). In the strip tillage system, involving one-pass tillage, winter wheat sowing operations were performed using a Pro Till 3T hybrid machine manufactured by Mzuri. The row spacing was 0.33 m (the width of the strips of sown winter wheat – 13.0 cm, and the width of the strips of forage legumes in the rows – 20.00 cm), the sowing depth was also 2.5–3.0 cm, and it was sown at a density of 190 kg ha^{-1} (in 2018 on 25 September, in 2019 on 13 September). In October 2019 and 2020, after growing winter wheat (straw was chopped and spread by the harvesting machine),each plot was ploughed. In the spring, before spring wheat sowing, the soil was a pre-sowing cultivation unit (4 – 5 cm depth). The spring wheat cv. 'Granaria', was sown on 8 April 2020 and on 16 April 2021 (280 kg ha^{-1}), using narrow spacing a drill (with 0.125 m row spacing) at 3 cm depth. The grain yield was harvested on 14 August 2020 and 16 on August. To reduce the competitiveness of forage legumes in strip intercropping systems (BM+WW, WC+WW), the forage legume was mulched once (1M) and twice (2M) (Table 1). The mass of Egyptian clover froze in 2018–2019 and 2019–2020 winter period (freezing mulch). Mulching of the aboveground mass was performed using cordless grass shears.

Biometric indicators and yield determination. For the field experiments, biometric indicators of oats and wheat were determined when the cereals reached the maturity stage (BBCH 87). Grains yield of oat, winter wheat, and spring wheat were harvested when the cereals were full maturity of stage (BBCH 89). Grain yield harvested with a small combine harvester Sampo

500 (plot size 2.3 × 18.0 m). The grain was weighted and taken 1.0 kg grain samples from each plot for the the determination of 1000-grain weight (TGW) and grain DM content. Oat grain and straw yield were measured by weighing. The grain yield was converted to standard moisture (14%) and straw to DM.

Determination of competitiveness. Competitiveness of forage legumes and grain cereals was determined in oat and forage legumes intercrops (O+BM, O+WC and O+ED) and intercrops forage legumes and winter wheat (BM+WW, WC+WW). Plant competitiveness in oats with forage legumes intercrop was determined at the beginning of oat flowering (BBCH 61–63), at the beginning of grain development (BBCH 71–73) and ripened grain (BBCH 87–89) growth stages. In forage legumes and winter wheat intercrop, at stem elongation (BBCH 37–39), at the beginning of flowering (BBCH 59–61) and at the stage of grain ripened (BBCH 87–89). When oats and winter wheat reached the planned growth stage, the aboveground mass of cereals, legumes and weeds was cut from four sites in each field (0.25 m^2 sites). During the mentioned periods, the plant mass was cut from the crops of monocrops oats, winter wheat and legumes. The structure of the plant samples (cereals, legumes and weeds) was determined, weighed, dried to air-dry mass, crushed and the dry matter was determined (dried to constant mass at 105 ° C temperature). Samples were prepared for the determination of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) concentrations.

Plant and soil analysis. In plant samples N was determined using the Kjeldahl method with the Kjeltec system 1002, P and C concentrations were spectrophotometrically coloured reaction with ammonium molybdate-vanadate at 430 nm using a Cary 50 UV-Vis spectrophotometer, and K concentrations were determined by atomic absorption spectrometry using the Analyst 200. In the years of installation of the experiments (in 2018, 2019) and at the end of them (in 2020, 2021), soil samples were taken from 0–25 cm and 25–50 cm deep soil layers in order to determine the chemical properties: pH, $N_{sum.}$, Mobile P and K. The soil pH was determined with 1M KCl according to ISO 10390: 2005 (soil to solution ratio 1: 2.5), using IONLAB pH meter, organic carbon – according to ISO 10694: 1995, total nitrogen (N_{sum}) by Kjeldahl method and mobile P_2O_5 and K_2O – by Egner-Riehm-Domingo method. Chemical analyses of plants and soil were performed in LRCAF Agrochemical Research Laboratory and LRCAF HR Chemical Research Laboratory.

Soil samples for nitrate ($N\text{-}NO_3$) and ammonia ($N\text{-}NH_4$) nitrogen were taken from 0-30 cm and 30-60 cm layers four times: in autumn, at the end of winter wheat vegetation (Assessment 1); in spring, after renewal of winter wheat vegetation (Assessment 2); in autumn, after the cultivation intercrops, at the end of their vegetation (Assessment 3), and in spring, in spring wheat crop

(Assessment 4). Nitrate nitrogen ($N\text{-}NO_3$) was determined by the jonometric method and ammonium nitrogen ($N\text{-}NH_4$) by the spectrophotometric method.

Meteorological conditions. The year 2019 in Joniškėlis was slightly wetter and the seasonal distribution of precipitation was much more even than in 2018 (Figure 1). There was no shortage of heat and sun in April and May, which led to good plant development in the early stages of growth. Very little rainfall fell in June. As a result of this, oats and legumes grew and developed slowly. Autumn was quite dry, therefore, the low amount of precipitation in autumn limited the processes taking place in the soil and the migration of mineral N into the deeper soil layers. The dry spring of 2019 may have had a negative impact on nitrogen release and winter wheat nutrition. In the third ten-day period of May, when sufficient precipitation fell, the processes of vegetative plant growth increased more intensively. There was no rainfall in the autumn and enough heat for good plant development. The autumn of 2019 was much warmer than in 2018. December– February of 2019-2020 was characterized by a positive average daily temperature, which is not usual in Lithuania. The year 2020 was quite favourable for plant growth and development, which led to the cultivation of a large above-ground mass of cereals and legumes. The abundant rainfall during the autumn months was sufficient for the remnants of detached legumes to begin to mineralize. In 2021, the winter was quite dry, the spring was humid and cool, but the warm summer months with sufficient rainfall provided good conditions for plant growth and development. July, which was characterized by particularly high temperatures, had a negative effect on the spring wheat harvest.

Statistical data analysis. Data processing and systematization was performed using SAS software version 9.4. All experimental data were statistically processed using one-way analysis of variance as well as correlation and regression methods. Fisher's F-test is used to determine the differences between the analysed variants. Data are analysed using analysis of variance (ANOVA). The smallest significant difference R_{05} is considered when the confidence level is $p<0.05$.

RESULTS

Formation regularities and productivity in oats and forage legumes monocropping and intercropping systems

During oat vegetation, the aboveground mass of plants was determined three times. The first assessment of the aboveground mass of plants was performed at the beginning of oat flowering (BBCH 61–63). In 2019, oat grew on average 23.0% on more aboveground mass compared to 2018 (Table 2). In the second accounting (BBCH 71–73), it was found that the increase in aboveground mass of oats increased as follows: in 2018–18.1 % and in 2019 – 73.7 %, compared to the first accounting. During the ripening grain of oats (BBCH 87–89), the changes in their aboveground mass were ambiguous. In 2019, the dry matter yield of the aboveground mass of oat was lower compared to the second survey, but on average 43.8 % higher compared to the analogous data of 2018. In both years, the incorporation of forage legumes did not adversely affect the grain yield. Oat grain yield was 2889–3058 kg ha^{-1} (Experiment I) and 3892–4087 kg ha^{-1} (Experiment II). The grain yields of oats and oats with forage legumes intercropping did not differ significantly.

Table 2. *Change in the aboveground mass of oat (kg DM ha^{-1}) during the growing season*

Treatment	2018 m.			2019 m.		
	Oat Reproductive Growth Stage (BBCH)					
	Flowering (61–63)	Grain Development (71–73)	Ripened Grain (87–89)	Flowering (61–63)	Grain Development (71–73)	Ripened Grain (87–89)
O	4733	5154	5714	6047	10,138	8283
O+BM	4681	5538	5739	5612	10,514	8219
O+WC	4595	5842	5469	5423	9930	8023
O+EC	5096	6023	5729	5076	10.237	8048
Interaction Y × Ic	4776 a	5639 ab	5663 b	5540 ab	10.205 c	8143 c

Note: O – oat monocrop; intercropping systems: O+BM – oat + black medick, O+WC – oat + white clover, O+EC – oat + Egyptian clover; means followed by the same letters are not significantly different at $p < 0.05$.

Assessing the different species of forage legumes, it was found that the lowest yield of aboveground mass was of black medick, and the highest – of white and Egyptian clover (in monocropping system). The yield of the underground mass of these forage legumes was low and did not differ significantly from each other. The competition rate for oat was high. Due to the

competitiveness of oats, the aboveground mass of forage legumes decreased by 91.4–98.9 % compared to a monocrop. The highest yields of legumes were found at a time when the competitiveness of oats had weakened – usually after the oats started to form grains (BBCH 71–73). When growing forage legumes with oats, the forage legume yield is low and their main growth takes place after the oat harvest.

In 2019, the concentration of N in grain was on average 38.7 % higher, and the amount of nitrogen accumulated in the harvest was almost twice as high as in 2018 (Table 3). Due to the effect of the year, the concentration of phosphorus in oat grains did not differ much. In 2018, significantly more potassium was used to grow 1 kg of oat grains compared to 2019. The research data showed a tendency for oat grown with Egyptian clover to increase competition for nutrients, in contrast to perennial forage legumes.

Table 3. *Nutrient content accumulated in the aboveground mass of forage legumes*

Treatment	**Accumulated Nutrients, kg ha^{-1} DM**		
	N	**P**	**K**
	Average		
BM	73.82 d	7.26 b	63.41 b
O+BM	1.71 a	0.17 a	1.47 a
WC	106.69 c	9.53 c	105.72 c
O+WC	3.3 a	0.31 a	3.59 a
EC	108.23 c	11.45 d	111.05 c
O+EC	2.50 a	0.28 a	2.69 a

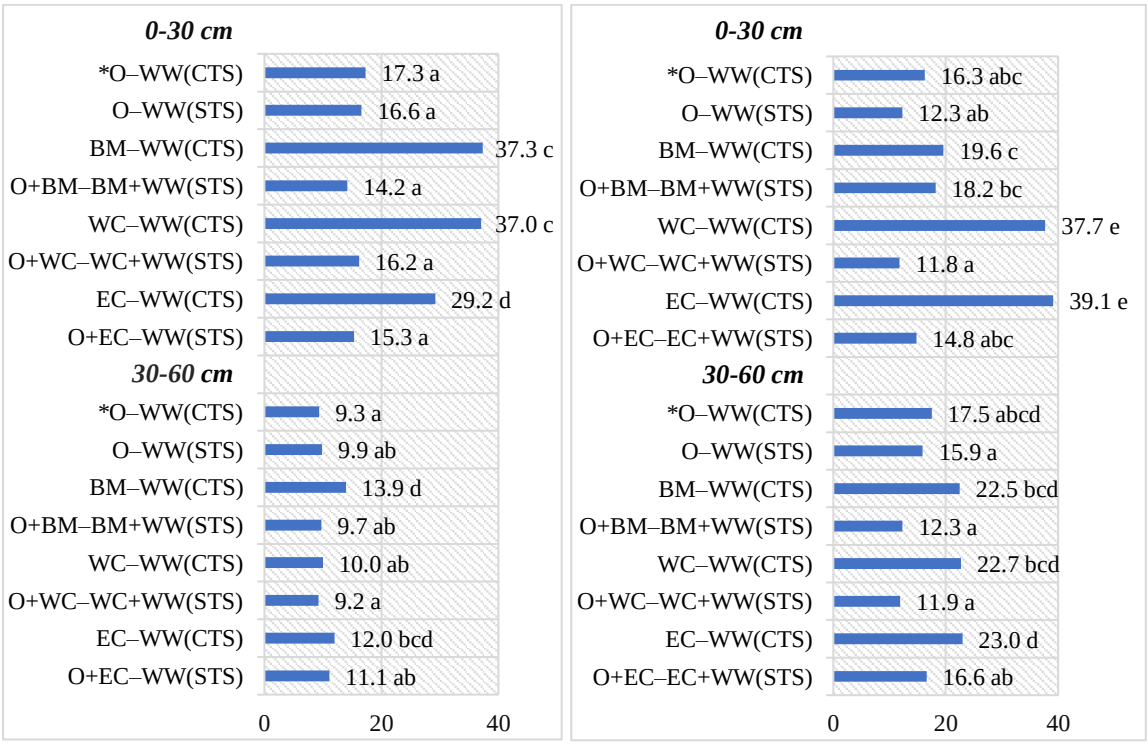
Note: monocropping systems: BM – black medick, WC – white clover, EC – Egyptian clover; relay intercropping systems: O+BM – oat undersown with black medick, O+WC – oat undersown with white clover, O+EC – oat undersown with Egyptian clover; means followed by the same letters are not significantly different at $p < 0.05$.

Oats and forage legumes competed most for phosphorus and had no significant effect on nitrogen and potassium. Forage legumes, when grown together with oats, accumulated a small amount of nutrients (N: 1.33–4.86 kg ha^{-1} DM; P: 0.14–0.43 kg ha^{-1} DM and K: 1.33–4.56 kg ha^{-1} DM).

Formation regularities and productivity in forage legumes and winter wheat intercropping

Variation of soil nitrate nitrogen. Tillage and sowing of winter wheat had a significant effect ($p < 0.01$) on the change of N-NO_3 content in late autumn. In the case of winter wheat cultivation after of forage legumes monocrops (black medick, white clover and Egyptian clover), the N-NO_3 content in the 0–30 cm layer of the soil increased significantly in late autumn, compared to the sowing of winter wheat after oat with CTS and STS (Fig. 1a). Winter wheat

grown after black medick ploughed N-NO_3 increased 2.2 times, after white clover 2.1 times and after Egyptian clover 68.8 %, compared to sowing winter wheat after oats (STS). Strip tillage and sowing tended to reduce the content of N-NO_3 (4.0–17.9 %). In the deeper soil layer, as in the upper, the trends of N-NO_3 content were similar. According to the data of the second experiment, the N-NO_3 content in the soil varied similarly as in Experiment I, but the differences were more pronounced in the deeper soil layer (Fig. 1 b). During the autumn, when the precipitation fell close to the standard climatic norm, the forage legumes plant increased the N-NO_3 content in the deeper soil layer (30–60 cm).



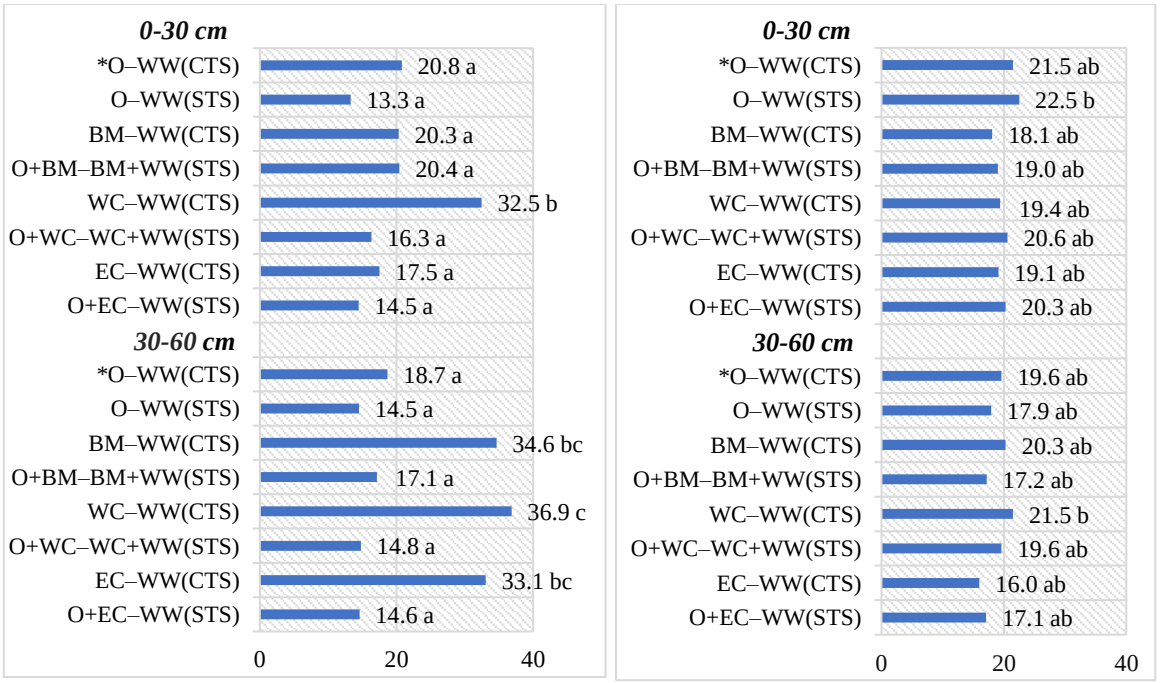
a) *2018* b) *2019*

Fig. 1 *Soil N-NO_3 content at the end of winter wheat vegetation 2018 (a) and 2019 (b)*

*Note: monocropping systems: O–WW – oat – winter wheat , BM–WW – black medick – winter wheat, WC–WW – white clover – winter wheat, EC–WW – Egyptian clover – winter wheat; relay intercropping systems: O+BM–BM+WW – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, O+WC–WC+WW – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; O+EC–EC+WW – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; CTS – conventional tillage and sowing, STS – strip tillage and sowing; * – control treatment; means followed by the same letters are not significantly different at $p < 0.05$.*

According to the data of Experiment I, after the resumption of winter wheat vegetation in the spring, differences similar to the autumn period were found in the N-NO_3 content. Most of the N-NO_3 was in the deeper soil layer. In the topsoil, the N-NO_3 content increased significantly in wheat after white clover (CTS) – 56.2 % and in the 30–60 cm layer – after all forage legumes (CTS) – 77.0–97.3 %, compared to sowing after oats (CTS) (Fig. 2 a). Strip tillage and sowing in

forage legumes tended to reduce N-NO_3 in both soil layers compared to sowing wheat after oats (CTS). The winter of 2019–2020 (Experiment II) was unusually warm (average daily temperature was positive), therefore, no significant differences in N-NO_3 content were found in both soil layers between tillage and winter wheat sowing methods (Fig. 2 b).



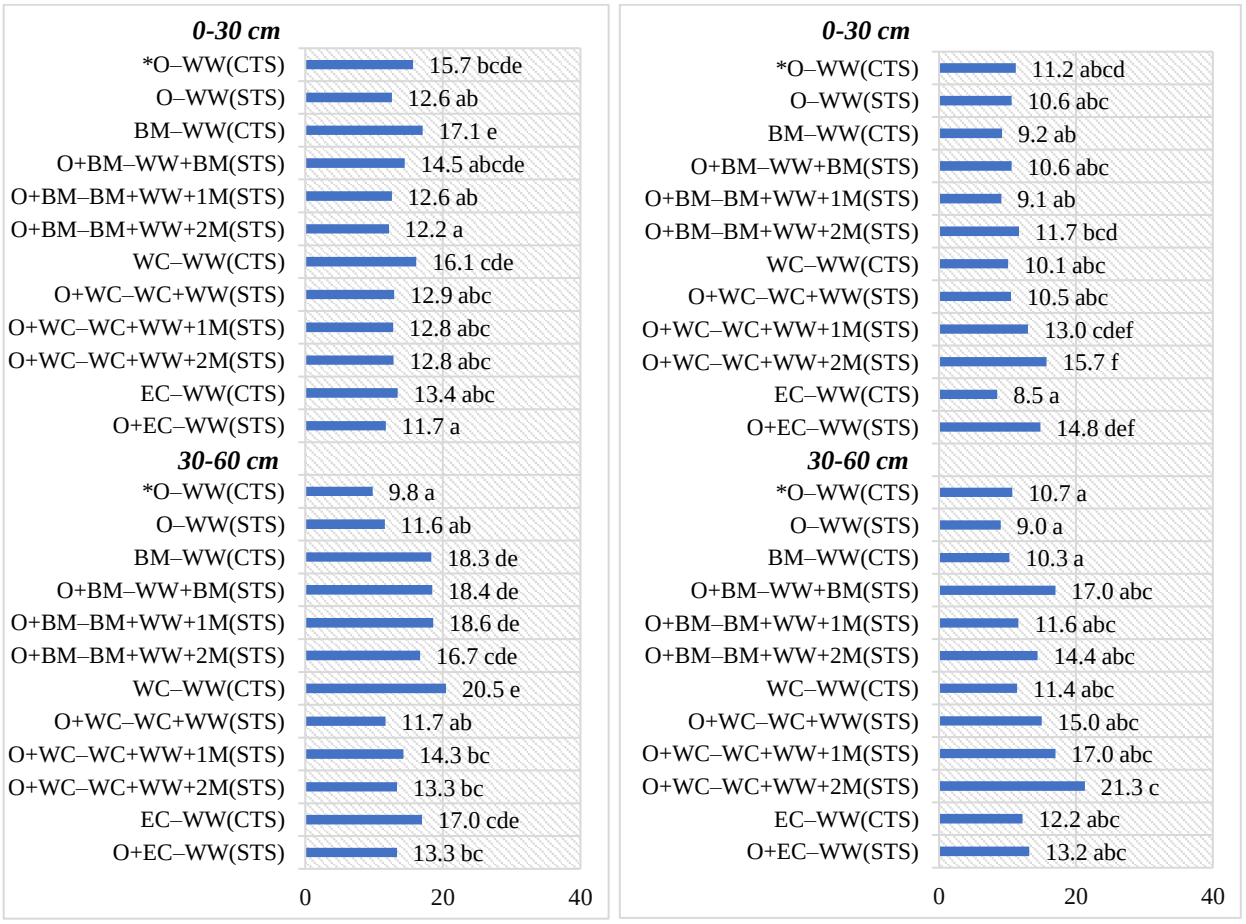
a) *2019* b) *2020*

Fig. 2 *Soil N-NO_3 content after renewal of winter wheat vegetation in spring 2019 (a) and 2020 (b)*

*Note: monocropping systems: O–WW – oat – winter wheat , BM–WW – black medick – winter wheat, WC–WW – white clover – winter wheat, EC–WW – Egyptian clover – winter wheat; relay intercropping systems: O+BM–BM+WW – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, O+WC–WC+WW – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; O+EC–EC+WW – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; CTS – conventional tillage and sowing, STS – strip tillage and sowing; * – control treatment; means followed by the same letters are not significantly different at $p < 0.05$.*

During the vegetation, winter wheat used N-NO_3 and its content after wheat harvest, in late autumn in the experiments was differentiated (Fig. 3 a and b). More N-NO_3 was detected in Experiment I fields than in Experiment II. A higher proportion of nitrogen was in the 30–60 cm layer of soil than in 0–30 cm. In Experiment I, in late autumn, at the end of plant vegetation, the highest N-NO_3 content in the 0–30 cm layer of the soil was determined by growing winter wheat after ploughed black medick and white clover and using the conventional tillage and sowing method (Fig. 3a). Compared to these variants, intercrops O+WW, EC+WW and BM+WW (aboveground mass mulching) significantly reduced N-NO_3 content. In the 30–60 cm layer of the soil, the minimum N-NO_3 content was determined for winter wheat cultivation after oat monocrop (CTS). Ploughed the of forage legumes monocrops as pre-sowings for winter wheat increased the

N-NO_3 content in the soil significantly (from 73.5 % to 2 times) compared to oat pre-sowings (CTS). In the deeper soil layer, strip tillage sowing intercropping significantly increased N-NO_3 content (excluding sowing to oats stubble and to white clover) compared to the control field.



a) *2019* b) *2020*

Fig. 3 *Soil N-NO_3 content after the cultivation intercrops in 2019 (a) and 2020 (b) at the end of their vegetation*

*Note: monocropping systems: O–WW – oat – winter wheat , BM–WW – black medick – winter wheat, WC–WW – white clover – winter wheat, EC–WW – Egyptian clover – winter wheat; relay intercropping systems: O+BM–BM+WW – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, O+WC–WC+WW – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; O+EC–EC+WW – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; M – mulching once, 2M - mulching twice; CTS – conventional tillage and sowing, STS – strip tillage and sowing; * – control treatment; means followed by the same letters are not significantly different at $p < 0.05$.*

In Experiment II, the N-NO_3 content changed slightly differently. At the end of vegetation in the upper soil layer, monocrops forage legumes (CTS) tended to decrease the N-NO_3 content (Fig. 3b). Most N-NO_3 was detected after WC+WW intercrop (by mulching their aboveground mass) or EC+WW intercrop (with winter freezing mulch). In terms of influence on N-NO_3 content, strip tillage and sowing intercropping O+WW, WC+WW or BM+WW (without underground mass mulching) were equivalent. Intercropping and mulching aboveground of forage

legumes increased the N-NO_3 content in the 30–60 cm layer of soil. After BM+WW intercrop, the highest N-NO_3 was in the underground mass of forage legumes without mulching or mulching twice. Most N-NO_3 was detected after WC+WW intercrop. This amount has been steadily increasing with increasing number of mulches.

Aboveground mass of forage legumes and winter wheat plant competition. When winter cereals reached the growth stage of BBCH 37–39, the yield of the underground mass of winter wheat intercrop in strip tillage decreased significantly (from 29.5 to 42.9 %) compared to conventionally sown winter wheat monocrop (in 2019) (Fig. 4). In 2020, the yield of winter wheat aboveground mass was on average 2.6 times higher compared to the data of Experiment I. Differences in aboveground mass between winter wheat sowing methods were insignificant. After the winter wheat have heading and reached the flowering stage (BBCH 59–61), the aboveground mass increased on average 3.9 times (in 2019) and 2.0 times (in 2020) compared to the cereal growth stage BBCH 37–39. The highest aboveground mass of winter wheat was after the oats stubble was ploughed. As winter wheat reached maturity stage of grain BBCH 87–98, their aboveground mass tended to decrease. The aboveground mass of forage legumes grown in intercropping was lower than that grown in monocropping (essentially in Experiment II). Mulching of the aboveground mass reduced the productivity of forage legumes.

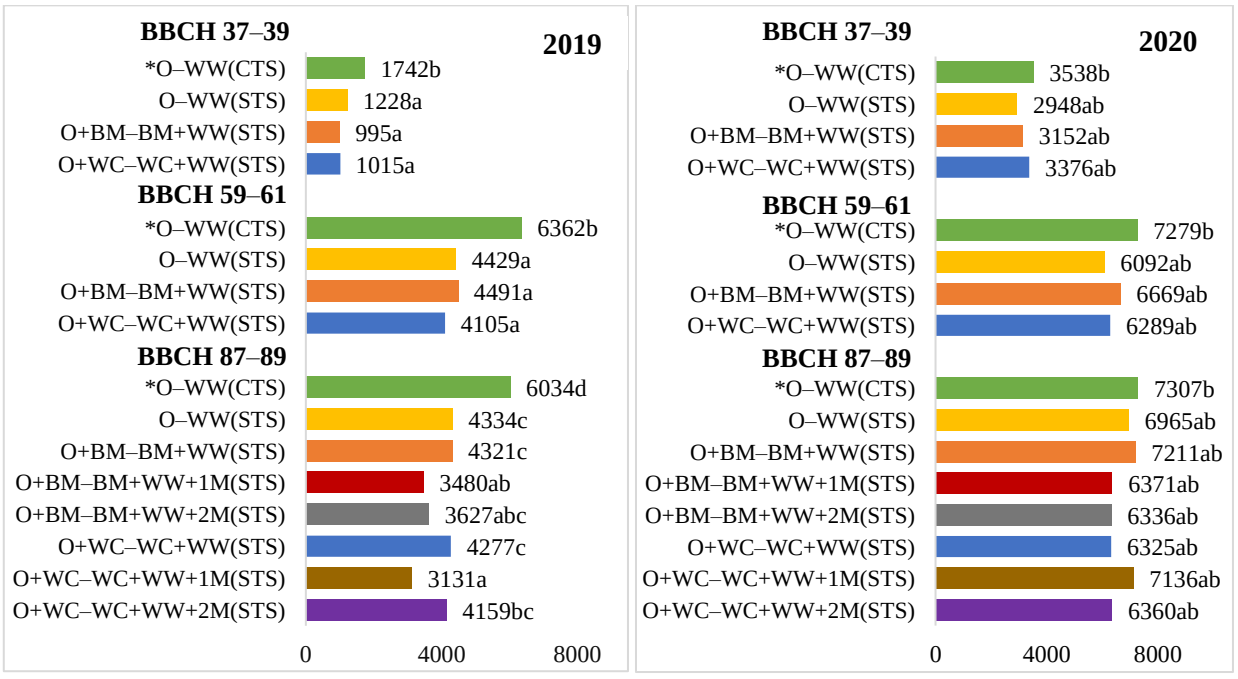


Fig. 4 *Changes in the aboveground mass (kg ha^{-1} DM) of winter wheat grown in monocropping and intercropping systems during their vegetation*

*Note: monocropping systems: O–WW – oat – winter wheat; intercropping systems: O+BM–BM+WW – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, O+WC–WC+WW – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; 1M – mulching once, 2M – mulching twice; CTS – conventional tillage and sowing, STS – strip tillage and sowing; * – control; means followed by the same letters are not significantly different at $p < 0.05$.*

The values of the indicators of the aggressiveness and competition ratio of intercropping plants depended on the meteorological conditions of the year, the growth stage of the plants, and the species of forage legumes. The intercrops BM+WW and WC+WW, were dominated by winter wheat, and forage legumes were grown over. A higher value of the aggressiveness index was found in the BM+WW intercrop. In the favourable year for winter wheat to grow (in 2020), their aggressiveness manifested itself in the earlier stages of growth.

In both years, the value of the competition ratio for winter wheat was higher in cereals with black medick than with white clover. Adverse meteorological conditions (recurrent dry periods in spring 2019) increased crop competitiveness and reduced the relative yield of winter wheat. It is likely that white clover resistance to competition in winter wheat was higher than in black medick, leading to a slight decrease in the relative yield of winter wheat.

Winter wheat grain yield. According to the data of Experiment I, monocrops of forage legumes, as a pre-sowing for winter wheat, substantially increased the yield of winter wheat grain by 30.6–47.3 % compared to the pre-sowing of oats (Fig. 5). In intercropping, winter wheat grain yields declined. Strip tillage sowing of winter wheat into oats stubble reduced grain yield by 21.2 % compared to the control field.

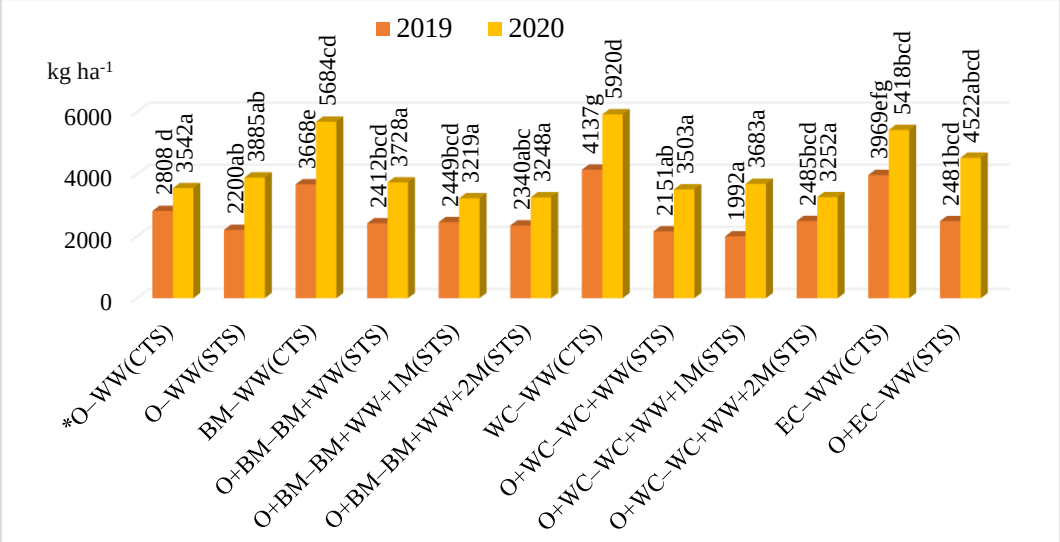


Fig. 5 *Grain yield of winter wheat grown in monocropping and intercropping systems*

*Note: monocropping systems: O–WW – oat – winter wheat , BM–WW – black medick – winter wheat, WC–WW – white clover – winter wheat, EC–WW – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: O+BM–BM+WW – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, O+WC–WC+WW – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; O+EC–EC+WW – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; 1M – mulching once, 2M - mulching twice; CTS – conventional tillage and sowing, STS – strip tillage and sowing; * – control treatment; means followed by the same letters are not significantly different at $p < 0.05$.*

When winter wheat was grown in intercropping, the grain yield was not significantly different, compared with strip tillage sown winter wheat in oats stubble. Compared to oat monocrop pre-sowing (CTS), the yield of winter wheat grains grown in intercrops BM+WW (1M; 2M), WC+WW (2M) and EC+WW did not differ significantly. According to the statistical analysis, the yield of winter wheat grain depended on the amount of N-NO_3 in the soil (0–60 cm) both in the autumn and in the spring after the resumption of wheat vegetation.

In Experiment II, the yield of winter wheat grain was 1.5 times higher than in Experiment I. Ploughed monocrops forage legumes, had a significant effect on winter wheat grain yield (52.9–67.1 %) compared to the control variant. The method of sowing winter wheat after the pre-sowing of oat did not significantly change the grain harvest. The highest grain yield supplement (27.7 %) was obtained using Egyptian clover, which freezes in winter period. When winter wheat was grown in intercropping with black medick and white clover, the grain yield did not differ significantly from the pre-sowing of oats (regardless of the sowing method).

Peculiarities of winter wheat nutrition N, P, K during vegetation

During the vegetation period, the concentration of N, P, K in the aboveground mass of winter wheat varied, depending on the meteorological conditions of the year and the growth stage of the cereal. In different experiments, the concentration of N in the aboveground mass of winter wheat (BBCH 37–39) varied ambiguously. During the formation of cereals (BBCH 59–61) the N concentration decreased, the influence of forage legumes became more pronounced: in the case of wheat cultivation with black medick – N concentration increased, and with white clover – decreased (Experiment II). The highest concentrations of P and K were found in winter wheat cultivation with black medick (Experiment I) or white clover (Experiment II). Among the variants, more pronounced differences in P concentration were at the beginning of the flowering stage of winter wheat, and K – at an earlier stage of growth (BBCH 37–39).

When forage legumes were grown with winter wheat, the N concentration decreased (cereal BBCH 37–39). The N concentration in the aboveground mass of white clover was higher than black medick in both researched years. During formation of cereals, the N concentration of forage legumes varied ambiguously. In most cases, the concentration of phosphorus in the aboveground mass of legumes did not decrease. Forage legumes accumulated the most of them. Comparing forage legumes with each other, it was found that the concentration of K in the aboveground mass of white clover was higher than that of black medick.

Correlation regression analysis of the data from Experiment I (BBCH 37-39 data) showed that with an increase in the aboveground mass K concentration of forage legumes from 22.2 to

27.2 g kg^{-1} DM, the aboveground ground mass K concentration of winter wheat decreased from 20.3 to 17.3 g kg^{-1} DM. The dependence of these indicators was inverse and very strong (r = –0.78; p ≤ 0.05). As the N concentration of the aboveground mass of forage legumes increased, the N concentration of the aboveground mass of winter wheat tended to decrease (r = –0.56 n.s.). In contrast, in Experiment II, the concentrations of N and K in the aboveground mass of winter wheat increased with increasing values of these indicators in the mass of forage legumes. The relationship between the K concentration of the aboveground mass of winter wheat (range 15.20–16.93 g kg^{-1} DM) and the K concentration of forage legumes mass (range 31.5–37.77 g kg^{-1} DM) was very strong and statistically significant (r =–0.87, p≤ 0.01). A slightly weaker, moderately strong relationship was found between the aboveground N concentrations of winter wheat and legumes.

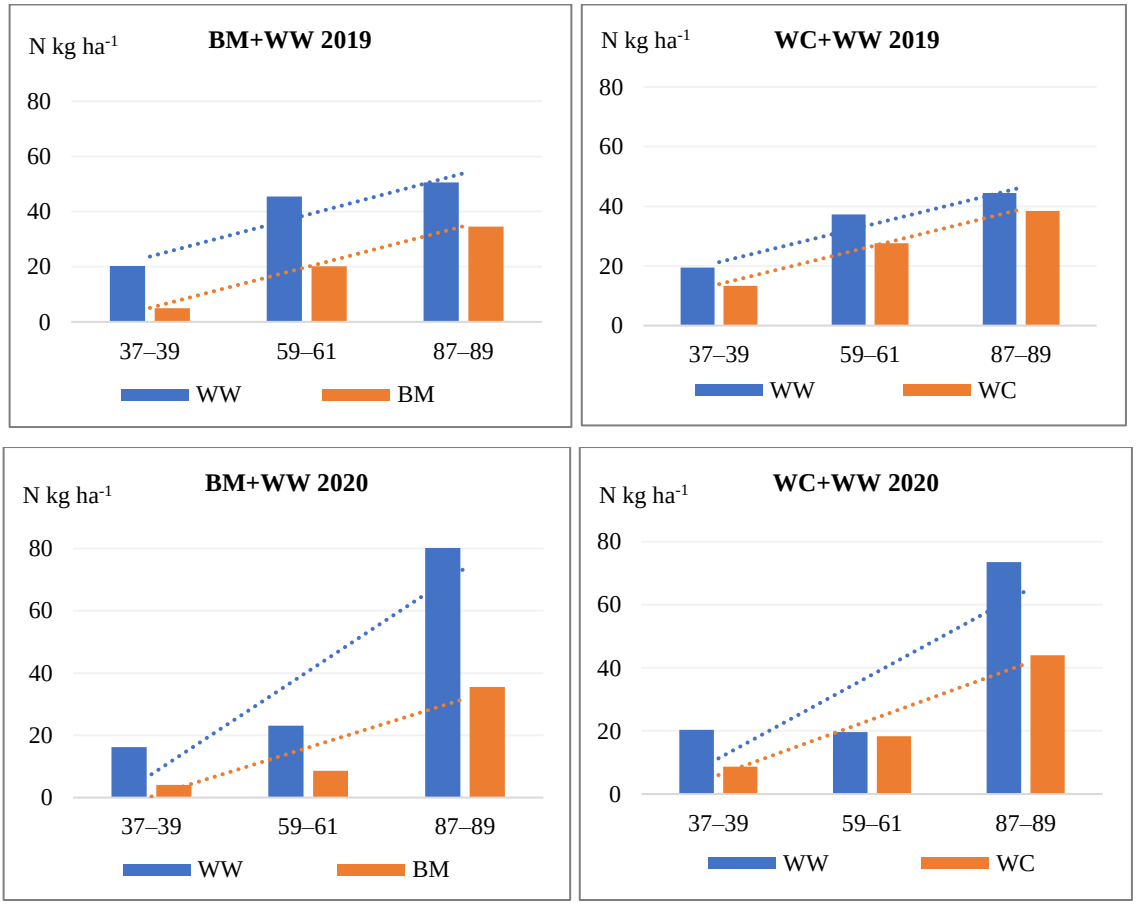


Fig. 6 *N content in the aboveground mass of intercrop during vegetation*

Note: BM – black medick; WC – white clover, WW – winter wheat; intercropping systems: BM+WW – black medick and winter wheat intercrop, WC+WW – white clover and winter wheat intercrop.

According to Experiment I, the N content in the aboveground mass of forage legumes and winter wheat changed steadily during vegetation. The difference in N content of plants between winter wheat and black medick (BM+WW) was larger than between winter wheat and white

clover (WC+WW) (Fig. 6). In Experiment II, more intensive accumulation of N in the plants occurred later – when the wheat started to flower. Winter wheat accumulated more N, especially in the later stages, compared to forage legumes. It is likely that forage legumes were inhibited, especially in black medick.

Winter wheat grown in intercropping, accumulated significantly less P than conventionally grown. P accumulated more and more intensively in black medick than in white clover (Fig. 7). However, in the BM+WW intercrop, P accumulated more intensively in the wheat mass in the aboveground than in the black medick. The largest gap between the amount of P accumulated in the mass of forage legumes and winter wheat was in 2020.

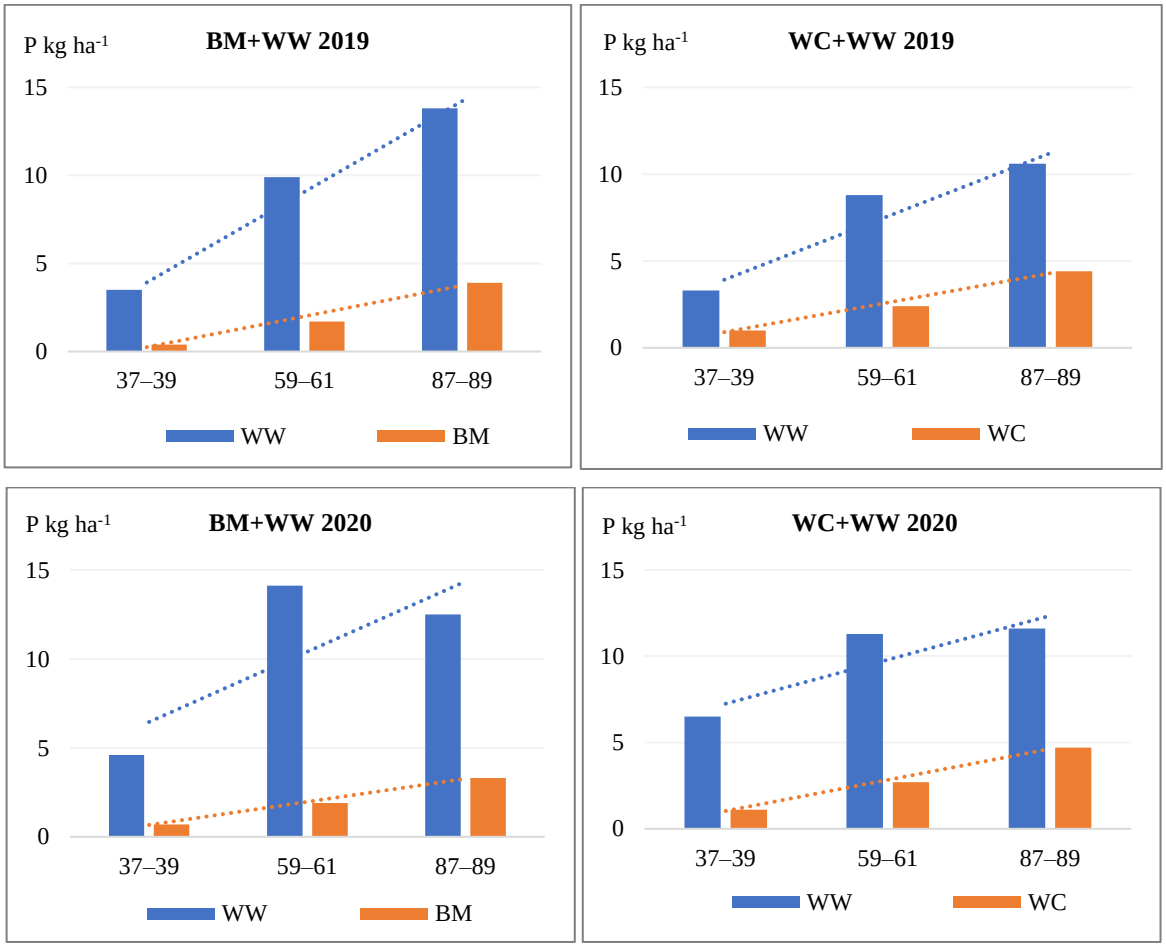


Fig. 7 *Amount of P accumulated in the aboveground mass of intercrop during vegetation*

Note: BM – black medick; WC – white clover, WW – winter wheat; intercropping systems: BM+WW – black medick and winter wheat intercrop, WC+WW – white clover and winter wheat intercrop.

In the early stages of crop flowering, the relationships between the aboveground mass of N, P, K in intercropping plants weakened. In Experiment II, the negative effect of the K concentration of forage legumes on the K concentration of the aboveground mass of winter wheat was revealed. As the concentration of forage legumes K increased (from 17.20 to 31.70 g kg^{-1}), the concentration of N in the aboveground mass of winter wheat decreased (from 3.50 to 2.81 g kg^{-1},

(r =–0.82, p ≤ 0.05). It is likely that legumes that accumulate more K (in our case WC) can compete with winter wheat for N.

The accumulation of nutrients in the aboveground mass of winter wheat and forage legumes was determined by the N, P, K concentration and the aboveground mass of plants. In most cases, less N, P, K was accumulated in the aboveground mass of intercropping than in monocropping.

Winter wheat accumulated K intensively throughout the vegetation period (Fig. 8). Forage legumes were distinguished by the accumulation of K in the aboveground mass. In both years, in the WC+WW intercrop, the K content decreased and the white clover increased during the ripening stage. At the ripening stage K of cereals, more forage legumes were accumulated in the aboveground mass than in winter wheat. It is likely that this was due not only to the nutritional characteristics of the cereals but also to the competitive characteristics of white clover. Competitiveness was stronger with the introduction of winter wheat.

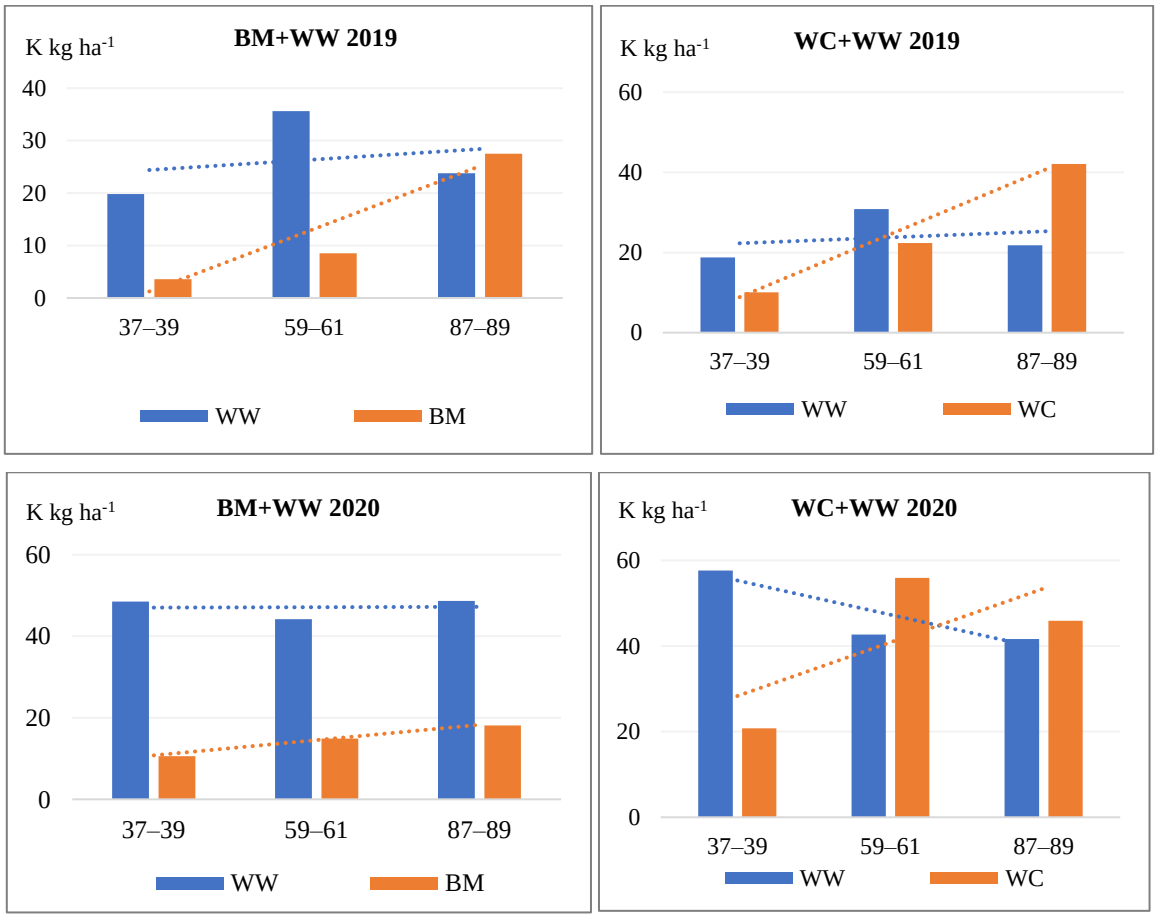


Fig. 8 *Amount of K accumulated in the aboveground mass of intercrop during vegetation*

Note: BM – black medick; WC – white clover, WW – winter wheat; intercropping systems: BM+WW – black medick and winter wheat intercrop, WC+WW – white clover and winter wheat intercrop.

Amount of NPK accumulated in winter wheat grains. In the case of winter wheat grown after ploughed monocrops white clover, Egyptian clover and black medick, the full maturity stage of grain, N accumulation significantly more, respectively 32.2-43.9 kg ha^{-1} (78.5–80.3 %), 21.5–33.0 kg ha^{-1} (52.4–60.3 %) and 19.0-31.9 kg ha^{-1} (46.3–58.3 %), compared to ploughed oats. In the less favourable years for winter wheat to grow (Experiment II), when grown in intercropping with black medick, nitrogen accumulation was 60.1–52.0 %, with black medick – 40.0–46.5 % and with Egyptian clover – 41.1 % less then relevant of forage legume was ploughed. In favourable years, these differences were smaller, at 38.4–45.1 %, 31.8–37.3 %, and 15.7 %, respectively. The positive effect of forage legumes mulch was found only in favourable years for winter wheat growth. Strip tillage sowing of winter wheat into Egyptian clover which freeze in winter period, resulted in 12.9-20.6 % higher N accumulated in grains than sowing cereals in oats stubble.

Compared to the control variant, 50.0–72.6 % and 34.3–61.1 % more P was accumulated in the full maturity stage, respectively, after Egyptian clover and white clover. Phosphorus was accumulated in the grains of winter wheat grown in intercropping with white clover (BBCH 87–89) 19.0–41.2 %, with Egyptian clover – 9.7–35.9 %, with black medick – 12.7–33.7 % less than respectively in ploughed forage legume. In most cases, mulching of the aboveground mass of forage legumes reduced P accumulation in grains.

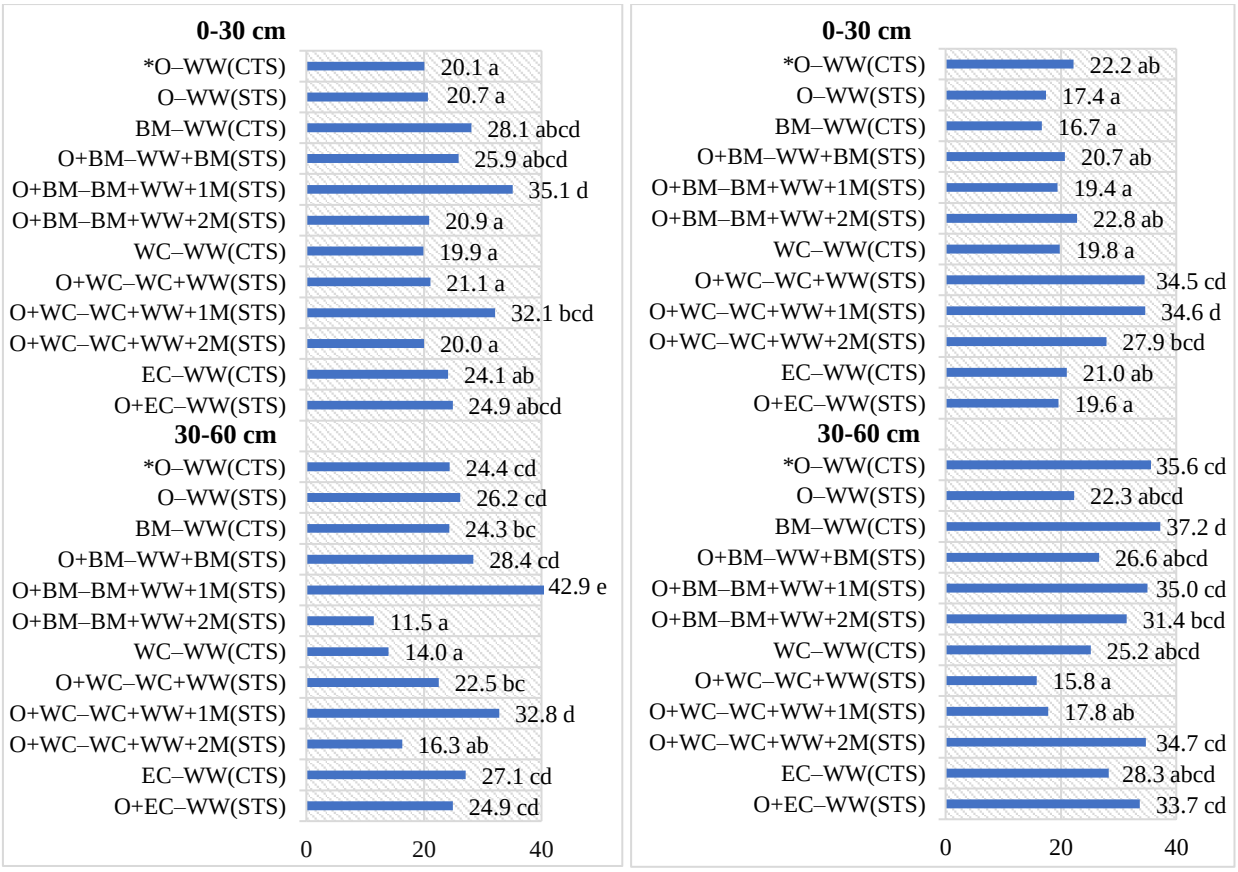
The amount of K accumulated in the winter wheat grain harvest was most increased by ploughed of white clover and black medick monocrops (46.1–62.6 %, 49.2–50.4 %), less by Egyptian clover (29.3–37.4 %), compared to the control variant. When winter wheat is grown in intercropping with black medick, potassium accumulated 15.9–47.1 %, with white clover – 36.2–55.2 % and with Egyptian clover – 4.2–28.3 % less than the respectively of forage legumes ploughed. When winter wheat is grown in intercropping with Egyptian clover, which freeze in winter period, more grain K is accumulated than when sown in oats stubble.

Intercropping (forage legumes and winter wheat) accumulated 52.9–85.0 kg ha^{-1} and 116.5–117.9 kg ha^{-1} in the aboveground mass N more than the monocropping winter wheat and using conventional tillage system (Experiments I and II, respectively).

The data of Experiment II showed more pronounced dependences of nutrients accumulated by different plants. As the N and P content of forage legumes increased in intercropping, N decreased in the aboveground mass of winter wheat from 116.25 to 192.99 kg ha^{-1} and P from 12.02 to 32.29 kg ha^{-1}. Statistically reliable, strong correlations were found (respectively). There was also a downward trend in the amount of K in the aboveground mass of winter wheat as the amount of K accumulated in forage legumes increased.

Value of intercropping as pre-sowing for spring wheat

Nitrate nitrogen in soil. In the third year of the research of Experiment I (2020), spring wheat was grown. In the spring, before the sowing of spring wheat, it was found that the largest amount of N-NO_3 in the 0-30 cm layer of soil was after the ploughed of intercrops AL+WW and BD+WW (the aboveground mass of forage legumes was mulched once) (Fig. 9a). In these variants, the N-NO_3 content was 74.6 and 59.7 % higher, respectively, compared to the control field. In the deeper soil layer, the N-NO_3 content increased analogously to the upper soil layer. However, intercropping of WC+WW (excluding WC+WW and WC+WW+1M) significantly reduced N-NO_3.



a) *2020* b) *2021*

Fig. 9. *Changes in soil N-NO_3 content in 2020 (a) and 2021 (b) in spring, in spring wheat crop*

*Note: monocropping systems: O–WW – oat – winter wheat , BM–WW – black medick – winter wheat, WC–WW – white clover – winter wheat, EC–WW – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: O+BM–BM+WW – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, O+WC–WC+WW – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; O+EC–EC+WW – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; 1M – mulching once, 2M - mulching twice; CTS – conventional tillage and sowing, STS – strip tillage and sowing; * – control treatment; means followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05.*

Experiment II (2021) N-NO_3 content data are similar, but higher levels were found in the deeper soil layer (Fig. 9b). The highest N-NO_3 content in the 0-30 cm soil layer was determined after the application of WC+WW intercrop, without mulching or mulching of forage legumes mass. Here, the N-NO_3 content increased by 55–56 % compared to the control. However, N-NO_3 was substantially less in the deeper soil layer of these variants. The highest N-NO_3 was detected after unicellular misting of cereals and black medick.

Spring wheat grain harvest. Spring wheat was grown after ploughed monocrops and intercrops. Spring wheat grain yield was significantly influenced by white clover pre-sowing (Fig. 10). The yield of spring wheat grains increased mainly by intercropping WC+WW – 88 %, white clover mass after mulching once – 89 % and after mulching twice – by 65 %, compared to the control. Intercrops BM+WW and EC+WW increased spring wheat grain yields by 17 % and 21 %, respectively, compared to controls, but the differences were not significant. The ploughing of forage legumes monocrops in the second year of exposure did not have a significant effect on grain yield, as did the sowing of winter wheat into oat stubble.

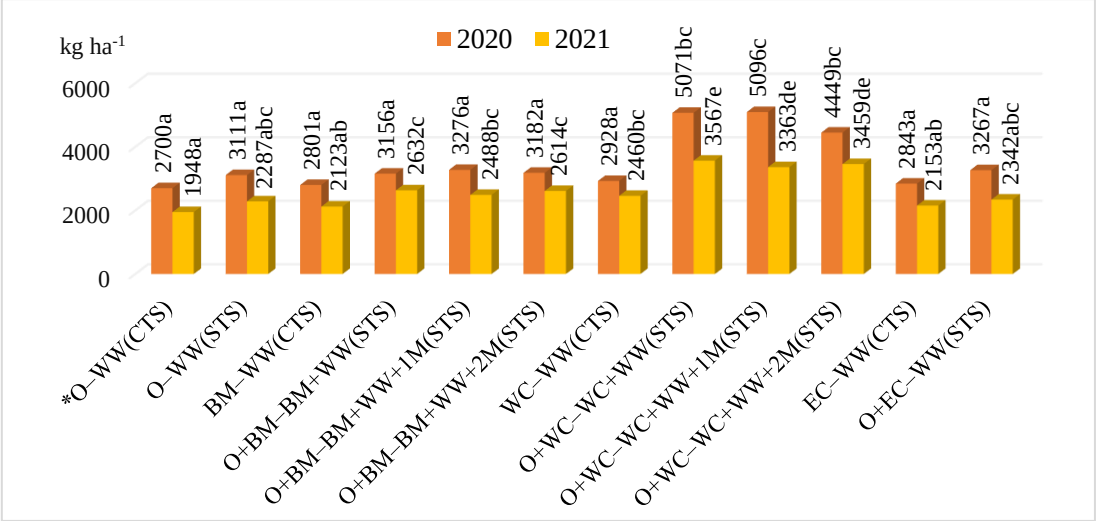


Fig. 10 *The yield of spring wheat grown after different crop rotations*

*Note: monocropping systems: O–WW – oat – winter wheat , BM–WW – black medick – winter wheat, WC–WW – white clover – winter wheat, EC–WW – Egyptian clover – winter wheat; intercropping systems: O+BM–BM+WW – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop, O+WC–WC+WW – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat intercrop; O+EC–EC+WW – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop; 1M – mulching once, 2M - mulching twice; CTS – conventional tillage and sowing, STS – strip tillage and sowing; * – control treatment; means followed by the same letters are not significantly different at $p < 0.05$.*

In the second experiment, the yield of spring wheat grain was lower, but the differences between the variants were more pronounced compared to Experiment I. The spring wheat grain yield was substantially increased by intercrops BM+WW (28–35%) and WC+WW (78–86 %) compared

to the control field. Mulching of the aboveground mass of forage legumes had no more pronounced effect. Ploughed of forage legumes monocrops black medick, white clover, Egyptian clover of forage legumes ploughed, increased spring grain yield by 9, 26, and 11%, respectively (white clover substantially).

Comparison of productivity of cereal chains with differently grown forage legumes

The total productivity of crop rotation cereals with monocropping of forage legumes was 21.2–27.8 % (in 2019) and 16.1–24.5 % (in 2020) significantly lower than in the control field for three consecutive years (CTS). The data of both experiments showed that most of the total energy was stored in the crop rotation chain with intercropping white clover (O+WC–WW+WC–SW) in the cereal grain harvest. Here, the total energy content was 19.7 % (Experiment I) and 15.1 % (Experiment II) higher compared to the control field (Fig. 11). The crop rotation chain with intercropping black medick (O+BM–WW+BM–SW) in terms of the total energy stored in the cereal crop did not differ significantly from the control variant. Strip tillage and sowing of winter wheat into Egyptian clover, freezing in winter period, higher overall productivity of chain cereals was determined only in Experiment II. Inhibition of forage legume competitiveness by mulching had no significant effect on productivity.

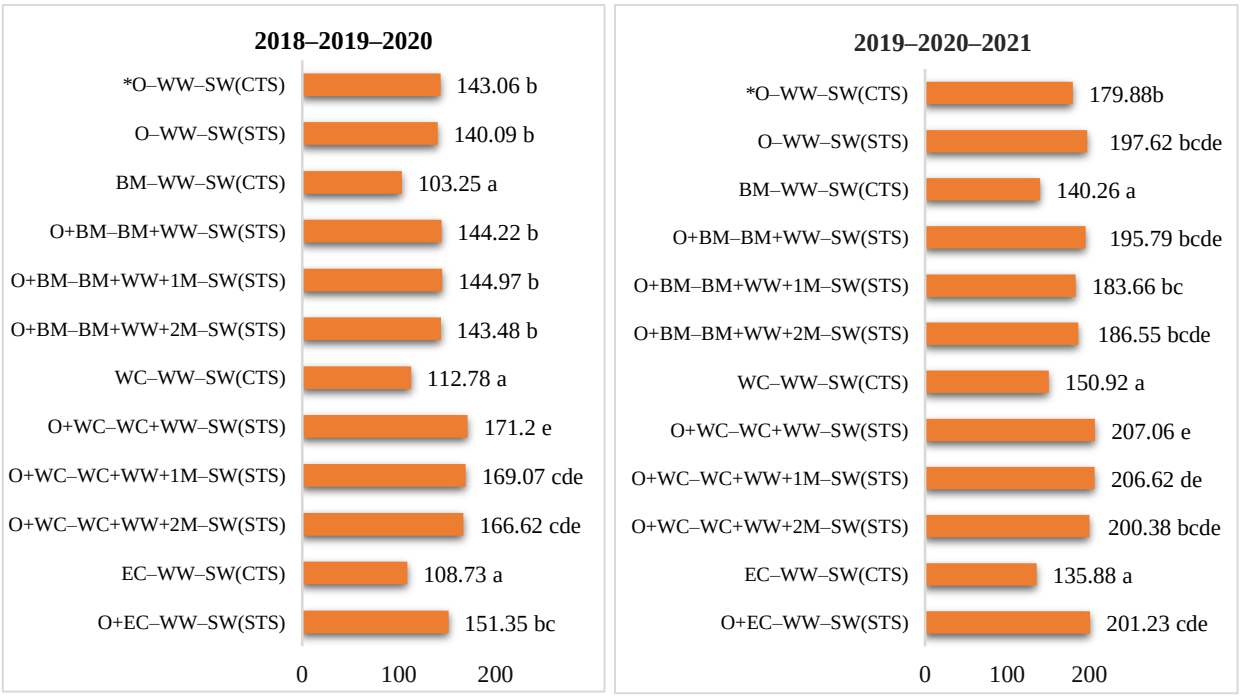


Fig. 11 *Total productivity of the cereal chain (GJ ha^{-1}) accumulated in the cereal grain yield in different crop rotations*

Note: monocropping systems: O–WW–SW – oat – winter wheat – spring wheat , BM–WW–SW – black medick – winter wheat – spring wheat, WC–WW–SW – white clover – winter wheat – spring wheat, EC–WW–SW – Egyptian clover – winter wheat – spring wheat; intercropping systems: O+BM–BM+WW–SW – oat undersown with black medick – black medick and winter wheat intercrop – spring wheat, O+WC–WC+WW–SW – oat undersown with white clover – white clover and winter wheat

*intercrop – spring wheat; O+EC–EC+WW–SW – oat undersown with Egyptian clover – Egyptian clover and winter wheat intercrop – spring wheat; 1M – mulching once, 2M - mulching twice; CTS – conventional tillage and sowing, STS – strip tillage and sowing; * – control treatment; means followed by the same letters are not significantly different at $p < 0.05$.*

Changes in soil agrochemical properties

The measures used had an effect on the evolution of mobile P_2O_5 and K_2O and humus. According to the data of Experiment I (2018–2020), the amount of mobile P_2O_5 in soil (0–25 cm) and sub-soil (25–50 cm) was substantially increased by mulching forage legumes compared to the control field. Mobile K_2O tended to increase in soil in all fields after forage legumes, and in subsoils essentially after black medick and Egyptian clover. Forage legumes promoted the accumulation of humus in the soil, but strip tillage and sowing system reduced its amount in the subsoil. According to Experiment II (2019–2020), forage legumes tended to reduce the amount of phosphorus in the soil ground and subsoil (in some cases substantially). Potassium content in both soil layers was substantially increased by mulching of the aboveground forage legumes. The amount of humus in both soil and subsoil tended to increase after applying strip tillage.

CONCLUSIONS

1. The aboveground mass of forage legumes began to form more intensively – after the flowering of oats. This did not have a significant negative effect on oat grain yield and nutrient accumulation. The weeds were mostly covered by oat, and the infusion of legumes only enhanced their effect as the oat matured.
2. In the autumn, the winter wheat sowing year, the $N\text{-}NO_3$ content was significantly increased by the ploughed monocrops of forage legumes, compared to strip tillage and sowing system. In ploughed soils, part of the $N\text{-}NO_3$ migrated to a deeper (30–60 cm) soil layer. After the resumption of winter wheat vegetation in spring, the $N\text{-}NO_3$ content was positively correlated with the data in autumn. However, during the winter period, with a positive average daily temperature, only trends in $N\text{-}NO_3$ content were observed. After winter wheat cultivation, at the end of the vegetation, forage legumes and intercropping forage legumes and winter wheat substantially increased $N\text{-}NO_3$ compared to conventional tillage and sowing after oats. The application of forage legumes mulching during winter wheat vegetation increased the $N\text{-}NO_3$ content in the fall.
3. Intercropping were dominated by winter wheat: the more favourable the growing conditions, the earlier and stronger the forage legumes. In both years, winter wheat grown with black medick had the highest rate of aggression.

4. The amount of nutrients stored in the aboveground mass and grain of winter wheat grown in intercropping was lower than that of forage legumes. Nutrient accumulation was least affected by Egyptian clover which freezing in winter period. As the amount of nutrients stored in the aboveground mass of forage legumes increased during vegetation, the accumulation of N and K in winter wheat decreased. White clover competed most strongly with winter wheat for K starting in the growth stage of BBCH 59–61. In intercropping, plants N and K accumulated 41.8–2.3 times more than monocropping winter wheat.
5. The ploughed of forage legumes monocrops, resulted in a 31–47 % higher yield of winter wheat grains than those grown under oat. The yield of winter wheat when sown in oat stubble and forage legumes were 12–29 % lower than in the control field. However, in a year favourable for wheat growth, these differences were insignificant. Mulching of the aboveground mass of forage legumes did not significantly increase the yield of winter wheat grains.
6. At the beginning of winter wheat vegetation, most weeds germinated after forage legumes and oat monocropping and using conventional tillage, least – strip tillage and sowing system. At the end of the winter wheat vegetation (BBCH 77–79), the number of weeds was greatly reduced by the increased competition for winter wheat grown under forage legumes monocropping. Mulching had no significant effect.
7. The total productivity of crop rotations with forage legumes monocropping was 21.2–27.8 % (in 2019) and 16.1–24.5 % (in 2020), which was significantly lower than in the control variant for three consecutive years (CTS). In both years, the highest productivity was in the crop rotation chain with white clover and winter wheat intercropping.
8. The amount of mobile P_2O_5 was substantially increased by mulching forage legumes compared to the control field. Mobile K_2O tended to increase in all fields after forage legumes in the soil, and in the subsoil – essentially after black medick and Egyptian clover.

RECOMENDATIONS

Summarizing the research data, it is recommended:

1. In organic crop farming, include forage legumes in crop rotations, grown for two years without a separate crop rotation field. In spring, forage legumes are sown in spring cereals. After grain yield harvest, forage legumes are mulched and winter wheat is sown in autumn (seed rate 200 kg ha^{-1}) using a strip tillage and sowing method. White clover is the best for legume and cereals intercropping.
2. For intensive farming, we also recommend forage legumes and winter wheat intercropping using strip tillage. This crop cultivation technology restores biodiversity, reduces the use of chemival plant protection products and fertilizers, and reduces the negative impact on the soil.

ABBREVIATIONS

BM – black medick

BBCH – crop development stage

CTS – conventional tillage and sowing

DM – dry matter

EC – Egypyian clover

EU – European Union

K – potassium

K_2O – mobile potassium

N – nitrogen

N, P, K – nitrogen, phosphorus potassium

$N\text{-}NH_4$ – ammonia

$N\text{-}NO_3$ – nitrate

O – oat

N_{sum} – total nitrogen

P – phosphorus

P_2O – mobile phosphorus

pH – the acidity or alkalinity of material

STS – strip tillage and sowing

SW – spring wheat

TGW – thousand kernel weight

WW – winter wheat

WC – white clover

1M – mulched once

2M – mulched twice

TRUMPAI APIE AUTORIŲ

Vardas, pavardė

Viktorija Gecaitė

Gimimo data

1988 m. vasario 26 d.

El. paštas

viktorija.gecaite@lammc.lt

Išsilavinimas

2017-09-01–2021-09-01. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Joniškėlio bandymų stotis, Žemės ūkio mokslų srities Agronomijos mokslų krypties doktorantūros studijos. Akademija, Kėdainių r., Lietuva.

2011–2013 m. Aleksandro Stulginskio universitetas, Agronomijos fakultetas. Agronomijos magistro kvalifikacijos laipsnis, Agronomijos studijų programa. Akademija, Kauno r., Lietuva.

2007–2011 m. Lietuvos žemės ūkio universitetas, Agronomijos fakultetas. Agronomijos bakalauro kvalifikacinis laipsnis, Agronomijos studijų programa. Akademija, Kauno r., Lietuva.
2005–2007 m. Žagarės gimnazija. Žagarė, Joniškio r., Lietuva.

1995–2005 m. Gaižaičių pagrindinė mokykla. Gaižaičiai, Joniškio r., Lietuva.

PADĖKA

Tariu ačiū savo darbo vadovei dr. Aušrai Arlauskienei už perduotas mokslines žinias, mokymą ir paramą visų doktorantūros studijų metu ir rengiant disertacinį darbą. Nuoširdus ačiū darbo konsultantei dr. Žydrei Kadžiulienei už konsultacijas ir bendradarbiavimą doktorantūros studijų metu.

Dėkoju LAMMC JBS laborantėms, be kurių nebūčiau įgyvendinusi daugybės eksperimentinių darbų. Asmeniškai dėkoju Auksei Ponomariovienei, Laimai Lindienei ir Dalei Jarašūnienei už visokeriopą pagalbą atliekant eksperimento darbus, o labiausiai dėkoju Romualdai Vyčienei, kuri atsakingai vykdė ir prižiūrėjo mano eksperimentus.

Esu dėkinga LAMMC JBS direktoriui dr. Vidui Damanauskui už suteiktą galimybę įrengti bei vykdyti eksperimentus ir pagalbą ieškant juostinės sėjamosios.

Dėkoju UAB „Biržų žemtiekimas“ už juostinę sėjamąją MZURI PRO-TIL 3T, be kurios mano eksperimentai nebūtų įvykdyti.

Nuoširdžiai dėkoju savo šeimai už kantrybę, palaikymą ir pagalba visų doktorantūros studijų metu. Ačiū draugams ir artimiesiems.

Viktorija GECAITĖ

DVINARIŲ PASĖLIŲ IR JUOSTINIO ŽEMĖS DIRBIMO PANAUDOJIMO YPATUMAI EKOLOGINĖJE AGROSISTEMOJE

Mokslo daktaro disertacija

Lietuvių kalbos redaktorė Daiva Puidokienė

Spausdino – Vytauto Didžiojo universitetas
K. Donelaičio g. 58, LT-44248 Kaunas
Užsakymo Nr. 21-115. Tiražas 15 egz. 2021 11 08
Nemokamai