

LIETUVOS AGRARINIŲ IR MIŠKŲ MOKSLŲ CENTRAS

TVIRTINU:

Direktorius

Gintaras Brazauskas

2024 m. lapkričio mėn. 8 d.

**PROJEKTAS ĮGYVENDINTAS PAGAL 2023–2027 METŲ TARPTAUTINIŲ
MOKSLINIŲ TYRIMŲ IR TAIKOMOSIOS VEIKLOS FINANSAVIMO TAISYKLES**

**„Naujų technologijų ir žiedinės bioekonomikos principai tvariam ūkininkavimui
skirtingose agroekosistemose“**

Pavadinimas anglų kalba: „Connecting sustainable agroecosystems and farming with circular
bioeconomy and new technologies“ (akronimas: ConnectFarms)

2024 M. GALUTINĖ ATASKAITA

Tyrimo vadovas

Dr. Virmantas Povilaitis

Akademija

2024

Pagrindiniai projekto dalies Lietuvoje vykdytojai

Projekto vadovas	Dr. Virmantas Povilaitis, LAMMC Žemdirbystės instituto Augalų mitybos ir agroekologijos skyriaus vyresnysis mokslo darbuotojas	Projekto veiklos koordinavimas, lauko bandymų vykdymas, duomenų analizė, ataskaitos rengimas.
Projekto vykdytojai	Dr. Renaldas Žydelis, LAMMC Žemdirbystės instituto Augalų mitybos ir agroekologijos skyriaus mokslo darbuotojas	Lauko bandymų vykdymas, biomasės formavimosi tyrimai, duomenų analizė, ataskaitos rengimas.
	Dr. Jurgita Cesevičienė, LAMMC Žemdirbystės instituto Cheminių tyrimų laboratorijos vyriausioji mokslo darbuotoja	Laboratorinių bandymų vykdymas, dirvožemio ir augalų kokybės analizių vykdymas, duomenų analizė, ataskaitos rengimas.
	Dr. Šarūnas Antanaitis, LAMMC Agrocheminių tyrimų laboratorijos vyresnysis mokslo darbuotojas	Lauko ir laboratorinių bandymų vykdymas, dirvožemio ir augalų kokybės analizė, duomenų analizė, ataskaitos rengimas.

Projektas vykdomas pagal TMTTV iniciatyvą ERA-NET Cofund SusAn, FACCE ERA-GAS, ICT-AGRI-FOOD and SusCrop “Circularity in mixed crops and livestock farming systems with emphasis on climate change mitigation and adaptation”.

Projekte dalyvauja šie užsienio šalių partneriai:

TMTTV projekto koordinadorius	Consorzio Interuniversitario Nazionale per le Scienze Ambientali Unita' Locale Universita' di Parma, Parco Area delle Scienze, 43124, Parma, Italija.
TMTTV projekto įgyvendinime dalyvaujančios institucijos	• Milano universitetas (University of Milano), adresas: Via Celoria, 26, 20133, Milan, Italija • Plovdiv žemės ūkio universitetas (Agricultural university – Plovdiv), adresas: 12 Mendeleev Str, 4000 Plovdiv, Bulgarija • Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras, adresas: Instituto al. 1, 58344 Akademija, Kėdainių r. Lietuva • Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CREA), adresas: Via Salaria 31, 00195, 00015 Monterotondo, Italija • Tartu universitetas (University of Tartu), adresas: Narva mnt. 18, 51009 Tartu, Estija • CIEMAT Departamento de Medio Ambiente, adresas: Avenida Complutense 40, 28040, Madridas, Ispanija • NEIKER Animal Production, adresas: Berreaga 1, 48160 Derio, Ispanija • Varšuvos gyvybės mokslų universitetas (Warsaw University of Life Sciences), adresas: Nowoursynowska 166, 02-787 Warsaw, Lenkija • Niğde Ömer Halisdemir University, adresas: Niğde Ömer Halisdemir University Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, 51240 Merkez Yerleşke/Niğde, Turkija

Turinys

Turinys.....	3
Įvadas	4
1. TYRIMŲ METODIKA.....	7
1.1. Tikslieji lauko eksperimentai.....	7
1.1.1. Lauko eksperimentų agrotechnika	10
1.1.2. Mitybos azotu būklės vertinimas	11
1.1.3. Nuotolinio stebėjimo priemonių naudojimas sistemoje dirvožemis–augalas	11
1.1.4. Augalų ir dirvožemio cheminių analizių atlikimo metodika	11
1.2 Skirtingų augalų auginimo technologijų energetinis vertinimas	12
1.3. Meteorologinės sąlygos tyrimų laikotarpiu	13
1.3.1. Dirvožemio drėgmės ir temperatūros matavimai.....	17
1.4. Tyrimo duomenų statistinė analizė	19
2. TYRIMŲ REZULTATAI.....	20
2.1.1. Dirvožemio agrocheminių rodiklių pokyčiai	20
2.1.2. Skaitmeninių priemonių panaudojimas nuotoliniam duomenų surinkimui	21
2.2. Augalų produktyvumas ir grūdų kokybiniai rodikliai skirtingo intensyvumo sėjomainose.....	23
2.2.1. Ekologiškai auginamų žieminių kviečių derlingumas tręšiant kompostu	23
2.2.2 Miglinių javų produktyvumas skirtingo intensyvumo agroekosistemose	26
2.3.1 Skirtingos sudėties kompostų efektyvumas augalų produktyvumui	36
2.3.2 Makro ir mikroelementų koncentracija miglinių javų grūduose	48
2.3.3 Energinis miglinių javų grūdų potencialas tręšiant skirtingais tręšimo produktais	50
IŠVADOS	53
Literatūros sąrašas	54
Projekto rezultatų sklaida	57
Priedai	58

Įvadas

Žemės ūkio naudmenos pasaulyje užima trečdalį sausumos (<https://data.worldbank.org/> 2022 10 19). Dirvožemių įvairovė gali būti produktyviai išnaudota tinkamai parenkant agrotechnologines priemones, kurios atsižvelgtų į dirvožemio savybes, tokias kaip: turtingumas maistinių medžiagų, organinės medžiagos atsargos, naudingų mikroorganizmų veikla, augalų produktyvumo realizavimo skatinimas, maistinių medžiagų ir (arba) vandens naudojimo efektyvumo gerinimas, tolerancijos didinimas neigiamų veiksnių keliamam stresui (Estendorfer ir kt. 2017). Dirvožemyje gyvenančių organizmų gausa ir veikla vaidina svarbų vaidmenį augalų produktyvumo potencialo realizavime ir yra būtini tvariai augalininkystei (Dardonville ir kt., 2020; Smith ir Smith, 2011).

Didėjanti žmonijos populiacija ir besikeičiantis klimatas tampa iššūkiu žemės ūkiui. Prognozuojama, kad iki 2050 m. pasaulio gyventojų skaičius viršys 9 milijardus, todėl maisto gamybą reikės padidinti $\approx 70\text{--}85\%$ (Dhankher ir Foyer., 2018), tuo pačiu užtikrinant maisto tiekimo stabilumą ir kokybinį saugumą. Vienas iš svarbiausių šiuolaikinių globalių pokyčių padarinių yra spartus biologinės įvairovės mažėjimas daugelyje ekosistemų. Pagrindinių augalų funkcinų grupių įtaka dirvožemio biotai yra svarbesnė negu augalų įvairovė, tačiau dabartinės žinios daugiausia priklauso nuo trumpalaikių eksperimentų (Eisenhauer ir kt., 2011; Urruty ir kt., 2016). Biologinė įvairovė turi įtakos ekosistemos produktyvumui ir kitoms jos funkcijoms, tačiau tos pačios ekosistemos biologinė įvairovė konkuruoja dėl tų pačių išteklių: azoto, vandens, CO₂, tačiau tuo pačiu turi prisitaikyti ir prie kritinių trikdžių, tokių kaip: sausra, naujų augalų, vabzdžių ir patogenų rūšių invazijos ar išplitimo protrūkiai (Vanuytrecht, Thorburn, 2017; Tilman ir kt., 2012). Sindelar ir kt. (2015), Liang-bing ir kt., (2021) teigimu, tinkama sėjomaina yra svarbus veiksnys stabiliam agroekosistemos produktyvumo palaikymui. L. Van Eerd ir kt. (2014) tyrimų rezultatai parodė, kad agroekosistemos produktyvumui ir dirvožemio kokybiniais rodikliais palankesnės sėjomainos, kuriose rotacija sudaryta iš didesnio augalų rūšių skaičiaus. Produktyvumą lemia ir agroekosistemos intensyvumas. Ekologinė (organinė) agroekosistema yra alternatyva intensyvaus ūkininkavimo poveikio aplinkai mažinti (Campiglia ir kt., 2015). De Ponti ir kt. (2012) apžvalgoje pabrėžė, kad ekologiškai auginamų javų derlingumas buvo 27 % mažesnis nei tradiciniuose ūkiuose, tačiau derlių skirtumas tarp sistemų svyruoja nuo -60 % iki +30 %. Minėti autoriai padarė išvadą, kad derliaus atotrūkis tarp organinių ir įprastinių sistemų yra daugiausia susijęs su mažu maistingųjų medžiagų stresu ir geresniu kenkėjų, ligų ir piktžolių kontrolės būdu, gautu įprastu būdu, palyginti su organinėmis sistemomis. Yra keliamos hipotezės, kad ekologinės sistemos reaguoja skirtingai nei įprastos į meteorologinius ekstremumus, todėl ekologinių ir įprastų derliaus sistemų skirtumai priklauso nuo žemės ūkio intensyvumo ir nuo meteorologinių sąlygų, vyravusių visą derliaus formavimo ir brandinimo laikotarpį (Zhang ir kt., 2019; Campiglia et al., 2015).

Vienas sudėtingiausių ilgalaikių sistemų procesų yra atsakas į klimato kaitą. Klimato kaitos tendencijos per pastaruosius kelis dešimtmečius gana plačiai tyrinėtos daugelyje žemės ūkio regionų visame pasaulyje, kaip ir atmosferos anglies dioksido (CO₂) kiekio ir temperatūros padidėjimas (Lobell ir kt., 2012; Challinor ir kt., 2014; Liang-bing ir kt., 2021). Išlieka didelė tikimybė, kad klimato ir CO₂ koncentracijos pokyčiai tęsis ir ateityje, o tai kelia daug klausimų, susijusių su augalų produktyvumo stabilumu, maisto saugumu, atsinaujinančiais energiniais ištekliais. Tad Europos Žaliojo kurso tikslas iki 2050 m. tapti pirmuoju pasaulyje neutralaus poveikio klimatui žemynu palies ir žemės ūkio sektorių. Siekiant įgyvendinti Žaliojo kurso tikslus, aktualu taps siekis išlaikyti stabilų žemės ūkio augalų produktyvumą. Taps svarbu taikyti pilnavertes sėjomainas, naudoti atsinaujinančius vietinius išteklius augalų tręšimo produktų gamybai, taikyti įvairias agroekosistemas, kurios labiausiai tiks konkrečiomis pedoklimatinėmis sąlygomis ir bus palankiausios aplinkai.

Atskirų žemdirbystės sistemų elementų poveikio augalų produktyvumui tyrimų yra daug, tačiau jų įtaka aplinkai labai menkai ištyrinėta. Ilgalaikiai eksperimentai padeda rasti atsakymus į rūpimus pasėlių produktyvumo pokyčių klausimus, tačiau sudėtinga išlaikyti ilgalaikį bandymą stabilų, be didesnių pokyčių (Edmeades, 2003). Šimtai pasaulinio masto eksperimentų atlikta dirbtinių ir natūralių ekosistemų sąlygomis. Dauguma šių eksperimentų tęsiasi tik keletą metų ir gerai apibūdino trumpalaikius, greitus procesus, o ilgalaikių pokyčių išaiškinimas yra mažiau apžvelgiamas ir dar sunkiau nuspėjamas. Kai kurie eksperimentai atlikti dešimtmetį ar ilgiau, siekiant spręsti ilgalaikius pokyčių klausimus (Reidsma ir kt., 2010; Lou ir kt., 2010). Tačiau šių eksperimentų išvados perėjo į tarpinius ir ilgalaikius dirvožemio maistingųjų medžiagų prieinamumo, organinių medžiagų, dominuojančių rūšių pokyčių rezultatus (Lou ir kt., 2010). Ilgalaikių eksperimentų rezultatai taip pat yra svarbūs siekiant įvertinti egzistuojančių hipotezių ir modelių tikroviškumą ir kurti naujas koncepcijas, skirtas rasti atsakymus apie ekosistemų pokyčius, kuriuos lemia pasauliniai klimato pokyčiai (Reckling ir kt., 2021).

Projekto tikslas. ConnectFarms – tai daugialypis projektas, kuriame bendradarbiauja skirtingų Europos šalių mokslininkai, siekiantys apjungti turimas kompetencijas ir patirtis, vykdant tyrimus skirtinguose Europos agroklimatiniuose regionuose, su esančiomis skirtingomis ūkininkavimo sąlygomis, taikant įvairias technologijas. Projekto tikslas – įvertinti priemones, kurios leistų tvariai padidinti augalininkystės ir gyvulininkystės produkciją, išsaugant dirvožemio kokybę ir atsparumą neigiamiems klimato kaitos veiksniams, atsižvelgiant į skirtingų Europos regionų klimatinės sąlygas. Projekto metu vertintas skirtingų ekologinių priemonių taikymas, sukuriant aplinkai palankią ir stabilaus produktyvumo gamybą pagal strategiją „nuo lauko iki stalo“.

Tiriamieji projekto objektai. Augalai: žieminiai kviečiai, vasariniai kviečiai, vasariniai miežiai, raudonieji dobilai auginami skirtingo intensyvumo agroekosistemose, skirtingos kilmės organinės trąšos.

Tyrimo uždaviniai. Projekto metu numatyta, kad projekto partneriai, tarpusavyje derindami metodikas ir turimas technologines galimybes, spręstų šiuos uždavinius:

1 uždavinys. Augalinės produkcijos kiekybinių ir kokybinių pokyčių vertinimas, panaudojus alternatyvius tręšimo produktus, kurie pagaminti iš vietinių atsinaujinančių žaliavų (iš augalinių liekanų, bioanglies ir t. t.).

2 uždavinys. Naudojamų sėjomainų produktyvumo vertinimas, tręšimo technologijas papildžius alternatyviais tręšimo produktais.

3 uždavinys. Įvertinti nuotolinių technologijų panaudojimo galimybes sistemoje dirvožemis-augalas vykstančių kitimų stebėjimui ir jų rezultatų pritaikymui modeliavimo ir prognozavimo procesuose.

4 uždavinys. Įvertinti taikomų augalininkystės produkcijos gamybos sistemų tvarumą, produktyvumo stabilumą ir gebėjimą prisitaikyti prie besikeičiančių aplinkos sąlygų veikiančių klimato kaitos procesų.

5 uždavinys. Projekto dalies, už kurią atsakingas vykdytojas Lietuvoje, vykdymas, valdymas, rezultatų sklaida.

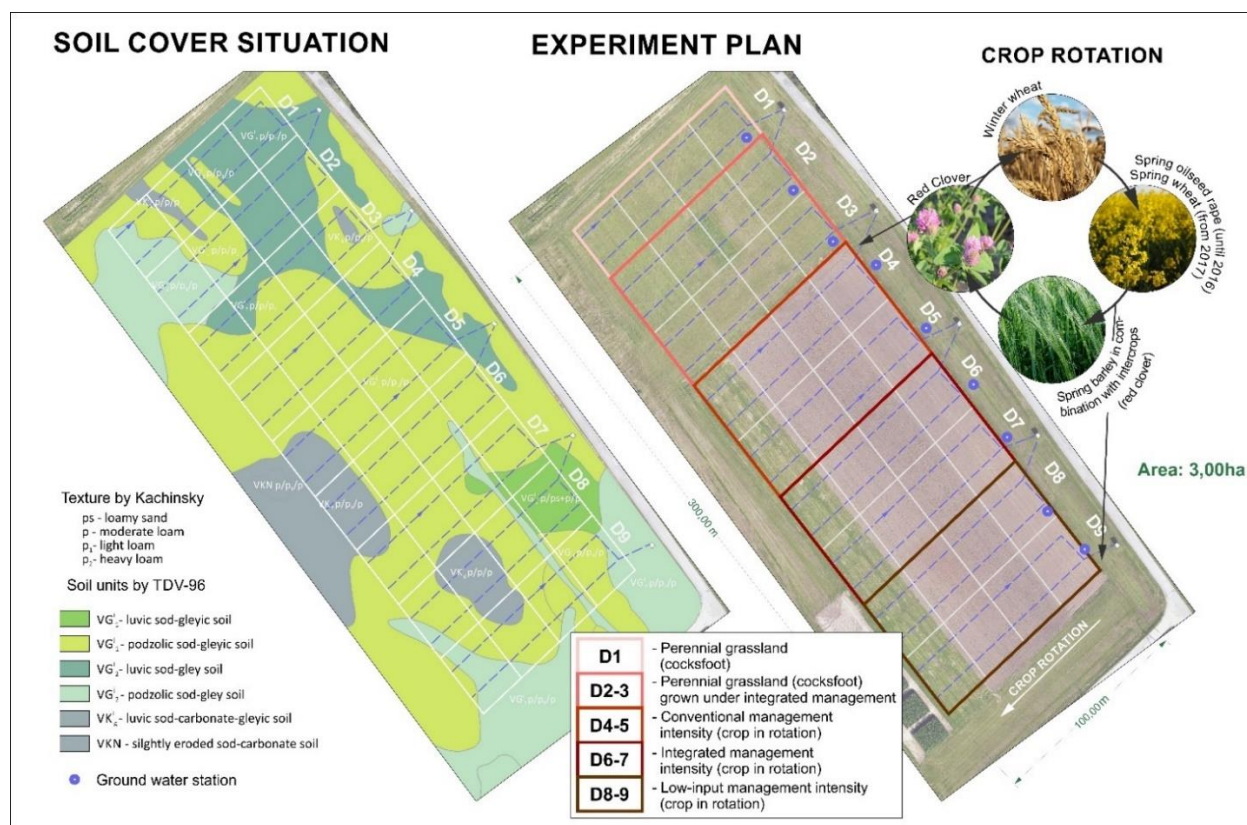
1. TYRIMŲ METODIKA

1.1. Tikslieji lauko eksperimentai

2022 m. pradėti vykdyti 2 tikslieji lauko eksperimentai, kurie vykdyti visą projekto laikotarpį (2022–2024 m). Antraisiais tyrimų metais, projekto partneriu sutarimu, vykdomi eksperimentai išplėsti – įtraukti nauji tyrimų variantai, siekiant įgyvendinti projekto uždavinius, numatytus WP1 darbiniam pakete.

Projekto 2-ajame darbiniam pakete (WP 2) vykdyti tikslieji lauko eksperimentai ilgalaikiuose eksperimentuose. LAMMC tam tikslui numatė Valinavos ilgalaikį eksperimentą. Valinavos ilgalaikis eksperimentas, įrengtas 1991 metais, 2002 metais perplanuotas į dabar esančią sėjomainą (Bučienė ir kt., 2014). Paskutinis sėjomainos koregavimas atliktas 2018 m., kuomet atsisakyta vasarinių rapsų auginimo, ir vietoje jų į sėjomainą įtraukti vasariniai kviečiai. Ilgalaikis eksperimentas užima daugiau kaip 4 ha ir yra Dotnuvėlės upelio terasinėje aikštelėje, kurios reljefas nėra visiškai lygus: šiaurės vakarų dalis iškili, o pietų ir pietvakarių kryptimi žemėja.

Valinavos ilgalaikiame lauko eksperimente yra 4 sėjomainos laukai (žr. 1 paveikslą), kuriuose auginami žieminiai kviečiai, vasariniai kviečiai, vasariniai miežiai, raudonieji dobilai, daugiametės žolės. Visa augalų sėjomaina taikoma 3 skirtingo intensyvumo agroekosistemose: tradicinėje (angl. *conventional*), tausojančioje (angl. *integrated*) ir ekstensyvioje (angl. *low-input*).



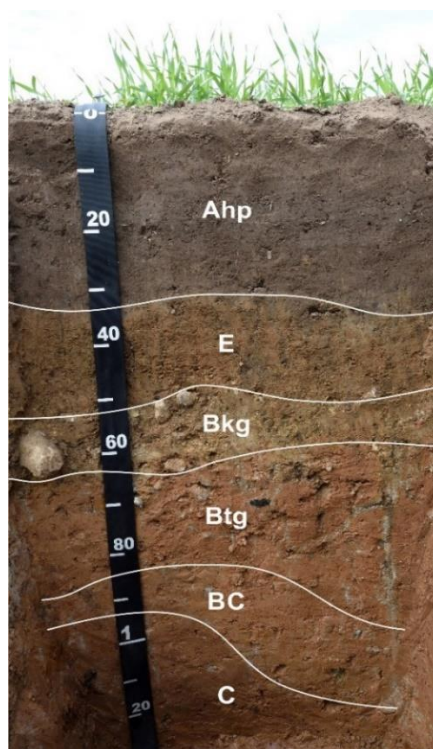
1 paveikslas. Valinavos ilgalaikio eksperimento agroekosistemų išdėstymas. (D1, D2, D3 – daugiamečiai žolynai; D 4-5 – tradicinė agroekosistema; D6-7 – tausojanti; D 8-9 – ekstensyvi sistema).

Tradicinėje agroekosistemoje tręšiama planuojant užauginti žieminių kviečių derlių $7,5 \text{ t ha}^{-1}$, miežių su įsėliu – 5 t ha^{-1} , vasarinių kviečių – 5 t ha^{-1} . Vykdoma 2 (D4 ir D5) sistemose, kiekvienoje sistemoje išskiriami 6 pakartojimų laukeliai.

Tausojančioje sistemoje augalai tręšiami planuojant užauginti žieminių kviečių grūdų derlių 5 t ha^{-1} , miežių su įsėliu – 4 t ha^{-1} , vasarinių kviečių – 4 t ha^{-1} . Vykdoma 2 sistemose (D6 ir D7), kiekvienoje sistemoje išskiriami 6 pakartojimo laukeliai.

Ekstensyvioje žemdirbystės sistemoje augalų mitybos ir apsaugos priemonės naudojamos tik tos, kurios leidžiamos „Ekologinės gamybos taisyklėse“, o azoto balansas rotacijoje palaikomas biologiniu azotu. Tręšiama planuojant užauginti žieminių kviečių derlių $3,5 \text{ t ha}^{-1}$, miežių su įsėliu – $3,0\text{--}3,5 \text{ t ha}^{-1}$, vasarinių kviečių – $2,5 \text{ t ha}^{-1}$. Vykdoma 2 sistemose (D7 ir D8), kiekvienoje įrengiami 6 pakartojimo laukeliai.

Dirvožemis. Valinavos ilgalaikiame eksperimente vyraujantis dirvožemis – karbonatingas giliau stagniškas išplautžemis (žr. 2 paveikslą). Pagal LTK-99: Karbonatingasis giliau stagniškas išplautžemis / Calc(ar)i-Endohypostagnic Luvisol. Pagal WRB2014: Endogleyic Amphistagnic Endocalcaric Luvisols (Loamic, Aric, Drainic). Išskiriami šie horizontai: Ahp – akumuliacinis humingas (jei humuso $<2 \%$), ariamasis; E – eliuvinis išmolėjęs (LT-El), Bkg – iliuvinis su pedogeniniais karbonatais, stagniškas (LT-Bkj), Btg – iliuvinis moliuotasis stagniškas (LT-Btj), BC – pereinamasis tarp iliuvinio ir karbonatingos dirvodarinės uolienos (LT-BCK), C – karbonatinga dirvodarinė uoliena (LT-Ck). Dirvožemio karbonatai randami 40–60 cm gylyje.



2 paveikslas. Valinavos ilgalaikio tyrimo vyraujančio karbonatingo giliau stagniško išplautžemio dirvožemio profilis.

II-asis lauko eksperimentas. Antrasis lauko eksperimentas, kuris pradėtas 2022 m., vykdytas 2022–2024 m. LAMMC Žemdirbystės instituto ekologinėje sėjomainoje auginamų žieminių kviečių „Ada“ pasėlyje (Akademija, Kėdainių r.), kur javai auginti po raudonųjų dobilų. Šitame eksperimente raudonieji dobilai sėjomainoje auginami sėklų derliui, o jų biomasė panaudojama kaip žalioji trąša. Žieminių kviečių tręšimui naudotos rinkoje prieinamos ekologinės augalinės kilmės komposto granulės. Žieminių kviečių tręšimui komposto granulių norma (žr. 1 lentelę) parinkta atsižvelgiant į komposto maistinių medžiagų sudėtį ir pasėlio būklę.

1 lentelė. Ekologiškai augintų žieminių kviečių tręšimo komposto granulėmis bandymo schema.

Variantas	Pavadinimas	Pastabos
1	Kontrolė	Žieminiai kviečiai auginti po raudonųjų dobilų, nenaudoti jokie augalų apsaugos produktai ir mineralinės trąšos.
2	Komposto granulės 200 kg/ha	
3	Komposto granulės 400 kg/ha	
4	Komposto granulės 600 kg/ha	

Bandymas atliktas taikant klasikinių lauko eksperimentų metodiką, kiekvieną variantą kartojant erdvėje 4 kartus. Pradinis laukelio dydis – 3×10 m (30 m^2), o eksperimentas įrengtas pagal 1 lentelėje esančią schemą.

2023 ir 2024 m. augalų vegetacijos sezonui visiems projekto vykdytojams skirtingose šalyse paruoštos 3 rūšių komposto granulės. Komposto rūšys tarpusavyje skyrėsi savo sudėtimi ir svarbiausių mitybinių elementų koncentracija (žr. 2 lentelę). Šiomis komposto granulėmis tręstisėjomainoje su raudonaisiais dobilais auginami žieminiai kviečiai, vasariniai kviečiai ir vasariniai miežiai bei vasariniai miežiai, kurie auginami sėjomainoje su vasariniais žirniais.

2 lentelė. Komposto granulių sudėtis

Sudedamosios komposto dalys, elementų koncentracija	Komposto granulės Nr. 1 – įprastos	Komposto granulės Nr. 2 – praturtintos Si (siliciu)	Komposto granulės Nr. 3 – su bioanglimi
Rugių/avižų* šiaudai	50 %	50 %	50 %
Grybų auginimo substratas	20 %	10 %	10 %
Paukščių mėšlas	30 %	30 %	30 %
Bioanglis			10 %
Drambliažolių biomasė		10 %	
Anglis (C, %)	19,44	22,35	32,78
Azotas (N, %)	2,45	2,40	3,40
Siera (S, %)	1,48	1,54	1,36
Fosforas (P, mg/kg)	6,04	4,20	5,54

*avižų šiaudai naudoti tik komposto granulėse Nr. 2

Suderinus su projekto partneriais, sudarytas bandymo planas, kuriame parinkti 5 skirtingi tręšimo variantai, iš kurių 3 panaudotos komposto granulės, jas derinant su mineralinėmis azoto trąšomis (žr. 3 lentelę). Tręšimo lygis parinktas atsižvelgiant į „Tręšimo plane“ pateiktus rekomendacinius skaičiavimus.

3 lentelė. Bandymų schema su skirtingomis komposto granulėmis.

Augalas	Sėjomainoje su raudonaisiais dobilais			Sėjomaina su žirniais
Variantas	Žieminiai kviečiai	Vasariniai kviečiai	Vasariniai miežiai	Vasariniai miežiai
Netręštas	-	-	-	-
N mineralinės trąšos	N150	N130	N100	N100
Komposto granulės Nr. 1	2 t/ha+N100	2 t/ha+N80	2 t/ha+N50	2 t/ha+N50
Komposto granulės Nr.2 (su siliciu)	2 t/ha + N100	2 t/ha + N80	2 t/ha + N50	2 t/ha + N50
Komposto granulės Nr. 3 (su bioanglimi)	2 t/ha+ N100	2 t/ha+ N80	2 t/ha+ N50	2 t/ha+ N50

1.1.1. Lauko eksperimentų agrotechnika

Valinavos ilgalaikiame lauko eksperimente taikytos skirtingos augalų auginimo agrotechnologijos:

Žieminių kviečių veislė „Malibu“ Valinavos ilgalaikiame eksperimente pasėta 2023 m. rugsėjo 21 d., 2022 m. rugsėjo 20 d., 2021 m. rugsėjo 17d., po raudonųjų dobilų priešsėlio. Parinkta sėklos sėjos norma būdinga vidurio Lietuvos dirvožemiams – 4,5 milijono daigų sėklų ha⁻¹. Prieš sėją tradicinėje sistemoje patręšta fosforu ir kaliu, o bendras tręšimo lygis taikytas N₁₂₀P₉₀K₁₄₀. Azoto trąšos augalams atiduotos per 2 kartus pavasarį. Tausojančioje sistemoje žieminiai kviečiai tręšti N₇₀ P₄₀ K₆₀, o ekstensyvioje sistemoje tręšta tik kalio trąšomis (K₅₀). Tradicinėje ir tausojančioje sistemose augalų apsaugos produktai naudoti pagal poreikį – purkšti herbicidai (1 kartą), augimo reguliatoriai (2 kartus), po kartą purkšta fungicidais ir insekticidais. Grūdų derlius nukultas 2024 m. liepos 20 d., 2023 m. rugpjūčio 16 d., 2022 m. rugpjūčio 5 d.

Vasariniai miežiai „Luokė“ pasėti: 2024 m. balandžio 30 d., 2023 m. balandžio 28 d., 2022 m. balandžio 20 d., sėjos norma – 180 kg ha⁻¹. Į vasarinius miežius įsėti raudonieji dobilai „Arimaičiai“ (sėjos norma – 14 kg ha⁻¹). Tradicinėje sistemoje taikytas tręšimas N₁₀₀P₈₀K₁₅₀, tausojančioje – N₄₅P₆₀K₁₂₀, o ekstensyvioje – N₀P₀K₁₂₀. Tradicinėje ir tausojančioje sistemose vasariniai miežiai purkšti nuo piktžolių herbicidais (1 kartą), nuo ligų ir kenkėjų – fungicidu ir insekticidu po vieną kartą. Ekstensyvioje sistemoje pasėliai pesticidais nepurkšti. Grūdų derlius nukultas 2024 m. rugpjūčio 12 d., 2023 m. rugpjūčio 24 d., 2022 m. rugpjūčio 20 d.

Vasariniai kviečiai „Collada“ pasėti 2024 m. balandžio 30 d., 2023 m. balandžio 28 d., 2022 m. balandžio 22 d., taikant 230 kg ha⁻¹ sėjos normą. Tradicinėje sistemoje augalų tręšimui taikyta N₁₃₀ P₉₀ K₁₅₀ trąšų norma, tausojančioje – N₉₀P₆₀K₁₂₀, o ekstensyvioje – N₀P₀K₈₀. Tradicinėje ir tausojančioje sistemose auginti augalai po vieną kartą purkšti herbicidais, augimo reguliatoriais, fungicidu ir insekticidu. Ekstensyvioje sistemoje augalų apsaugos priemonės nenaudotos. Vasarinių kviečių derlius nukultas 2024 m. rugpjūčio 16 d., 2023 m. rugpjūčio 28 d., 2022 m. rugpjūčio 22 d.

Raudonieji dobilai išėjami į vasarinius miežius pavasarį, iškart po vasarinių miežių sėjos. Antraisiais metais jie netręšiami ir nepurškiami augalų apsaugos produktais. Biomasės derlius nupjaunamas augalams esant žydėjimo tarpsnyje – tuo metu būna didžiausia biomasė. Tyrimų laikotarpiu, 2022–2024 metais, dobilų biomasė nupjauta birželio III dekada.

1.1.2. Mitybos azotu būklės vertinimas

Žieminių kviečių, vasarinių miežių ir vasarinių kviečių lapuose chlorofilo indeksas nustatytas spektrofotometru MINOLTA SPAD 502, kuris chlorofilo absorbciją matuoja mėlynųjų (400–500 nm) ir raudonųjų (600–700 nm) bangų diapazone. Iš šių duomenų prietaisas apskaičiuoja skaitmeninę reikšmę, atitinkančią chlorofilo kiekį lapuose, t. y. chlorofilo kiekio indeksą. Bandymuose chlorofilo indekso matavimai atlikti periodiškai, svarbiausiuose augalų augimo tarpsniuose: krūmijantis (BBCH 23–29), bamblėjant (BBCH 30–33), vėliavinio lapo augimo (BBCH 37–47) ir žydėjimo (BBCH 61 – 69).

1.1.3. Nuotolinio stebėjimo priemonių naudojimas sistemoje dirvožemis–augalas

Bepilotė skraidyklė (dronas – DJI Phantom 4) naudota tiksluosiuose lauko eksperimentuose vegetacijos metu įvertinti sistemos „dirvožemis–augalas“ procesus. Skrydžiai atlikti fiksuotu paros laiku, t. y. nuo 11:00 val. iki 12:00 val. Bepiloto orlaivio užfiksuotos nuotraukos (vieno skrydžio metu ≈150), panaudojant programinę įrangą „Agisoft Metashape“ (Agisoft LLC, Danija), sujungtos į vieną aukštos raiškos georeferencinę ortofotografiją. Vėliau atlikta nuotraukų korekcija (nuotraukų išlyginimas, konkrečių eksperimento laukelių aptikimas, trianguliacijos procedūra). Toliau sugeneruotas taškų debesis ir atliktas georeferencinės ortofotografijos generavimas. Gauta georeferencinė ortofotografija analizuota nemokama QGIS 3.2.1 (QGIS Development Team, USA) atviro kodo tarp platformine geografinės informacijos programine įranga.

1.1.4. Augalų ir dirvožemio cheminių analizių atlikimo metodika

Dirvožemio analizės. Dirvožemyje, kurio ėminiai paimti ariamajame sluoksnyje, nustatyta pH, organinė anglis (C_{org.}), azoto kiekis, judrusis fosforas (P₂O₅) ir judrusis kalis (K₂O). Dirvožemio cheminėms analizėms taikyti šie metodai: pH nustatytas pagal standartą ISO 10390:2005

(potenciometrinis metodas – 1M KCl ištraukoje); suminio azoto (N_{total}) kiekis nustatytas Kjeldalio metodu (ISO 11261:1995). Judriojo fosforo ir kalio kiekiai dirvožemyje nustatyti Egnerio – Rimo – Domingo metodu (A–L metodu). Organinė anglis (C_{org}) nustatyta organinės anglies analizatoriumi pagal ISO 10694:1995.

Pirmaisiais tyrimų metais, prieš eksperimentų pradžią, siekiant įvertinti dirvožemio fizikinių savybių įtaką drėgmės ir temperatūros pasiskirstymui ir režimui tyrimų vietovėje, vadovaujantis LTDK-99 ir WRB 2014, 2015 metodinėmis nuostatomis, nustatytas dirvožemio tipologinis vienetas ir identifikuota jo morfologija.

Augalų analizės. Augalų derlingumas ir grūdų kokybinės analizės atliktos laikantis LAMMC Žemdirbystės institute taikomų metodikų. Grūdų kokybinės analizės atliktos „Infratec“ analizatoriumi.

1.2 Skirtingų augalų auginimo technologijų energetinis vertinimas

Dažnai įvairių augalų auginimo technologijų taikymas vertinamas per finansinių kaštų vertinimą. Tačiau žemės ūkio produktų gamyboje naudojamų priemonių ir produktų (trąšų, degalų), bei pačios produkcijos supirkimo kainos kinta, ir per ilgesnį laiką sudėtinga apskaičiuoti kiek kainuotų vienoks ar kitoks produkcijos gamybos būdas. Kitas kelias atlikti energinį vertinimą – suskaičiuoti, kiek energijos reikalauja pasirinkta augalų auginimo technologija, ir kiek su užauginta produkcija būtų galima gauti energijos. Dažniausiai tokiems vertinimams naudojamas augalų pasėlių įrengimo, užauginimo ir derliaus nuėmimo energijos sąnaudos.

Pagal tai, kaip sunaudojama energija, ji skirstoma į tiesioginę ir netiesioginę. Tiesioginė energija naudojama tokiems darbams kaip: dirvos paruošimui, sėjos, mineralinių ir organinių trąšų barstymui, pesticidų purškimui, derliaus nuėmimui (žr. 4 lentelę). Netiesioginės energijos sąnaudos apima sėklas, mineralines ir organines trąšas, naudojamus pesticidus ir kt. produktus.

Skirtingų auginimo sistemų energetinis efektyvumas, energetinis produktyvumas ir specifinė energija skaičiuotas pagal Demircan ir kt., (2006), Alluvione ir kt.(2011) pateiktas lygtis:

$$\text{Energetinis efektyvumas} = \text{Gauta energija (MJ ha}^{-1}\text{)}/\text{Energinės sąnaudos (MJ ha}^{-1}\text{)};$$

$$\text{Energetinis produktyvumas} = \text{Derlingumas (kg ha}^{-1}\text{)}/\text{Energinės sąnaudos (MJ ha}^{-1}\text{)};$$

$$\text{Specifinė energija} = \text{Energinės sąnaudos (MJ ha}^{-1}\text{)}/\text{derlingumas (kg ha}^{-1}\text{)};$$

4 lentelė. Energetinių sąnaudų vertės miglinių javų produkcijos gamyboje.

Tiesioginės energijos šaltiniai ir energinės sąnaudos			
Technologinis procesas	Energijos ekvivalentas	Vienetas	Šaltinis
Arimas	1084,08	MJ ha ⁻¹	West, Marland, 2002; Šarauskis ir kt., 2014; Kriščiukaitienė et al., 2014., Srebutėnienė I., 2017; Šarauskis ir kt., 2021
Akėjimas	303,36		
Priešsėjinis dirvos dirbimas	339,60		
Tręšimas mineralinėmis trąšomis	107,52		
Organinių trąšų paskleidimas	199,1		
Sėja	212,44		
Žolynų šienavimas	412,5		
Javų derliaus nuėmimas kombainu	982,1		
Netiesioginės energijos šaltiniai ir energinės sąnaudos			
Technologinis procesas	Energijos ekvivalentas	Vienetas	Šaltinis
Javų sėklos	20,5	MJ kg ⁻¹	West, Marland, 2002; Šarauskis et al., 2014; Kriščiukaitienė et al., 2014., Srebutėnienė I., 2017; Šarauskis ir kt., 2021
Trąšos			
Azoto	40,0		
Fosforo	15,8		
Kalio	9,3		
Organinės trąšos (kompostas)	2,37		
Pesticidai (herbicidai, fungicidai, insekticidai, augimo reguliatoriai)	460,5	MJ ha ⁻¹	
Žmogaus darbo ekvivalentas, dirbant žemės ūkio technika	1,96	MJ h ⁻¹	

Miglinių javų grūdų kaloringumo (kitais – energinės) vertės nustatymas atliktas remiantis standartizuotu metodu - LST EN ISO 18125:2017. Kietasis biokuras. Šilumingumo nustatymas (ISO 18125:2017 Solid biofuels – Determination of calorific value), esant pastoviam mėginio tūriui ir etaloninei 25 °C temperatūrai, kalibruotame degimo kalorimetre IKA C 200, deginant sertifikuotą benzenkarboksirūgštį. Darbe taikytos šios nustatytos grūdų energinės vertės: žieminių kviečių – 18,25 MJ kg⁻¹, vasarinių kviečių – 18,38 MJ kg⁻¹ ir vasarinių miežių – 18,66 MJ kg⁻¹.

1.3. Meteorologinės sąlygos tyrimų laikotarpiu

2022 m. pavasaris buvo permainingas: kovas mėn. buvo neįprastai sausas – kritulių vidurio Lietuvoje teiškrito tik 2,9 mm, kai klimatinė kovo mėn. norma siekia 27,9 mm. Balandis šiltesnis, o lietaus buvo daugiau mėnesio pabaigoje. Gegužės mėn. vyravo vėsesni, nei įprasta orai, o kritulių II ir III dešimtadieniais sulaukta daugiau nei įprastai (žr. 5 lentelę). Birželio mėn. kontrastingas – I ir II dešimtadieniais sulaukta gausių kritulių, o temperatūra artima vidurkiui, tačiau III dešimtadienis buvo gerokai šiltesnis ir sausesnis nei daugiametis vidurkis ir tai skatino augalų vystymosi procesus.

Liepos mėn. prasidėjo sausas ir su aukštesne temperatūra nei įprastai, orais. Aukštesnės temperatūros spartina augalų vystymąsi, o tai neigiamai veikia augalų produktyvumo potencialo išnaudojimą. Rugpjūčio pirmosiomis dienomis kritulių iškrito beveik visas mėnesio kiekis – 38 mm, vėliau vyravo gerokai šiltesni ir sausi orai nei įprastai. Vasariniams javams, tokiems kaip vasariniai miežiai ir kviečiai, krituliai reikalingi, tačiau vėliau stojusi sausra ir karšti orai spartino vasarinių javų brandą.

2022 m. rugsėjo, spalio, lapkričio mėnesiais kritulių buvo gerokai mažiau, o temperatūra aukštesnė. Lapkričio gale – gruodžio mėn. laikėsi neigiama temperatūra, bet ekstremalių šalčių nebuvo. Visas žiemos periodas buvo palankus augalų žiemojimui. 2023 m. kovo mėnuo buvo gausesnis krituliais, tačiau jau balandžio mėn. kritulių buvo mažiau, o vyravusi temperatūra buvo aukštesnė nei klimatinė norma. Nuo balandžio 3-iosios dekados prasidėjo sausringas periodas, kuris tęsėsi visą vegetacijos periodą. Tuo metu ir vidutinė temperatūra buvo aukštesnė už klimatinę normą. Visai tai limitavo augalų produktyvumo potencialo realizavimą.

2023 m. rugsėjis išliko šiltesnis ir sausringas, o spalio ir lapkričio mėn. temperatūra buvo aukštesnė. Lapkričio trečioje dekadose prasidėjo žiemos periodas – sniegas išsilaikė iki II-osios gruodžio dekados, vėliau vyravo teigiama temperatūra iki sausio mėn. pradžios. 2024 m. sausio pirmoje pusėje temperatūra keletą naktų laikėsi žemiau -20°C , tačiau žiemojantiems augalams didesnės žalos nepadarė. Vėliau didesnių atšalimų nebuvo. Kovo mėn. buvo šiltesnis nei klimato norma, o kritulių atžvilgiu – sausas. Balandį kritulių buvo, tačiau temperatūra buvo aukštesnė nei standartinė klimato norma. Gegužė ir birželis taip pat buvo sausesni ir su aukštesnėmis temperatūromis, o tai spartino augalų augimą ir vystymąsi. Birželio ir liepos mėn. buvo karščio bangų, kurios skatino augalų brandą, todėl žieminiai javai pradėti kulti anksčiau nei įprastai. Liepos paskutinį dešimtadienį kritulių iškrito gausiai, tačiau ši drėgmė buvo pavėluota: žieminiai javai buvo nukulti, o vasariniai javai artėjo prie brandos tarpsnio, o rugpjūčio mėn. dauguma vasarinių javų nukulti anksčiau nei įprastai.

5 lentelė. Meteorologiniai duomenys, fiksuoti 2022–2023 metais.

Mėnuo	Dekada	Oro temperatūra, °C		Krituliai, mm	
		Dekados	SKN*	Dekados	SKN*
2022 m.					
Sausis	Vidurkis	-0,2	-5,5	35,4	30,6
	I	-0,3		17,6	
	II	-0,4		6,2	
	III	-0,5		11,6	
Vasaris	Vidurkis	1,1	-4,6	49,9	25,7
	I	-0,2		11,2	
	II	2,2		28,5	

5-os lentelės tęsinys

	III	1,5		10,2	
Kovas	Vidurkis	1,8	-0,8	2,9	27,9
	I	-0,5		2,9	
	II	1,7		0,0	
	III	3,8		0,0	
Balandis	Vidurkis	6,0	5,6	53,6	36,8
	I	3,2		17,1	
	II	6,7		3,5	
	III	8,0		33,0	
Gegužė	Vidurkis	10,9	12,3	78,5	52,2
	I	9,3		1,7	
	II	11,3		11,9	
	III	11,9		64,9	
Birželis	Vidurkis	17,4	15,8	151,5	62,3
	I	15,9		56,5	
	II	15,3		81,6	
	III	20,9		13,4	
Liepa	Vidurkis	17,9	17,0	96,8	74,7
	I	18,7		9,7	
	II	16,4		44,6	
	III	18,6		42,5	
Rugpjūtis	Vidurkis	20,7	16,3	43,7	74,2
	I	18,3		42,0	
	II	22,8		0,0	
	III	21,0		1,7	
Rugsėjis	Vidurkis	10,6	11,8	28,8	51,1
	I	10,9		2,1	
	II	11,1		16,4	
	III	9,8		10,3	
Spalis	Vidurkis	9,8	6,9	19,2	49,6
	I	10,0		4,2	
	II	9,6		11,6	
	III	9,9		3,4	
Lapkritis	Vidurkis	2,8	1,7	25,5	44,7
	I	7,7		14,6	
	II	2,6		2,8	
	III	-1,9		8,1	
Gruodis	Vidurkis	-3,1	-2,5	42,6	37,6
	I	-3,4		9,0	
	II	-6,9		17,3	
	III	0,8		16,3	
2023 m.					
Sausis	Vidurkis	0,3	-5,5	52,1	30,6
	I	-0,5		29,8	
	II	2,3		19,3	
	III	-0,8		3,0	
Vasaris	Vidurkis	-0,3	-4,6	20,1	25,7
	I	-1,1		3,7	
	II	1,4		12,9	

5-os lentelės tęsinys

	III	-1,2		3,5	
Kovas	Vidurkis	2,5	-0.8	37,3	27.9
	I	-0,9		8,3	
	II	2,7		13,8	
	III	5,3		15,2	
Balandis	Vidurkis	8,3	5,6	28,7	36,8
	I	5,2		9,4	
	II	10,1		15,2	
	III	10,1		4,1	
Gegužė	Vidurkis	12,7	12,3	9,6	52,2
	I	8,0		0,0	
	II	14,3		9,6	
	III	15,4		0,0	
Birželis	Vidurkis	17,4	15,8	33,5	62,3
	I	14,6		4,3	
	II	18,5		13,9	
	III	19,2		15,3	
Liepa	Vidurkis	17,7	17,0	48,7	74,7
	I	17,1		21,0	
	II	18,9		7,5	
	III	17,1		20,2	
Rugpjūtis	Vidurkis	19,9	16,3	96,2	74,2
	I	18,9		39,0	
	II	21,7		0,8	
	III	19,0		56,4	
Rugsėjis	Vidurkis	16,6	11.8	8,6	51.1
	I	16,3		2,0	
	II	16,9		1,6	
	III	16,5		5,0	
Spalis	Vidurkis	7,9	6.9	98,0	49.6
	I	10,5		17,1	
	II	8,0		20,0	
	III	5,3		60,9	
Lapkritis	Vidurkis	2,2	1.7	30,8	44.7
	I	7,6		15,6	
	II	2,2		2,5	
	III	-3,1		12,7	
Gruodis	Vidurkis	0,2	-2.5	41,1	37.6
	I	-3,7		1,4	
	II	1,8		9,2	
	III	2,2		30,5	
2024 m.					
Sausis	Vidurkis	-4,4	-5.5	24,2	30.6
	I	-9,7		2,4	
	II	-4,4		12,4	
	III	0,4		9,4	
Vasaris	Vidurkis	2,3	-4.6	54,5	25.7
	I	0,2		17,1	
	II	1,8		11,7	

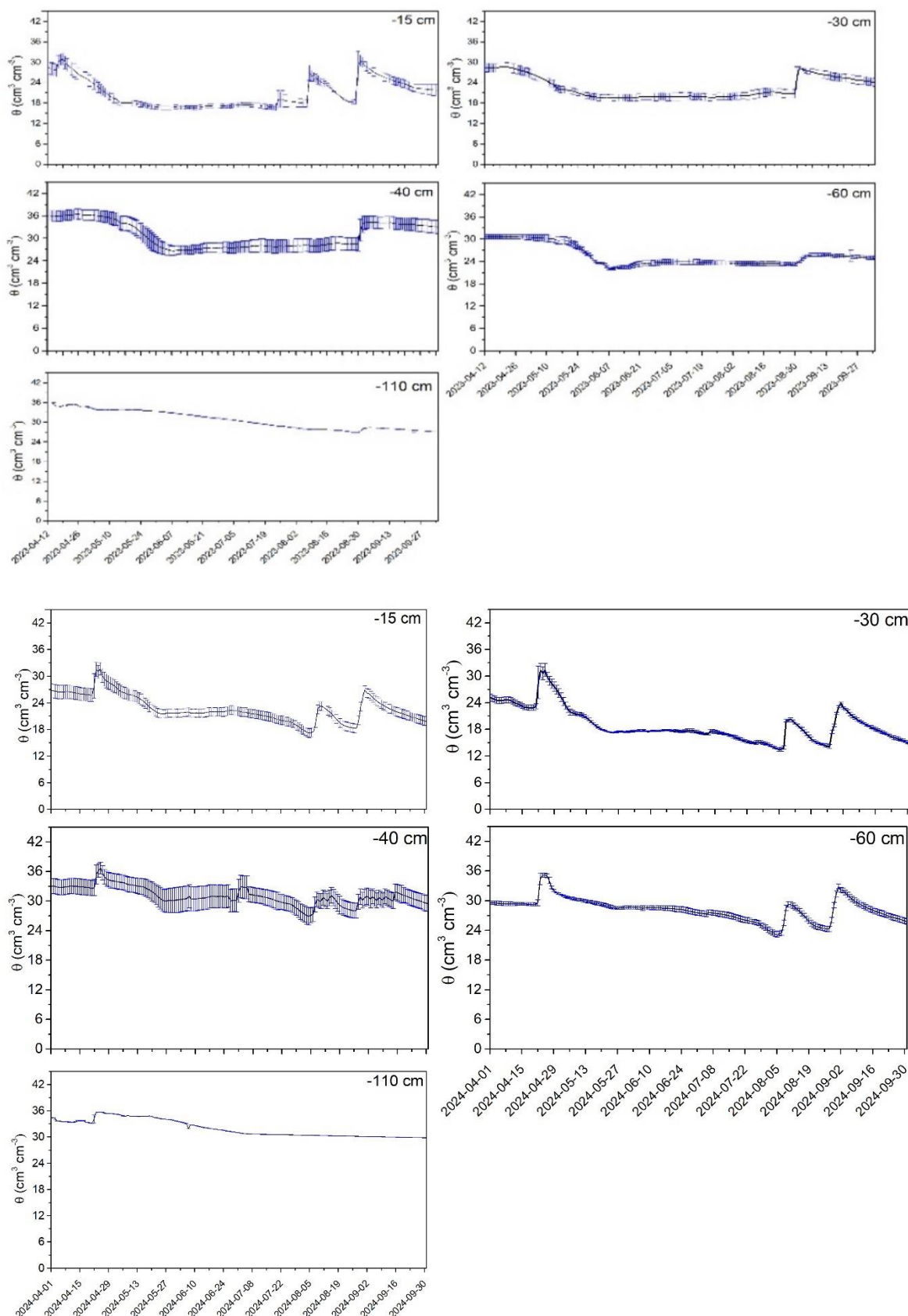
5-os lentelės tęsinys

	III	5,1		25,7	
Kovas	Vidurkis	4,3	-0,8	10,6	27,9
	I	1,8		0	
	II	3,3		5,6	
	III	7,4		5	
Balandis	Vidurkis	8,6	5,6	59,4	36,8
	I	10,6		8,4	
	II	7,1		17,9	
	III	8,1		33,1	
Gegužė	Vidurkis	15,5	12,3	31,2	52,2
	I	12,1		11,8	
	II	14,4		1,7	
	III	19,6		17,7	
Birželis	Vidurkis	17,9	15,8	35,1	62,3
	I	16,8		19,2	
	II	16,5		10,8	
	III	20,4		5,1	
Liepa	Vidurkis	20,0	17,0	110,2	74,7
	I	19,2		6,4	
	II	21,2		31,0	
	III	19,7		72,8	
Rugpjūtis	Vidurkis	19,5	16,3	23,8	74,2
	I	19,2		10,4	
	II	19,7		9,1	
	III	19,7		4,3	

*SKN standartinė klimatinė norma

1.3.1. Dirvožemio drėgmės ir temperatūros matavimai

Miglinių javų eksperimente periodiškai atlikti dirvožemio drėgmės (cm/cm^{-3}) ir temperatūros ($^{\circ}\text{C}$) matavimai. Matavimams panaudota SoilNet įranga, kuri dirvožemio profilyje instaliuota į 5 skirtingus dirvožemio genetinius horizontus. Įranga dirvožemyje instaliuota pavasarį, atsinaujinus augalų vegetacijai. 2023 m. augalų vegetacijos metu dirvožemio drėgmė viršutiniame tyrimų lauko Ahp horizonte (15 cm gylyje) vidutiniškai svyravo $16,58\text{--}30,82 \text{ cm}/\text{cm}^{-3}$ (žr 3 pav.) , o temperatūra – nuo $7,2$ iki $23,8^{\circ}\text{C}$. Ahm horizonte (30 cm gylyje) drėgmė siekė $19,45\text{--}28,67 \text{ cm}/\text{cm}^{-3}$, o temperatūra – nuo $7,1$ iki $22,6^{\circ}\text{C}$. Horizonte E + EK (40 cm gylyje) drėgmė vegetacijos metu svyravo nuo $26,63$ iki $36,41 \text{ cm}/\text{cm}^{-3}$, o temperatūra – nuo $6,9$ iki $21,5^{\circ}\text{C}$. Btg horizonte (60 cm gylyje) drėgmė įvairiais laikotarpiais siekė nuo $21,88$ iki $30,68 \text{ cm}/\text{cm}^{-3}$, o temperatūra – $6,8$ iki $20,4^{\circ}\text{C}$. Giliausiam horizonte Cg1 + Cg2 (110 cm gylyje) drėgmės atsargos svyravo nuo $26,94$ iki $35,84 \text{ cm}/\text{cm}^{-3}$, temperatūra – nuo $5,7$ iki $18,5^{\circ}\text{C}$.



3 pav. Dirvožemio drėgmės dinamika skirtinguose dirvožemio horizontuose augalų vegetacijos metu 2023 ir 2024 metais.

2024 m. augalų vegetacijos metu dirvožemio drėgmė įvairiuose horizontuose svyravo: Ahp horizonte – nuo 17,13 iki 31,67 cm/cm³, Ahm horizonte – nuo 13,46 iki 31,34 cm/cm³, E + EK horizonte – nuo 26,92 iki 36,73 cm/cm³, Btg horizonte – nuo 23,13 iki 35,15 cm/cm³, o Cg1 + Cg2 horizontuose – nuo 29,8 iki 35,72 cm/cm³. Visais tyrimų metais pastebėta tendencija, kad gegužės, birželio, liepos mėn., esant intensyviai augalų vegetacijos laikotarpiui, neretai dirvožemio viršutiniuose sluoksniuose drėgmės atsargos siekdavo kritinę ribą, ir tai galėjo tapti vienu iš augalų produktyvumą limituojančių veiksnių.

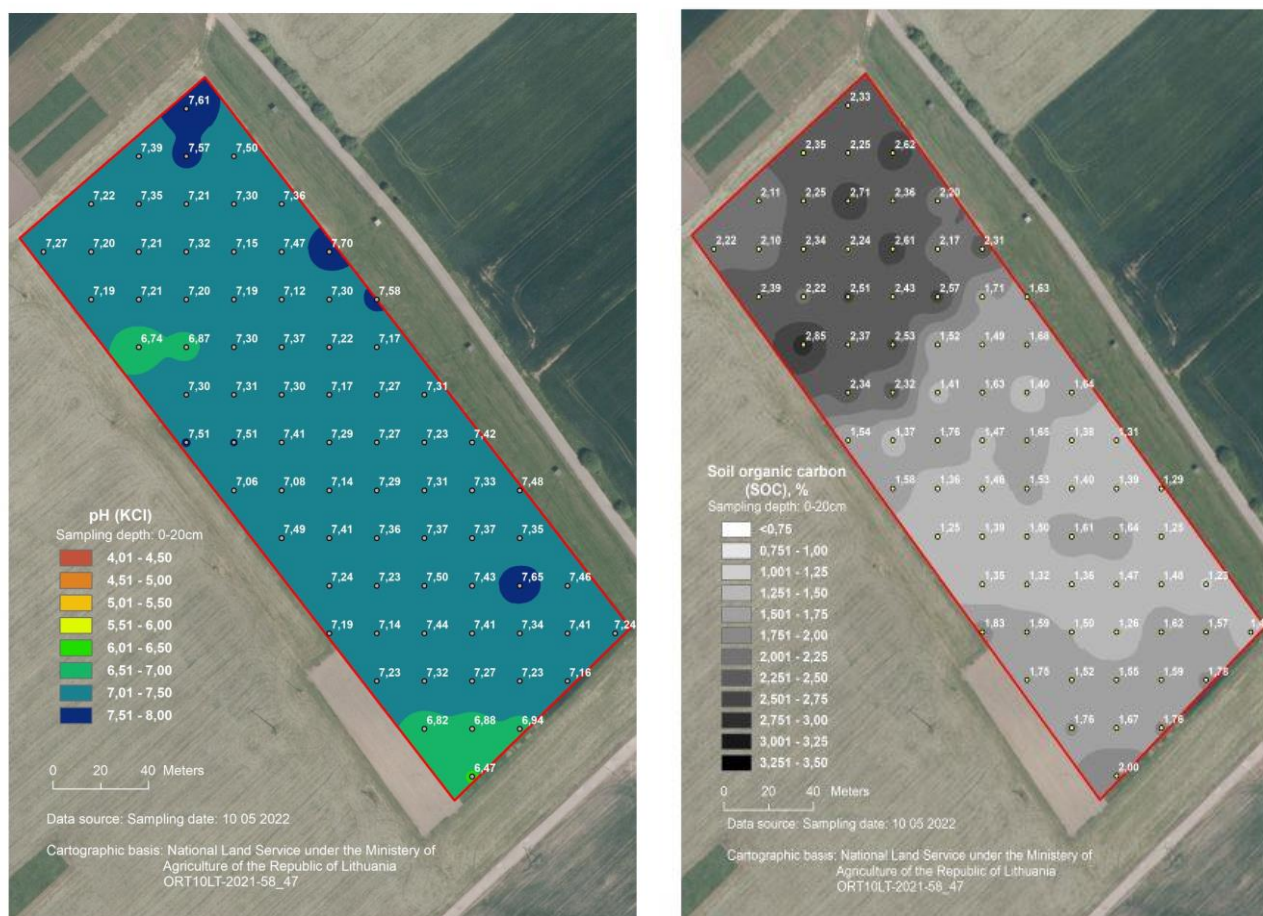
1.4. Tyrimo duomenų statistinė analizė

Esminiai skirtumai tarp variantų nustatyti Duncan testu, taikant 95 % patikimumo lygmenį. NDVI indekso, chlorofilo indekso bei miglinių javų energinio potencialo ir produktyvumo matavimų vertinimas pateikiamas vidurkiu ir standartine paklaida. Koreliaciniai ryšiai įvertinti tiesinės regresijos lygtimis (Clewer, Scarisbrick, 2001). Statistinis duomenų įvertinimas atliktas statistine programa *SAS 9.4* (SAS Institute, 2016).

2. TYRIMŲ REZULTATAI

2.1.1. Dirvožemio agrocheminių rodiklių pokyčiai

2022 m. atlikti Valinavos ilgalaikio eksperimento dirvožemio tyrimai – surinkti dirvožemio pavyzdžiai ariamajame sluoksnyje (0–20 cm). Analizių rezultatai parodė, kad ariamasis sluoksnis yra neutralios ar net šarminės reakcijos, o organinės anglies kiekis varijuoja nuo 1,3 % iki daugiau kaip 2,5%. (žr. 4 paveikslą). Dirvožemio karbonatai yra 40–60 cm gylyje, bendras azoto vidutinis kiekis – 0,18 %, judriojo fosforo (P_2O_5) – 151 mg kg⁻¹, judriojo kalio (K_2O) – 134 mg kg⁻¹.

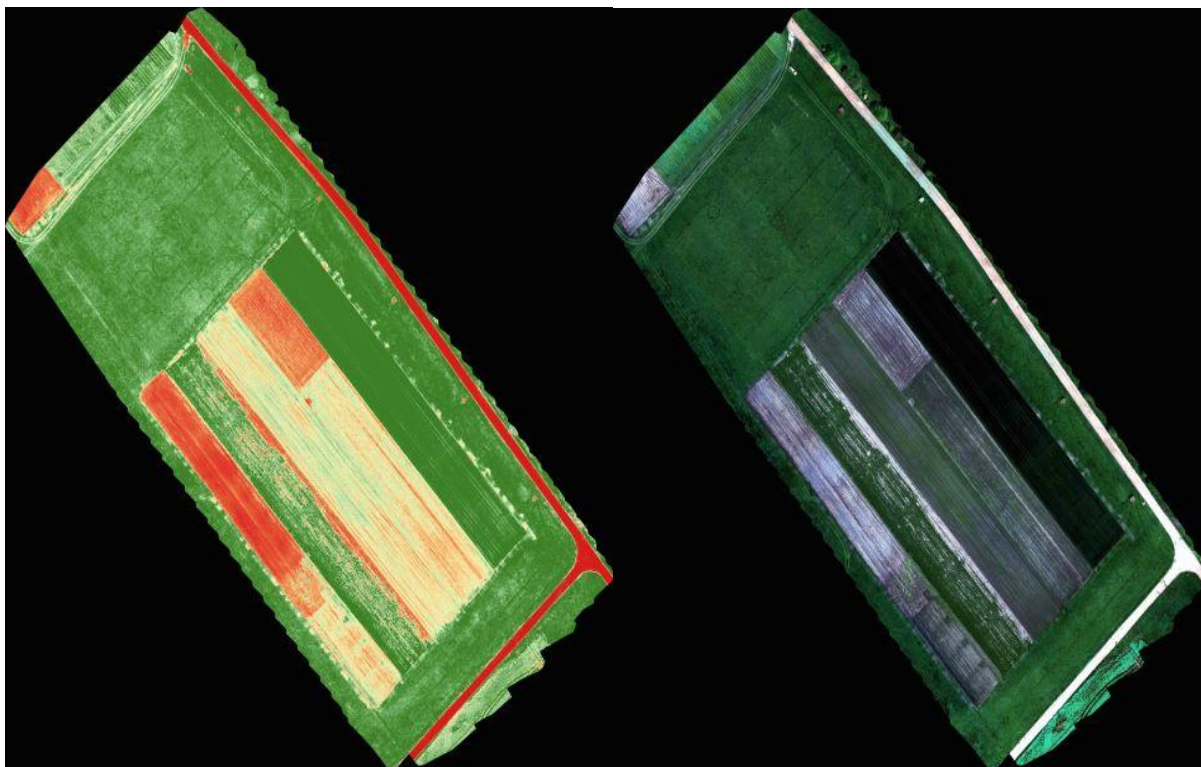


4 paveikslas. Valinavos ilgalaikio eksperimento dirvožemio pH ir organinės anglies rezultatai, 2022 m.

2024 m. po derliaus nuėmimo, atliktos dirvožemio analizės rezultatai esmingesnių pokyčių neparodė: dirvožemio pH vertė tyrimų laukeliuose variavo nuo 7,1 iki 7,4. Judriojo fosforo nustatyta nuo 148±9 iki 157±11 mg kg⁻¹, judriojo kalio – nuo 131±12 iki 151±14 mg kg⁻¹. Organinės anglies pokyčiai taip pat nebuvo esmingi: skirtinguose tyrimų laukeliuose variavo nuo 1,47 iki 1,52%. Tyrimų laikotarpis yra per trumpas, kad būtų pasiekti reikšmingesni dirvožemio rodiklių pokyčiai. Tikėtina, kad, naudojant organines trąšas ilgesnį laikotarpį galimi teigiami dirvožemio organinės medžiagos, maisto medžiagų kiekio pokyčiai.

2.1.2. Skaitmeninių priemonių panaudojimas nuotoliniam duomenų surinkimui

Tyrimų laikotarpiu, skirtingais žieminių kviečių ir vasarinių kviečių augalų augimo tarpsniais (krūmijimosi, stiebo ilgėjimo pabaigoje – vėliavinio lapo, ir žydėjimo pabaigoje), naudotos skirtingos skaitmeninės priemonės pasėlių būklės vertinimui. Įvertinti sistemose vykstančius procesus, susietus su augalų augimo skirtumais skirtingo intensyvumo sistemose naudota bepilotė skraidyklė su multispektrinėmis kameromis (žr. 5 paveikslą). Lygiagrečiai bepilotės skraidyklės skrydžiams, pasėlių būklė eksperimentiniuose laukeliuose vertinta naudojant nešiojamą NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) skanerį. NDVI indekso matavimai leidžia įvertinti pasėlio būklę, kuri dažnai siejama su augalų mitybos skirtumais, augalų pažeidimais bei įvairiais pokyčiais dėl patiriamo abiotinio streso (drėgmės stygiaus ar pertekliaus, aukštos temperatūros ir t. t.).



5 paveikslas. Nuotolinio stebėjimo nuotrauka, vertinant augalų NDVI indeksą – NDVI indekso nuotrauka (kairėje) ir reali eksperimento orto foto nuotrauka (dešinėje).

Bepilotės skraidyklės naudojimas leidžia sparčiau įvertinti didesnius pasėlių plotus, gauti detalesnius rezultatus, bet duomenų apdorojimas reikalauja laiko ir kompiuterinių programų skaičiavimų. Nešiojamas matuoklis leidžia įvertinti viso laukelio ar pavienių augalų NDVI ir gauti rezultatą vietoje.

Atlikus eksperimentų vertinimą skirtingais skaitmeniniais prietaisais gauti rezultatai parodė, kad gautos indeksų vertės neesmingai skiriasi tarp matavimo metodų, tačiau tendencijos panašios (žr. 6 lentelę). Daugeliu atvejų didesnės vertės gautos panaudojus bepilotę skraidyklę. Įprastai bepilotėse

skraidyklėse instaliuotos didelio jautrumo multispektrinės kameros, kurios leidžia generuoti detalesnius duomenis nei nešiojami matuokliai. NDVI indekso matavimai parodė skirtumus tarp tręštų augalų (tradicinė ir tausojanti sistemos) ir be trąšų augintų augalų (ekstensyvi sistema). Visais atvejais NDVI indeksų reikšmės buvo aukštesnės variantuose, kuriuose panaudotos mineralinės trąšos, o mažesnės reikšmės nustatytos be trąšų augintuose variantuose. Tam tikra indekso reikšmių variacija buvo ir tarp skirtingų augalų rūšių: didesnės – žieminiuose ir vasariniuose kviečiuose, mažesnės – vasariniuose miežiuose.

6 lentelė. Bepilote skraidykle ir nešiojamu NDVI skaneriu įvertinti skirtingų miglinių javų pasėlių NDVI rezultatai skirtingo intensyvumo agroekosistemose atskirais augalų augimo tarpsniais.

Žieminiai kviečiai						
Tarpsnis	BBCH 29-30		BBCH 37-41		BBCH 69	
	Bepilotė skraidyklė	Nešiojamas skaneris	Bepilotė skraidyklė	Nešiojamas skaneris	Bepilotė skraidyklė	Nešiojamas skaneris
Tradicinė	0,767±0,014	0,74±0,03	0,753±0,022	0,72±0,03	0,723±0,015	0,71±0,03
Tausojanti	0,754±0,012	0,74±0,02	0,749±0,015	0,72±0,03	0,707±0,009	0,70±0,01
Ekstensyvi	0,709±0,003	0,69±0,03	0,676±0,010	0,66±0,02	0,652±0,011	0,64±0,02
Vasariniai kviečiai						
Tarpsnis	BBCH 29- 30		BBCH 37-41		BBCH 69	
	Bepilotė skraidyklė	Nešiojamas skaneris	Bepilotė skraidyklė	Nešiojamas skaneris	Bepilotė skraidyklė	Nešiojamas skaneris
Tradicinė	0,784±0,008	0,77±0,01	0,797±0,012	0,76±0,01	0,756±0,012	0,73±0,01
Tausojanti	0,767±0,019	0,76±0,01	0,784±0,015	0,75±0,02	0,774±0,008	0,72±0,02
Ekstensyvi	0,698±0,009	0,69±0,02	0,669±0,031	0,67±0,01	0,652±0,013	0,64±0,02
Vasariniai miežiai						
Tarpsnis	BBCH 29- 30		BBCH 37-41		BBCH 69	
	Bepilotė skraidyklė	Nešiojamas skaneris	Bepilotė skraidyklė	Nešiojamas skaneris	Bepilotė skraidyklė	Nešiojamas skaneris
Tradicinė	0,697±0,007	0,70±0,02	0,712±0,006	0,71±0,01	0,634±0,008	0,64±0,01
Tausojanti	0,694±0,011	0,70±0,01	0,707±0,015	0,70±0,01	0,641±0,011	0,63±0,02
Ekstensyvi	0,654±0,010	0,67±0,02	0,669±0,031	0,65±0,01	0,613±0,013	0,62±0,01

Pastaba. Duomenys pateikiami kaip vidurkis ± vidurkio standartinė paklaida

Surinkti duomenys panaudoti skaičiuoti augalų vegetatyviniams indeksams, kurie lyginti su grūdų derliumi. Atlikta koreliacinė-regresinė analizė parodė, kad stipriausia priklausomybė tarp grūdų derliaus ir vegetatyvinių indeksų gauta ankstyvuose augalų augimo tarpsniuose (R^2 0,4-0,5).

Vėlyvesniais augimo tarpsniais R2 reikšmės nuosekliai mažėjo. Visais atvejais apskaičiuotų indeksų reikšmės buvo aukštesnės variantuose, kuriuose augalai tręšti intensyviau.

2.2. Augalų produktyvumas ir grūdų kokybiniai rodikliai skirtingo intensyvumo sėjomainose

2.2.1. Ekologiškai auginamų žieminių kviečių derlingumas tręšiant kompostu

Rinkoje galima rasti įvairios kilmės kompostų, skirtų augalų tręsimui. Tiksliesiems lauko eksperimentams pasirinktas granuliuotas kompostas, leidžiamas naudoti ekologiniuose ūkiuose ir kuriame azoto kiekis siekė 12–13 %. Eksperimentui parinktos tręšimo normos išlaikant nuoseklų azotinių trąšų didėjimą – 25, 50 ir 75 kg azoto ha⁻¹. Ekologinės gamybos sąlygomis net ir nedidelis azoto kiekis gali esmingai didinti augalų produktyvumą. 2022 m. ekologiškai augintų žieminių kviečių derlingumas siekė nuo 2,437 t/ha iki daugiau kaip 4 t/ha (žr. 7 lentelę). Efektyviausiai veikė augalų produktyvumą. Mažiausiai – tręšimo norma, kai su trąšomis patekusio azoto 1 kg papildomai leido užauginti daugiau 29 kg grūdų lyginant su netręštu variantu. Didėjant su trąšomis įnešto azoto kiekiui, azoto efektyvumas mažėjo. Vertinant grūdų kokybinius rodiklius, tręšimas kompostu ženklesnių pokyčių tarp variantų neparodė.

2023 m. žieminių kviečių derlingumas siekė nuo 3,58 iki 4,69 t ha⁻¹, ir buvo didesnis 12–42 % lyginant su 2022 m. derlingumu. Azoto efektyvumas siekė nuo 21 iki 25 kg grūdų vienam kilogramui azoto, įnešto su komposto trąšomis. Tam įtakos galėjo turėti ir tai, kad raudonųjų dobilų priešsėlis auginamas sėklų derliui, o biomasė paliekama kaip žalioji trąša, kuri įterpta į dirvožemį gali pasitarnauti kaip priemonė padedanti sulaikyti drėgmę, kuri labai svarbi intensyvaus augalų augimo metu. Kokybinės grūdų analizės parodė, kad grūdų baltymingumas mažesnis nei 2022 m., bet 1000 grūdų masė ir piltinis tankis didesni.

2024 m. pavasaris buvo permainingas – po sauso kovo, balandį buvo pakankamai drėgmės ir situacija atrodė palanki žieminių kviečių vegetacijai, tačiau vėliau – gegužį ir birželį – esant mažam kritulių kiekiui prasidėjo drėgmės stygius, kuris limitavo augalų produktyvumo potencialo realizaciją. Derlingumas skirtinguose variantuose siekė nuo 3,32 t ha⁻¹ iki 4,20 t ha⁻¹, ir skirtumai tarp variantų buvo statistiškai esmingi. Palyginus žieminių kviečių derlingumą trejų metų laikotarpyje naudojant tokią pat tręšimo technologiją, matome, kad 2024 m. derlingumas buvo aukštesnis už pasiektą 2022 m., bet mažesnis nei 2023 m. 2024 m. azoto trąšų efektyvumas buvo mažiausiais per visą tyrimų laikotarpį. Tam galėjo turėti įtakos ir meteorologinės sąlygos, ypač drėgmės stygius aktyvaus augimo laikotarpiu. 1000 grūdų masė tarp skirtingų variantų 2024 m. skyrėsi paklaidų ribose. Grūdų baltymingumas koreliavo su azoto trąšų kiekiu, panaudotu augalų tręsimui. Piltinis grūdų tankis tarp variantų esmingai nesiskyrė.

7 lentelė. Žieminių kviečių tręštų komposto granulėmis derlingumas ir kokybiniai grūdų rodikliai 2022–2024 m.

Nr.	Variantas	Grūdų kiekybiniai ir kokybiniai rodikliai				
		Grūdų derlius, t ha ⁻¹	1000 grūdų masė, g	Baltymai, %	Krakmolas, %	Piltinis tankis, kg
2024 m.						
1	Kontrolė	3,322 a	35,06 ab	9,7 a	69,9 c	79,4 ab
2	200 kg/ha komposto granulių	3,763 b	35,40 ab	10,2 b	69,7 bc	78,8 ab
3	400 kg/ha komposto granulių	3,976 c	35,84 b	10,5 c	69,6 bc	79,6 b
4	600 kg/ha komposto granulių	4,207 d	35,56 ab	10,8 d	69,2 a	78,9 ab
2023 m.						
1	Kontrolė	3,581 a	37,12 a	9,3 a	71,2 c	79,1 a
2	200 kg/ha komposto granulių	4,138 c	38,22 ab	9,9 b	70,9 bc	79,6 ab
3	400 kg/ha komposto granulių	4,570 c	39,77 bcd	10,4 c	70,6 bc	80,1 bcd
4	600 kg/ha komposto granulių	4,699 d	40,42 d	11,1 d	69,8 a	80,4 d
2022 m.						
1	Kontrolė	2,437 a	36,07 a	10,3 a	70,3 a	75,2 ab
2	200 kg/ha komposto granulių	3,212 b	35,86 a	10,4 ab	70,8 ab	75,3 ab
3	400 kg/ha komposto granulių	3,601 c	35,85 a	10,4 ab	70,4 ab	75,4 ab
4	600 kg/ha komposto granulių	4,139 d	36,99 b	10,6 b	70,1 a	75,6 b

Pastaba. Skirtingos raidės parodo esminius skirtumus tarp variantų ($p < 0,05$, Duncan's testas).

Vegetacijos metu atlikti žieminių kviečių chlorofilo indekso matavimų rezultatai parodė teigiamas didėjimo tendencijas variantuose kuriuose panaudotos komposto trąšos (žr. 8 lentelę). 2024 m. pirmajame chlorofilo indekso matavime šio rodiklio vertės buvo aukštesnės nei 2023 ir 2022 m., bet vėlesniuose matavimuose skirtumas sumažėjo. Dažniausiai chlorofilo indeksas siejamas su mitybos azotu lygmeniu, tačiau jam gali turėti įtakos ir aplinkos sąlygos: temperatūra, drėgmė, vidurūšinė ir tarprūšinė augalų konkurencija pasėlyje (Janušauskaitė ir kt., 2009). Taip pat chlorofilo indekso vertę gali lemti pasėlio tankumas, augimo tarpsis ar net pačio augalo veislės savybės.

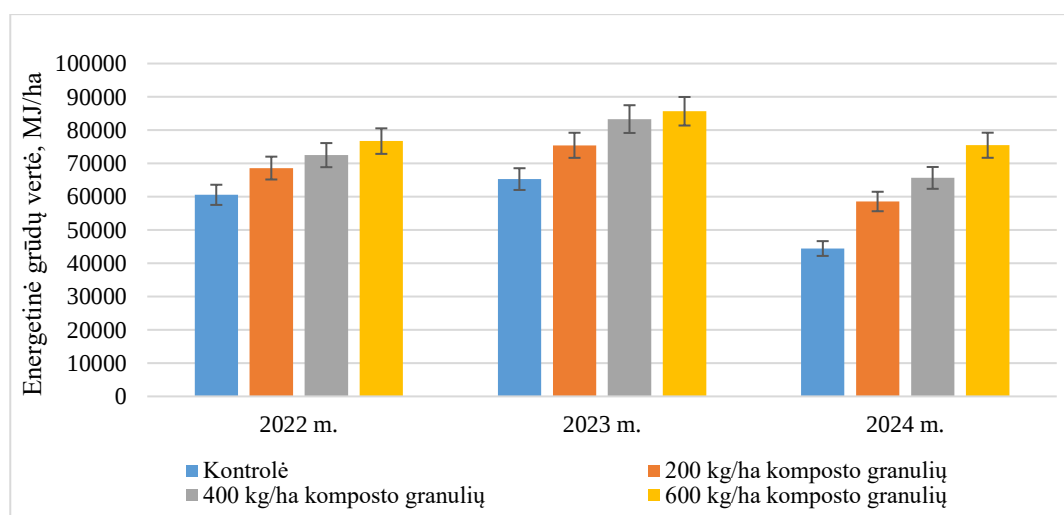
Energetinis vertinimas. Atlikus energetinius vertinimus, gauta, kad, auginat žieminius kviečius ekologiškai, priklausomai nuo pasirinktos technologijos (varianto) energijos sąnaudos siekė nuo 6816 MJ ha⁻¹ (kontrolinis variantas), iki daugiau kaip 8437 MJ ha⁻¹ ketvirtajame variante, kuriame tręšta

komposto granulėmis 600 kg/ha norma. Skirtingais metais su skirtinguose variantuose grūdų energinė vertė siekė nuo 44000 iki daugiau kaip 80000 MJ ha⁻¹ (žr. 6 pav.).

8 lentelė. Žieminių kviečių chlorofilo indekso pokyčiai vegetacijos metu. 2022–2024 m.

Variantas	I matavimas (BBCH 29 - 30)	II matavimas (BBCH 32- 33)	III matavimas (BBCH 47)	IV matavimas (BBCH 69)
2024 m.				
Kontrolė	40,1	40,4	39,7	37,1
200 kg/ha komposto granulių	42,2	42,8	42,1	40,4
400 kg/ha komposto granulių	42,8	43,6	43,4	41,5
600 kg/ha komposto granulių	42,4	43,9	43,0	42,1
	±1,6	±1,8	±1,7	±1,8
2023 m.				
Kontrolė	37,7	38,1	38,0	36,5
200 kg/ha komposto granulių	40,4	41,9	41,8	41,2
400 kg/ha komposto granulių	40,6	42,8	42,9	42,4
600 kg/ha komposto granulių	41,2	42,9	42,8	42,3
	±1,4	±1,9	±2,1	±1,7
2022 m.				
Kontrolė	33,5	36,7	36,5	34,5
200 kg/ha komposto granulių	38,1	40,4	42,5	41,1
400 kg/ha komposto granulių	38,6	43,3	43,8	43,1
600 kg/ha komposto granulių	39,2	43,0	44,1	42,6
	±1,3	±2,1	±1,8	±1,5

Pastaba. Duomenys pateikiami kaip vidurkis ± vidurkio standartinė paklaida



6 pav. Ekologiškai augintų žieminių kviečių grūdų energinis produktyvumas 2022–2024 m.

Žieminių kviečių taikant skirtingas komposto normas energetinis efektyvumas siekė: 2024 m. priklausomai nuo varianto, nuo 6,51 (kontrolė) iki 8,9 (600 kg ha komposto), 2023 m. – nuo 9,5 iki 10,4,

o 2022 m. šis rodiklis varijavo nuo 8,8 iki 9,1. Energetinis pasėlio produktyvumas 2022 m. svyravo nuo 0,48 iki 0,50, 2023 m. nuo 0,52 iki 0,57, o 2024 m. nuo 0,3 iki 0,49. Specifinė derliaus energija 2022 m. siekė 1,99 – 2,05 MJ kg⁻¹, 2023 m. tarp skirtingų variantų varijavo nuo 1,74 iki 1,9 MJ kg⁻¹, o 2024 m. mažėjo nuo netręštame variante 2,79 iki 2,03 MJ kg⁻¹ ketvirtajame variante.

2.2.2 Miglinių javų produktyvumas skirtingo intensyvumo agroekosistemose

Valinavos ilgalaikiame eksperimente žieminiai kviečiai auginami po raudonųjų dobilų, kurių biomasė yra nupjaunama ir išvežama iš lauko, o atžėlęs atolas yra naudojamas kaip žalioji trąša. 2022 m. žieminiai kviečiai pasiekė 5,7–5,8 t ha⁻¹ derlingumą tradicinėje agroekosistemoje, tausojančioje agroekosistemoje derlingumas buvo neesmingai mažesnis ir siekė 5,1–5,26 t ha⁻¹, o ekstensyvioje sistemoje derlingumas siekė 4,02 t ha⁻¹ (žr. 9 lentelę). Kaip matome iš gautų derlingumo rezultatų, ne vien tik tręšimo lygis lemia rezultatą, bet dažnai tam įtakos turi meteorologinės sąlygos, kurios gali paskatinti arba limituoti efektyviai išnaudoti maisto medžiagas, patekusias į dirvožemį tręšimo metu. 2022 m. buvo kritulių ir temperatūros požiūriu permainingi, tad grūdo formavimosi metu vyraavusios aukštesnės temperatūros galėjo limituoti javų potencialo išnaudojimą, o tuo pačiu sumažėjo ir trąšų efektyvumas.

1000 grūdų masės rodiklis tarp variantų esmingesnių skirtumų neturėjo, o žieminių kviečių grūdų baltymingumas priklauso nuo pagrindinio mitybos elemento – azoto, tad mažiausias baltymingumas buvo žieminius kviečius auginant ekstensyviai. Tręštuose kviečiuose buvo mažiau krakmolo ir didesnis grūdų piltinis tankis.

2023 m., nepaisant gegužės mėnesį vyraavusios sausros žieminių kviečių derlingumas taikant tradicinę agrotechniką siekė daugiau kaip 6 t ha⁻¹, tausojančioje sistemoje derlingumas kaip ir 2022 m. variavo tarp 5,2 ir 5,6 t ha⁻¹, o ekstensyviai auginti javai pasiekė 4,1 – 4,2 t/ha⁻¹ derlingumą. Tačiau grūdų kokybiniai rodikliai buvo prastesni nei 2022 metais.

2024 metais žieminių kviečių derlingumas skirtingo intensyvumo agroekosistemose siekė nuo 4,17 t ha⁻¹ ekstensyvioje sistemoje iki daugiau kaip 6,5 t ha⁻¹ tradicinėje agroekosistemoje. Esmingai skyrėsi tik ekstensyvioje sistemoje augintų žieminių kviečių produktyvumas, kuris buvo mažesnis nei tradicinėje ar tausojančioje sistemoje augintų javų derlingumas. Lyginant skirtingų agroekosistemų derlingumą tyrimų laikotarpiu (2022–2024 m.), 2024 m. žieminių kviečių derlingumas buvo aukščiausias. Nors ir stigo drėgmės vegetacijos antroje pusėje, bet tai tuo pačiu buvo nepalankus laikotarpis augalų ligų plitimui, kas prisideda prie geresnio augalų derlingumo potencialo realizavimo. Grūdų kokybiniai rodikliai tokie kaip 1000 grūdų masė tarp variantų esminių skirtumų neturėjo. Grūdų baltymingumas tarp variantų skyrėsi: esmingai mažiausiais buvo ekstensyviai augintų žieminių kviečių,

o grūdų krakmolingumas atvirkščiai proporcingas baltymingumui. Naudotos trąšos leido pasiekti didesnę grūdų hektolitro masės rodiklį, nei auginant ekstensyviai.

9 lentelė. Žieminių kviečių, augintų po raudonųjų dobilų, derlingumas ir grūdų kokybiniai rodikliai 2022–2024 m.

Nr.	Variantas	Grūdų kiekybiniai ir kokybiniai rodikliai				
		Grūdų derlius, t ha ⁻¹	1000 grūdų masė, g	Baltymai, %	Krakmolas, %	Piltinis tankis, kg
2022 m.						
1	Tradicinė I (D4)	5,835 c	35,14 abc	12,2 b	67,6 a	76,3 b
2	Tradicinė II (D5)	5,710 bc	35,55 a	12,8 bc	66,8 a	75,8 b
3	Tausojanti I (D6)	5,266 bc	35,32 abc	12,4 b	67,1 a	76,3 b
4	Tausojanti II (D7)	5,102 bc	35,89 c	12,4 b	67,5 a	76,8 b
5	Ekstensyvi I (D8)	4,029 a	35,16 abc	10,4 a	70,6 b	74,5 a
6	Ekstensyvi II (D9)	4,006 a	35,54 bc	10,7 a	70,2 b	74,4 a
2023 m.						
1	Tradicinė I (D4)	6,317 cd	35,76 abc	11,3 c	70,4 a	74,7 bc
2	Tradicinė II (D5)	6,398 d	35,68 abc	11,2 bc	70,1 a	75,2 c
3	Tausojanti I (D6)	5,254 bcd	34,95 a	11,1 bc	69,9 a	74,9 bc
4	Tausojanti II (D7)	5,602bc	34,80 a	11,0 b	70,0 a	74,7 bc
5	Ekstensyvi I (D8)	4,260 a	35,59 a	8,2 a	71,3 c	72,2 a
6	Ekstensyvi II (D9)	4,130 a	36,19 c	8,4 a	71,6 c	72,7 a
2024 m.						
1	Tradicinė I (D4)	6,415 bc	36,09 ab	11,8 bc	68,2 ab	79,2 cde
2	Tradicinė II (D5)	6,555 c	36,28 ab	12,1 c	67,4 a	78,7 bc
3	Tausojanti I (D6)	5,933 bc	37,12 b	11,7 bc	68,1 ab	80,3 e
4	Tausojanti II (D7)	5,927 bc	36,93 ab	11,2 b	68,8 b	78,6 bc
5	Ekstensyvi I (D8)	4,177 a	35,69 ab	9,6 a	70,3 d	77,0 a
6	Ekstensyvi II (D9)	4,282 a	36,84 ab	9,9 a	69,8 d	77,8 ab

Pastaba. Skirtingos raidės parodo esminius skirtumus tarp variantų ($p < 0,05$, Duncan's testas).

Chlorofilo indeksas žieminiuose kviečiuose vegetacijos metu variavo ir didesnis buvo tręštuose pasėliuose (žr. 10 lentelę). Vegetacijos eigoje šis rodiklis keitėsi su augalo branda: vegetatyvinės dalies augimo tarpsniais jis didėjo, o augalui pereinant į grūdų formavimo ir brendimo tarpsnį chlorofilo indeksas pradėjo palaipsniui mažėti. Vertinant chlorofilo indeksą skirtingais metais, pastebima, kad

panašios vertės indekso reikšmės būna atitinkamuose variantuose, t. y. tręštuose variantuose jos būna aukštesnės, nei ekstensyvioje sistemoje.

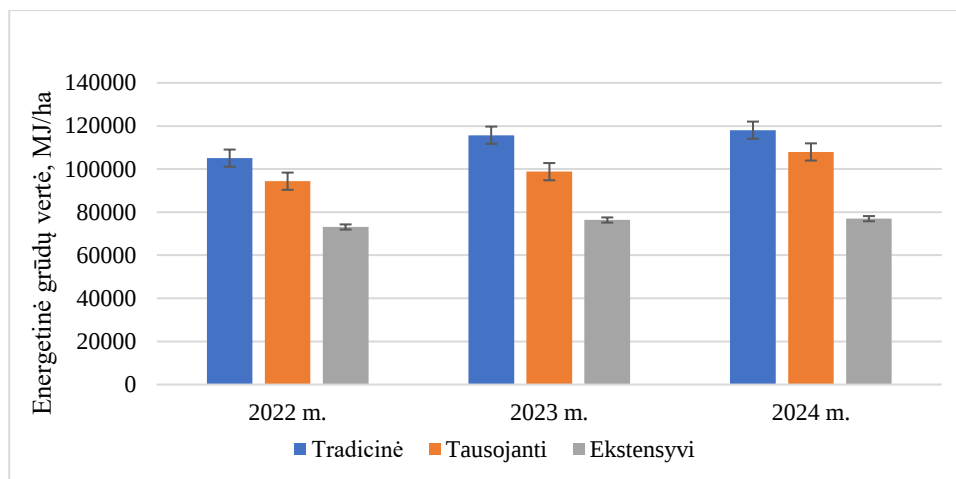
10 lentelė. Žieminių kviečių chlorofilo indekso pokyčiai vegetacijos metu 2022–2024 m.

Variantas	I matavimas (BBCH 29)	II matavimas (BBCH 33)	III matavimas (BBCH 47)	IV matavimas (BBCH 69)
2022 m.				
Tradicinė I (D4)	49,0	48,6	48,2	47,5
Tradicinė II (D5)	48,1	48,9	47,3	46,8
Tausojanti I (D6)	46,2	46,4	45,5	44,1
Tausojanti II (D7)	47,1	45,3	46,8	44,6
Ekstensyvi I (D8)	38,7	39,1	38,9	35,7
Ekstensyvi II (D9)	39,3	39,2	38,1	36,2
	±3,8	±4,1	±3,9	±4,5
2023 m.				
Tradicinė I (D4)	48,7	49,1	47,8	46,9
Tradicinė II (D5)	48,9	48,7	47,0	46,7
Tausojanti I (D6)	47,0	48,2	47,9	46,0
Tausojanti II (D7)	47,9	48,8	47,6	45,9
Ekstensyvi I (D8)	39,9	39,0	38,7	37,2
Ekstensyvi II (D9)	38,7	38,1	37,6	36,7
	±2,9	±2,7	±2,4	±3,2
2024 m.				
Tradicinė I (D4)	49,8	50,4	49,8	49,5
Tradicinė II (D5)	50,1	50,2	49,7	49,1
Tausojanti I (D6)	48,7	49,8	48,9	47,8
Tausojanti II (D7)	49,2	49,4	49,1	49,3
Ekstensyvi I (D8)	43,0	43,3	40,6	40,2
Ekstensyvi II (D9)	43,8	42,9	40,2	41,2
	±3,9	±1,9	±3,4	±3,8

Pastaba. Duomenys pateikiami kaip vidurkis ± vidurkio standartinė paklaida

Energetinės vertės skaičiavimai parodė, kad didžiausią grūdų energinę vertę žieminiai kviečiai sukuria tradicinėje sistemoje (žr. 7 pav.), tačiau ir energijos poreikis didesnis buvo taip pat tradicinėje sistemoje. Energetinis efektyvumas visais tyrimų metais turėjo panašią tendenciją: tradicinėje sistemoje variavo nuo 7,09 (2022 m.) iki 7,97 (2024 m.), tausojančioje sistemoje – nuo 8,3 iki 9,57, o ekstensyvioje sistemoje nuo 10,04 (2022 m.) iki 10,5 2024 m.

Energijos produktyvumas skirtingais metais siekė tradicinėje sistemoje – nuo 0,39 iki 0,43; tausojančioje sistemoje – nuo 0,46 iki 0,52; ekstensyvioje sistemoje – nuo 0,55 iki 0,58. Specifinė grūdų energija siekė: tradicinėje – 2,28 – 2,56 MJ/kg, tausojančioje – nuo 1,9 iki 2,07 MJ/kg, o ekstensyvioje sistemoje – nuo 1,72 iki 1,81 MJ/kg.



7 pav. Skirtingo intensyvumo sistemose augintų žieminių kviečių grūdų energetinis potencialas (vidurkis) 2022–2024 m.

Vasariniai miežiai „Luokė“, auginti su raudonųjų dobilų įsėliu, 2022 m. dėl pirmoje vegetacijos pusėje buvusio didelio drėgmės kiekio turėjo konkuruoti su gerai sudygusiais ir sparčiai augusiais raudonaisiais dobilais, kurie iki derliaus brandos peraugo vasarinius miežius. Vasarinių miežių derlingumas buvo mažesnis nei planuota, ir siekė nuo 2,203 t ha⁻¹ ekstensyvioje sistemoje iki 3,647 t ha⁻¹ tradicinėje sistemoje (žr. 11 lentelę). Grūdų baltymingumas ir krakmolingumas tarp variantų esmingai nesiskyrė, tačiau 1000 grūdų masė buvo didesnė sistemose, kuriose panaudotos mineralinės trąšos. Grūdų piltinis tankis taip pat buvo esmingai didesnis tradicinėje ir tausojančioje sistemoje augintuose pasėliuose.

2023 m. tradicinėje sistemoje augintų miežių derlingumas siekė 3,28 – 3,46 t ha⁻¹ ir buvo panašus į 2022 metais gautą derlingumą. Tausojančioje sistemoje derlingumas mažesnis nei ankstesniais metais, skirtumas variavo nuo 0,14 iki 0,3 t ha⁻¹, o ekstensyvioje sistemoje derlingumo lygis aukštesnis – 0,4–0,6 t ha⁻¹ nei 2022 m. Grūdų kokybiniai rodikliai: 1000 grūdų masė, baltymingumas ir piltinis tankis, turėjo gerokai aukštesnes vertes nei 2022 m.

2024 m. vasarinių miežių produktyvumas buvo aukščiausias ir tradicinėje sistemoje augintų augalų produktyvumas variavo nuo 3,64 iki 3,77 t ha⁻¹. Tausojančioje sistemoje derlingumas buvo neesmingai mažesnis nei tradicinėje sistemoje augintų javų. Ekstensyviai augintų vasarinių miežių produktyvumas neesmingai skyrėsi nuo tausojančioje sistemoje augintų javų produktyvumo. Ekstensyviai auginti vasariniai miežiai 2024 m. subrandino didžiausią derlių per tyrimų laikotarpį, tokį rezultatą galėjo lemti sausringas periodas vegetacijos metu – nebuvo gausaus augalų ligų plitimo. Augalų patogenų plitimas limituoja augalų produktyvumo realizavimą, o ekologiškai (ekstensyviai) auginant javus ir nenaudojant augalų apsaugos produktų nukenčia javų derlingumas.

11 lentelė. Skirtingo intensyvumo agroekosistemose augintų vasarinių miežių derlingumas ir grūdų kokybiniai rodikliai 2022–2024 m.

Nr.	Variantas	Grūdų kiekybiniai ir kokybiniai rodikliai				
		Grūdų derlius, t ha ⁻¹	1000 grūdų masė, g	Baltymai, %	Krakmolas, %	Piltinis tankis, kg
2022 m.						
1	Tradicinė I (D4)	3,267 b	47,58 bc	10,5 ab	62,6 b	58,1 bc
2	Tradicinė II (D5)	3,647 c	47,78 bc	10,4 ab	62,7 b	59,8 c
3	Tausojanti I (D6)	3,014 b	48,15 bc	10,5 ab	62,6 b	59,4 bc
4	Tausojanti II (D7)	3,149 b	48,52 c	10,2 a	62,6 b	59,6 bc
5	Ekstensyvi I (D8)	2,321 a	42,41 a	10,5 ab	62,3 ab	56,5 a
6	Ekstensyvi II (D9)	2,203 a	41,61 a	10,9 b	62,0 a	55,1 a
2023 m.						
1	Tradicinė I (D4)	3,283 c	51,9 ab	15,3 bcd	60,8 b	68,1 bc
2	Tradicinė II (D5)	3,461 c	52,06 b	15,1 b	60,8 b	68,8 c
3	Tausojanti I (D6)	2,836 a	51,62 ab	15,2 bcd	60,0 a	67,0 a
4	Tausojanti II (D7)	2,844 a	51,47 a	15,8 c	59,9 a	67,5 ab
5	Ekstensyvi I (D8)	2,745 a	51,89 ab	11,8 a	62,7 d	67,8 ab
6	Ekstensyvi II (D9)	2,868 a	51,15 a	12,1 a	62,6 d	67,5 ab
2023 m.						
1	Tradicinė I (D4)	3,644 bc	45,45 abc	13,0 ab	60,6 ab	57,9 b
2	Tradicinė II (D5)	3,776 c	45,70 c	13,1 b	60,6 ab	57,6 ab
3	Tausojanti I (D6)	3,463 abc	45,27 abc	12,8 ab	60,9 b	57,5 ab
4	Tausojanti II (D7)	3,390 ab	45,35 abc	12,9 ab	60,6 ab	57,3 ab
5	Ekstensyvi I (D8)	3,161 a	44,15 abc	12,5 ab	60,6 ab	57,1 ab
6	Ekstensyvi I (D9)	3,254 a	44,06 a	12,5 ab	60,7 ab	57,3 ab

Pastaba. Skirtingos raidės parodo esminius skirtumus tarp variantų ($p < 0,05$, Duncan's testas).

2024 m. vasarinių miežių grūdų rodiklių: grūdų baltymingumo, 1000 grūdų masės, krakmolo kiekio ir grūdų saiko svorio (piltinio tankio), rezultatai tarp skirtingų variantų neturėjo esminių skirtumų – skyrėsi paklaidų ribose. Vertinant augalų produktyvumą, galima daryti prielaidą, kad drėgmės stygius vegetacijos laikotarpiu neigiamai veikia augalų produktyvumą, o tuo pačiu ir panaudotų tręšimo produktų įsisavinimo efektyvumą. Vasariniai miežiai tradicinėje ir tausojančioje sistemose tręšti mineralinėmis trąšomis, o, vertinant azoto trąšų efektyvumą, matome, kad skirtingais metais šis efektyvumas skyrėsi. 2022 m. tradicinėje sistemoje panaudotų azoto trąšų efektyvumo indeksas siekė

11–12, tausojančioje jis buvo aukštesnis ir siekė 18. 2023 ir 2024 m. azoto efektyvumas vasarinių miežių pasėlyje buvo menkesnis – tradicinėje sistemoje siekė šiek tiek daugiau kaip 5, tausojančioje sistemoje azoto efektyvumas buvo mažas. Taip pat reikia paminėti, kad vasariniai miežiai konkuravo su raudonųjų dobilų įsėliu. Nukūlus vasarinius miežius, lauke liekantis dobilai gali paimti vasarinių miežių neįsisavintas maisto medžiagas, o rudens – žiemos metu apsaugoti dirvožemį nuo vėjo, lietaus erozijos ir maisto medžiagų išsiplovimo.

Chlorofilo indekso matavimo rezultatai didesnių netikėtumų neparodė – didesnis indeksas intensyviau tręštuose pasėliuose (žr. 12 lentelę). 2022 m. matavimai parodė ryškesnį skirtumą tarp skirtingų variantų (sistemų), ypač vėlyvesniuose augimo tarpsniuose, kas pakankamai gerai koreliavo su azoto trąšų efektyvumu.

12 lentelė. Vasarinių miežių chlorofilo indekso pokyčiai vegetacijos metu 2022–2024 m.

Variantas	I matavimas (BBCH 29)	II matavimas (BBCH 33)	III matavimas (BBCH 47)	IV matavimas (BBCH 69)
2022 m				
Tradicinė I (D4)	39,8	42,1	43,1	42,5
Tradicinė II (D5)	39,5	41,8	44,0	41,6
Tausojanti I (D6)	38,9	41,5	42,9	41,8
Tausojanti II (D7)	39,1	42,0	43,2	40,9
Ekstensyvi I (D8)	36,7	37,8	37,9	36,4
Ekstensyvi II (D9)	37,5	37,1	36,9	34,2
	±1,1	±1,9	±2,8	±3,1
2023 m.				
Tradicinė I (D4)	50,5	50,2	49,8	47,5
Tradicinė II (D5)	49,9	49,5	47,8	46,9
Tausojanti I (D6)	47,8	47,2	46,8	45,9
Tausojanti II (D7)	48,2	47,5	47,0	46,2
Ekstensyvi I (D8)	42,1	41,3	40,2	36,7
Ekstensyvi II (D9)	41,4	40,0	39,7	37,2
	±2,1	±2,6	±2,1	±1,9
2024 m.				
Tradicinė I (D4)	48,2	49,2	46,3	40,1
Tradicinė II (D5)	49,6	49,1	45,8	42,5
Tausojanti I (D6)	48,4	48,7	43,8	39,2
Tausojanti II (D7)	48,2	48,1	44,2	39,4
Ekstensyvi I (D8)	43,2	42,8	39,9	35,7
Ekstensyvi II (D9)	44,5	41,5	38,1	34,1
	±2,8	±3,6	±3,2	±2,7

Pastaba. Duomenys pateikiami kaip vidurkis ± vidurkio standartinė paklaida

2023 ir 2024 m., kaip ir 2022 m., aukštesnės chlorofilo indekso vertės buvo tradicinėje ir tausojančioje sistemoje lyginant jas su ekstensyvioje sistemoje gautais matavimų rezultatais. Vegetacijos

eigoje senėjant augalui chlorofilo indeksas paprastai pradeda mažėti, ir šis procesas ryškesnis ekstensyviai augintuose pasėliuose. Chlorofilo indeksą didžiąja dalimi lemia azoto trąšų panaudojimas, tačiau ir aplinkos sąlygos, tokios kaip: augalams prieinamos drėgmės ištekliai, dirvožemio savybės, veislės savybės, turi tam tikrą įtaką šiam rodikliui

Energetinės vertės skaičiavimai parodė, kad didžiausia grūdų energinė vertė pasiekta vasarinius miežius auginant intensyvioje sistemoje grūdų energinis potencialas atitinkamai 2022 m., 2023 m. ir 2024 m. siekė 64300, 62719 ir 69006 MJ/ha, tausojančioje sistemoje atitinkamai: 57315, 52824 ir 63732 MJ/ha. Ekstensyvioje sistemoje šis rodiklis išsidėstė atitinkamai: 42073, 52200 ir 59659 MJ/ha. Energetinis efektyvumas visais tyrimų metais turėjo panašią tendenciją kaip ir žieminiuose kviečiuose – tradicinėje sistemoje augintų vasarinių miežių jis buvo mažiausiais ir kito nuo 4,64 (2022 m.) iki 4,98 (2024 m.), tausojančioje sistemoje nuo 5,08 (2022 m.) iki 5,65 (2024 m.), o ekstensyvioje sistemoje nuo 5,37 iki (2022 m.) iki 7,61 (2024 m.).

Energijos produktyvumas skirtingais metais siekė: tradicinėje sistemoje – nuo 0,24 iki 0,26; tausojančioje sistemoje – nuo 0,25 iki 0,31, ekstensyvioje sistemoje – nuo 0,28 iki 0,41. Specifinė vasarinių miežių grūdų energija siekė: tradicinėje – 3,98 – 4,38 MJ/kg, tausojančioje – nuo 3,28 iki 3,96 MJ/kg, o ekstensyvioje sistemoje – nuo 2,26 (2024 m.) iki 3,21 MJ/kg (2022 m.).

Vasariniai kviečiai ilgalaikio eksperimento sėjomainos grandyje auginami po žieminių javų. Vasariniai kviečiai yra vieni reikliausių miglinių javų – jų šaknyso sistema būna silpnesnė, todėl sunkiau absorbuoja maisto medžiagas iš gilesnių dirvožemio sluoksnių. 2022 m. vasarinių kviečių grūdų derlingumas tradicinėje sistemoje siekė 4,67 – 4,73 t ha⁻¹, kai tuo metu ekstensyvioje – tik 2,52 – 2,76 t ha⁻¹ (žr. 13 lentelę). Grūdų kokybiniai rodikliai aukštesni variantuose, kuriuose naudotos mineralinės trąšos, išskyrus krakmolo kiekį – jis didesnis ekstensyviai augintuose javuose. Taip pat akivaizdus 1000 grūdų masės skirtumas tarp variantų.

2023 m. vasarinių kviečių derlingumo skirtumai tarp variantų atkartoję 2022 m. rezultatus. Tradicinėje agroekosistemoje derlingumo lygis buvo panašus abejais metais, bet tausojančioje ir ekstensyvioje sistemose derlingumas 2023 m. buvo aukštesnis nei 2022 m. 2024 m. vasarinių kviečių augintų tradicinėje sistemoje, derlingumas buvo mažiausiais per visus 3 tyrimų metus. Tausojančioje sistemoje buvo didesnis nei 2022 m., bet mažesnis nei 2023 m. Jei 2022 ir 2023 metais derlingumas tarp agroekosistemų esmingai skyrėsi, tai 2024 m. esmingai didesnis produktyvumas pasiektas tradicinėje sistemoje. Ekstensyviai augintų vasarinių kviečių produktyvumas turėjo tokias pat tendencijas kaip ir tausojančioje sistemoje gauti rezultatai. Vertinant azoto trąšų efektyvumą, jis buvo geriausias 2022 m. – kai tradicinėje sistemoje siekė 15–16, tausojančioje – apie 11, o kitais tyrimų metais šis rodiklis buvo gerokai mažesnis.

Grūdų kokybiniai rodikliai: 1000 grūdų masė, grūdų baltymingumas 2023 m. buvo mažesnių verčių nei 2022 m. Grūdų krakmolingumas ir piltinio tankio rodikliai tradicinėje ir tausojančioje sistemoje buvo panašaus lygio kaip ir 2022 m., tačiau ekstensyviai augintų javų šie rodikliai 2023 m. turėjo aukštesnes vertes nei 2022 m. 2024 m. daugelis grūdų kokybinių rodiklių tarp variantų neturėjo esminių skirtumų.

13 lentelė. Vasarinių kviečių, augintų skirtingo intensyvumo agroekosistemose, produktyvumas ir grūdų kokybiniai rodikliai 2022–2024 m.

Nr.	Variantas	Grūdų kiekybiniai ir kokybiniai rodikliai				
		Grūdų derlius, t ha ⁻¹	1000 grūdų masė, g	Baltymai, %	Krakmolas, %	Piltinis tankis, kg
2022 m.						
1	Tradicinė I (D4)	4,732 c	45,57 d	15,2 d	65,2 a	74,7 c
2	Tradicinė II (D5)	4,669 c	44,29 d	14,8 bcd	65,5 ab	73,8 bc
3	Tausojanti I (D6)	3,467 b	41,43 b	14,4 b	65,8 bc	72,5 bc
4	Tausojanti II (D7)	3,595 b	41,79 b	14,4 b	65,9 bc	72,9 bc
5	Ekstensyvi I (D8)	2,762 a	36,31 a	12,8 a	66,5 cde	67,9 a
6	Ekstensyvi II (D9)	2,524 a	34,26 a	12,8 a	66,1 e	65,6 a
2023 m.						
1	Tradicinė I (D4)	4,725 c	35,79 abc	14,6 b	65,8 a	72,8 cd
2	Tradicinė II (D5)	4,534 c	35,68 ab	14,9 bc	65,7 a	72,6 c
3	Tausojanti I (D6)	4,208 b	35,01 a	14,7 b	65,6 a	72,2c
4	Tausojanti II (D7)	4,338 b	35,24 a	14,6 b	65,6 a	72,0 c
5	Ekstensyvi I (D8)	3,859 a	35,59 ab	11,5 a	68,4 c	71,1 bc
6	Ekstensyvi II (D9)	3,729 a	36,62 c	11,6 a	68,2 c	70,1 a
2024 m.						
1	Tradicinė I (D4)	4,380 b	34,33 ab	14,0 ab	64,7 ab	75,5 ab
2	Tradicinė II (D5)	4,283 b	34,98 b	14,0 ab	64,6 ab	76,5 b
3	Tausojanti I (D6)	3,707 a	34,77 ab	14,1 b	64,8 ab	76,3 ab
4	Tausojanti II (D7)	3,756 a	34,27 ab	14,1 b	64,5 ab	76,3 ab
5	Ekstensyvi I (D8)	3,473 a	34,90 ab	13,7 ab	64,9 b	75,9 ab
6	Ekstensyvi II (D9)	3,419 a	34,67 ab	13,9 ab	64,9 b	76,0 ab

Pastaba. Skirtingos raidės parodo esminius skirtumus tarp variantų ($p < 0,05$, Duncan's testas).

Vasarinių kviečių chlorofilo indekso matavimai parodė panašias tendencijas tarp variantų kaip ir kituose migliniuose javuose (žr. 14 lentelę). Palyginus indeksų reikšmes per visus eksperimento metus (2022–2024 m.), matoma, kad gaunamos panašios tendencijos tarp skirtingo intensyvumo sistemų: chlorofilo indekso aukštesnės vertės nustatytos tręštuose pasėliuose, nei ekstensyviai augintuose pasėliuose. Vegetacijos eigoje indekso vertės turėjo tendenciją mažėti, tai ypač atsispindi ekstensyvioje agroekosistemoje augintuose javuose.

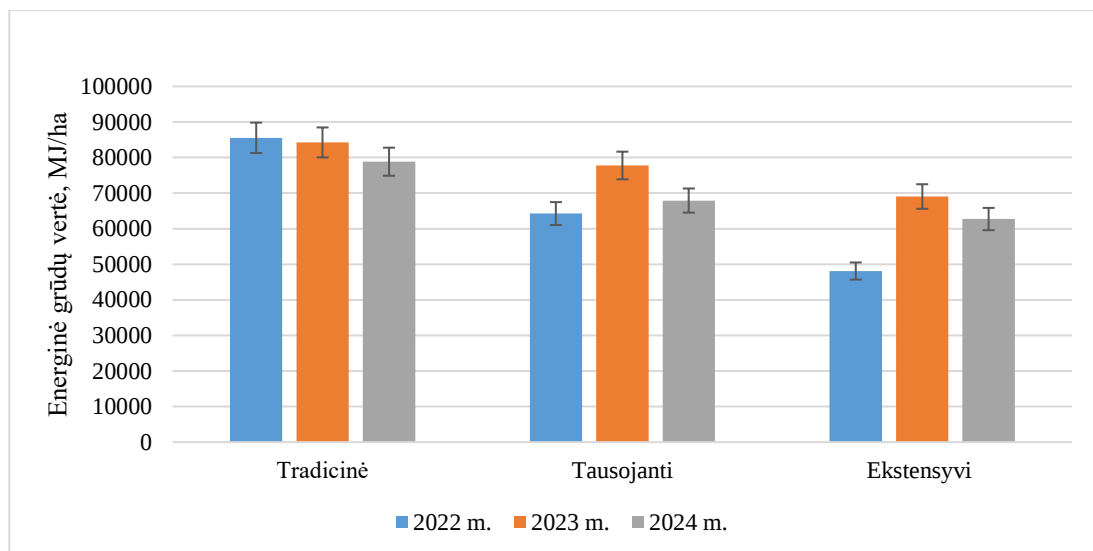
14 lentelė. Vasarinių kviečių chlorofilo indekso pokyčiai vegetacijos metu 2022–2024 m.

Variantas	I matavimas (BBCH 29)	II matavimas (BBCH 32)	III matavimas (BBCH 47)	IV matavimas (BBCH 69)
2022 m.				
Tradicinė I (D4)	38,9	42,9	42,7	41,6
Tradicinė II (D5)	39,3	43,8	42,9	40,9
Tausojanti I (D6)	38,6	41,0	41,5	40,2
Tausojanti II (D7)	39,1	42,6	40,9	40,5
Ekstensyvi I (D8)	36,4	38,1	38,9	36,0
Ekstensyvi II (D9)	35,2	37,5	38,1	37,2
	±1,6	±2,3	±1,7	±1,8
2023 m.				
Tradicinė I (D4)	45,6	49,2	51,1	47,6
Tradicinė II (D5)	46,2	49,9	50,4	48,2
Tausojanti I (D6)	45,1	49,5	49,7	47,1
Tausojanti II (D7)	45,9	48,7	49,6	46,8
Ekstensyvi I (D8)	45,0	44,8	44,5	42,9
Ekstensyvi II (D9)	44,7	45,2	44,9	43,5
	±1,9	±2,4	±2,2	±2,3
2024 m.				
Tradicinė I (D4)	50,7	50,9	50,1	48,7
Tradicinė II (D5)	50,1	49,7	49,7	49,1
Tausojanti I (D6)	48,9	49,7	48,9	47,8
Tausojanti II (D7)	49,7	49,1	49,2	48,6
Ekstensyvi I (D8)	44,1	44,7	42,7	40,8
Ekstensyvi II (D9)	44,3	43,6	41,8	41,5
	±2,7	±3,2	±2,8	±3,3

Pastaba. Duomenys pateikiami kaip vidurkis ± vidurkio standartinė paklaida

Energetinės vertės skaičiavimai parodė, kad didžiausia vasarinių kviečių grūdų energinė vertė pasiekta juos auginant tradicinėje sistemoje, kur šis rodiklis siekė daugiau kaip 78000 MJ/ha (žr. 8 pav.). Ekstensyvioje ir tausojančioje sistemose šio rodiklio vidurkis buvo mažesnis. Energetinis efektyvumas turėjo panašias tendencijas kaip aukščiau aptartuose pasėliuose. Lyginant su žieminiiais kviečiais, vasariniuose kviečiuose jis mažesnis, bet aukštesnis nei vasarinių miežių ir siekė tradicinėje sistemoje nuo 5,1 iki 5,5, tausojančioje – nuo 5,70 iki 6,90, o ekstensyvioje – nuo 5,98 (2022 m.) iki 8,59 (2023 m.).

Energijos produktyvumas skirtingais metais siekė: tradicinėje sistemoje – nuo 0,28 iki 0,30, tausojančioje sistemoje – nuo 0,31 iki 0,38, ekstensyvioje sistemoje – nuo 0,33 iki 0,48. Specifinė vasarinių kviečių grūdų energija siekė: tradicinėje 3,27 – 3,55 MJ/kg, tausojančioje nuo 3,05 iki 3,69 MJ/kg, o ekstensyvioje sistemoje nuo 2,11 (2023 m.) iki 3,04 MJ/kg (2022 m.).



8 pav. Skirtingo intensyvumo sistemose augintų vasarinių kviečių grūdų energetinis potencialas (vidurkis) 2022–2024 m.

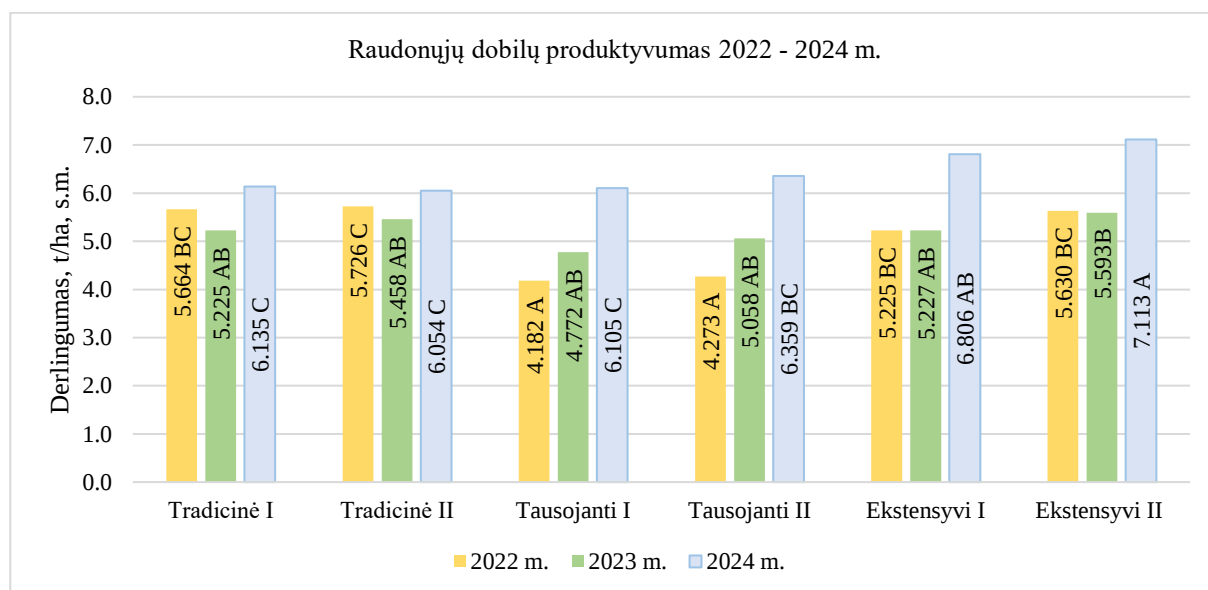
Raudonieji dobilai. 2022 m. balandžio–gegužės mėn. gausus kritulių kiekis leido raudoniesiems dobilams užauginti gana gausų biomasės derlių (žr. 9 pav.). Raudonųjų dobilų biomasę 2022 m. variavo nuo 4,18 t ha⁻¹ iki 5,66 t ha⁻¹ sausos medžiagos. Didesni biomasės derliai gauti tradicinėje ir ekstensyvioje sistemose.

2023 m. nepaisant sausringo periodo gegužės ir birželio mėn., skirtingo intensyvumo sistemose auginti raudonieji dobilai pasiekė panašų derlingumo lygį kaip ir 2022 m. Tradicinėse sistemose 2023 m. derlingumas buvo 5–8 % mažesnis nei 2022 m., tačiau tausojančiose sistemose produktyvumas buvo didesnis nei 2022 m. Ekologinėje (ekstensyvi) sistemoje raudonųjų dobilų derlingumas buvo panašaus lygio. 2024 m. balandžio mėn. aukštesnė nei įprastai temperatūra ir gausesnis kritulių kiekis leido raudoniesiems dobilams užauginti didesnę biomasę. Didžiausiu derlingumu pasižymėjo ekstensyvioje agroekosistemoje auginti raudonieji dobilai.

Raudonieji dobilai geba fiksuoti aplinkoje esantį azotą, kuris paliekamas dirvožemyje po jų auginamiems augalams. Teigiama, kad raudonieji dobilai gali sukaupti nuo 40 kg ha⁻¹ iki daugiau kaip 100 kg ha⁻¹ azoto (Lapinskas, Piaulokaitė-Motuzienė, 2008), tad raudonieji dobilai yra labai vertingas priešsėlis daugeliui kitų žemės ūkio augalų. Raudonieji dobilai dėl savo baltymingumo, kuris įvairių tyrėjų duomenimis, gali variuoti nuo 15 iki 25 % (Wrobel, Zielewicz, 2019), gali būti vertingas pašaras. Be to raudonieji dobilai turi skaidulų, vitaminų ir mineralų kiekį, kurie svarbūs tiek gyvulių pašarų racione, tiek žmogaus mitybos grandinėje.

Naudojant raudonuosius dobilus kaip įsėlį, nuėmus pagrindinio augalo derlių, paliekamą per žiemą, prisideda prie dirvožemio saugojimo tiek nuo vėjo, tiek nuo lietaus sukeltos erozijos ir mažina maisto medžiagų išsiplovimą. Pavasarį, atsinaujinus jų vegetacijai, augalai gali efektyviau išnaudoti dirvožemyje esančius drėgmės išteklius, o auganti biomasė gali padėti mažinti dirvožemio drėgmės

praradimą dėl evaporacijos proceso. Raudonųjų dobilų pasėlis sėjomainoje prisideda prie dirvožemio struktūros gerinimo ir derlingumo didinimo, o tai didina žemės ūkio veiklos tvarumą.



9 Paveikslas. Raudonųjų dobilų biomasės derlingumas ($t\ ha^{-1}\ s.\ m.$) 2022–2024 m. skirtingo intensyvumo agroekosistemose.

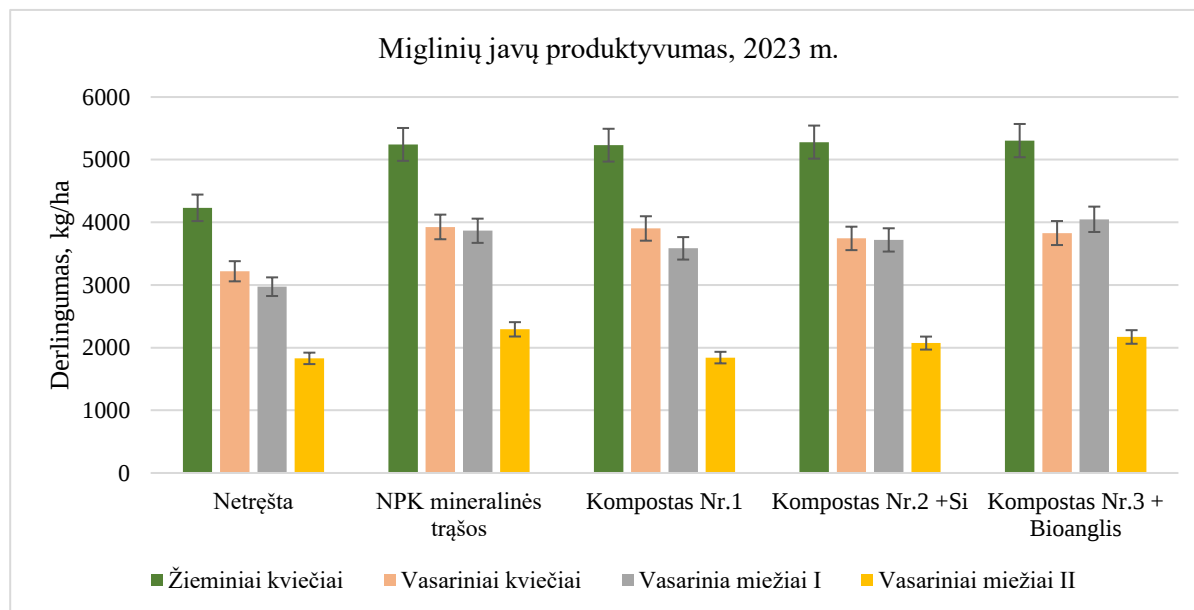
Pastaba. Skirtingos raidės parodo esminius skirtumus tarp variantų ($p < 0,05$, Duncan testas), vertinti atskirų metų vidurkiai.

2.3.1 Skirtingos sudėties kompostų efektyvumas augalų produktyvumui

2023 m. vasarinių miežių, vasarinių kviečių ir žieminių kviečių pasėliuose įrengti tręšimo skirtingais kompostais tikslieji eksperimentai pagal bendrą metodiką, suderinta tarp projekto partnerių. Tikslieji eksperimentai su vasariniais miežiais įrengti dvejose vietose – skirtingose sėjomainose – su raudonaisiais dobilais (paveiksluose ir lentelėje žymima „Vasariniai miežiai I“) ir sėjomainoje, kurioje viena iš sėjomainos grandžių yra sėjamieji žirniai (paveiksluose ir lentelėse žymima „Vasariniai miežiai II“). 2024 m. eksperimentas papildytas dar vienu tyrimų eksperimentu – vasariniai kviečiai auginti sėjomainoje po sėjamųjų žirnių.

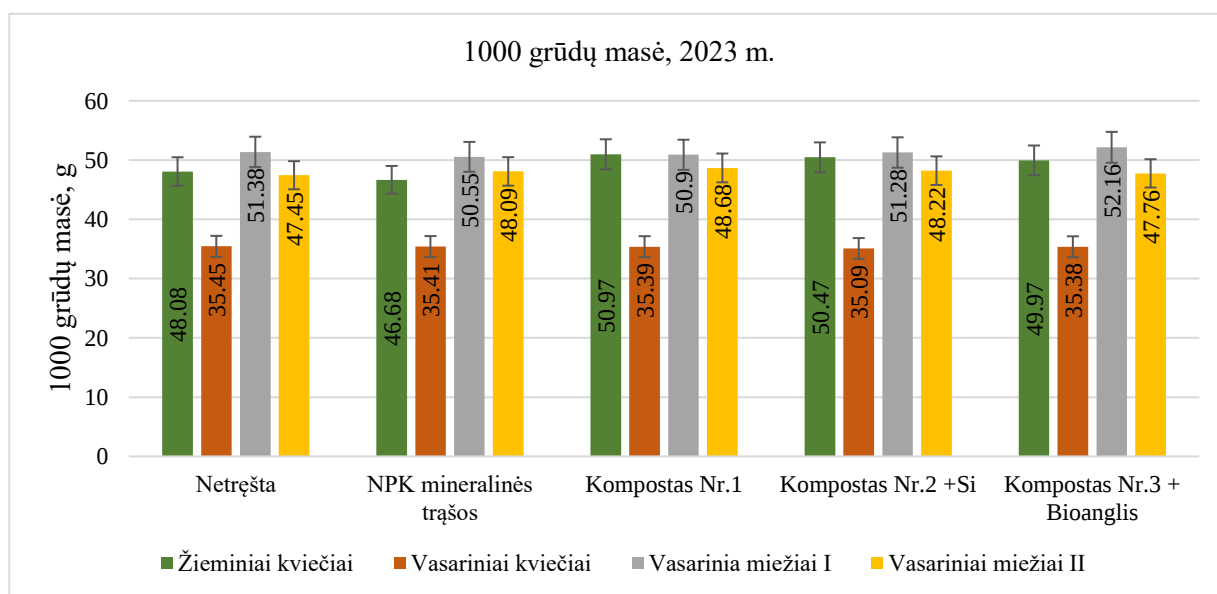
2023 m. žieminių kviečių derlingumas tręšiant mineralinėmis trąšomis arba skirtingais kompostais, esmingai nesiskyrė, išskyrus netręštą variantą (žr. 10 paveikslą.). Kompostai žieminių kviečių ir vasarinių kviečių tręšimo technologijoje pakeitė 40 % mineralinių azoto trąšų. Vasarinių miežių tręšimo technologijoje suplanuota, kad kompostai pakeistų iki 50 % mineralinių azoto trąšų. Vasarinių javų produktyvumas buvo mažesnis nei žieminių javų. Labiausiai išsiskyrė antrojo vasarinių miežių eksperimento derlingumas – jis buvo esmingai mažesnis nei pirmojo vasarinių miežių eksperimento. Taip pat šiame eksperimente išryškėjo ir meteorologinių sąlygų poveikis derlingumui ir panaudotų tręšimo produktų efektyvumui: dėl kritulių stygiaus augalai prasciau įsisavino tręšimo

produktus – netręšto varianto rezultatai nors ir buvo esmingai mažesnis, tačiau tik už 2-ojo ir 5-ojo variantų. Galima kelti hipotezę, kad esant drėgmės stygiui augalams sunkiau įsisavinti maisto medžiagas ne tik iš organinių trąšų, bet ir iš mineralinių.



10 paveikslas. Skirtingos sudėties kompostų efektyvumas miglinių javų derlingumui, 2023 m.

1000 grūdų masė skirtinguose žieminių kviečių variantuose variavo tarp 46,68 g ir 50,97 g (žr. 11 paveikslą). Vasarinių miežių I-jame eksperimente 1000 grūdų masė siekė daugiau kaip 50 g, o II-ajame eksperimente variavo tarp 47–48 g. Vasarinių kviečių 1000 grūdų masė buvo mažiausia – siekė tik kiek daugiau nei 35 g.

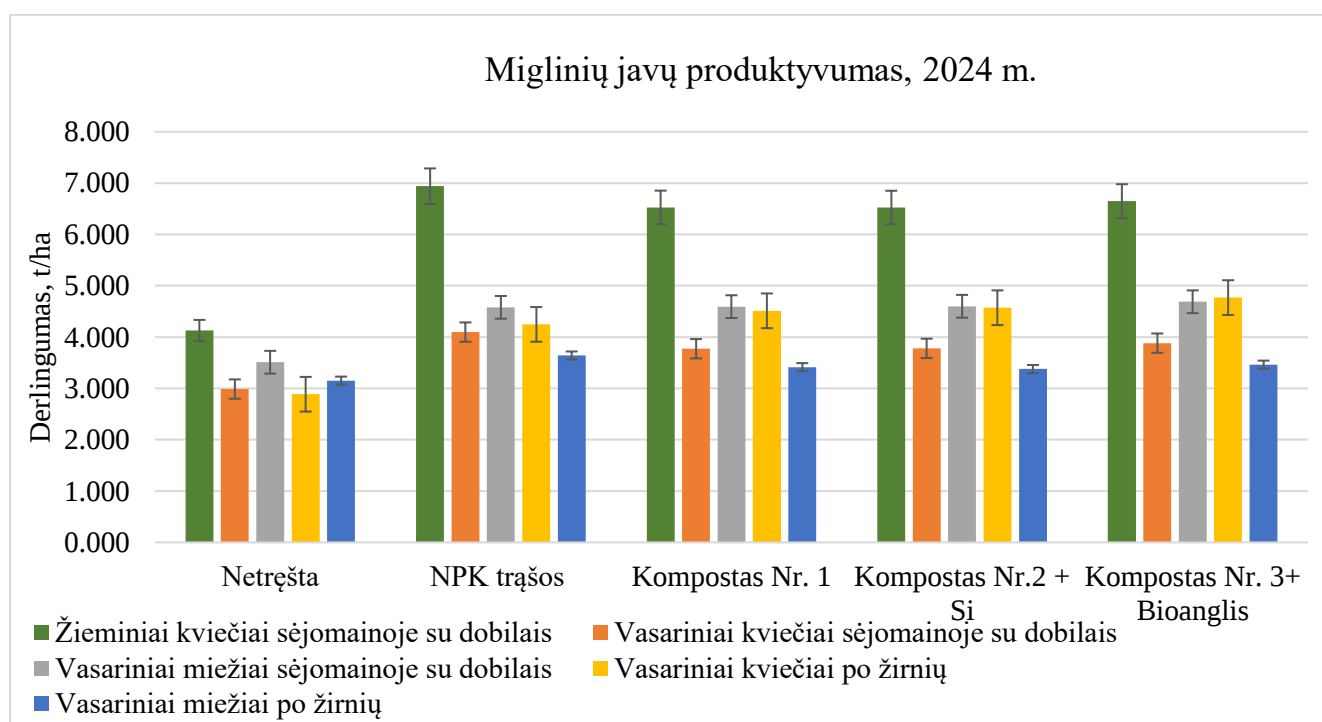


11 paveikslas. Skirtingos sudėties kompostų efektyvumas skirtingų javų 1000 grūdų masei 2023 m.

2024 m. žieminių kviečių derlingumas buvo aukštesnis nei 2023 m. Žieminių kviečių produktyvumas naudojant vien tik mineralines trąšas, siekė 7 t ha^{-1} , kai tuo metu naudojant tręšimui tik dalį mineralinių azoto trąšų, o kitą dalį pakeitus kompostais produktyvumas buvo mažesnis, bet neviršijo esminio skirtumo ribos (žr. 12 pav.). Kompostas su silicio priedu, priešingai nei tikėtasi, neparodė reikšmingesnio poveikio augalų produktyvumui. Kompostas su bioanglies priedu žieminių kviečių derlingumą didino beveik 2 % lyginant su kitų tipų kompostais.

Vasarinių javų produktyvumas mažesnis nei žieminių kviečių. Vasarinių miežių, augintų sėjomainoje, kurioje viena iš grandžių yra raudonieji dobilai, derlingumas buvo aukštesnis, nei auginant pagal tokia pačia bandymų schemą sėjomainoje su žirniais. Vasarinių kviečių derlingumo rezultatai 2024 m. parodė kitokias tendencijas nei vasarinių miežių: geresnis derlingumas pasiektas sėjomainoje, kurioje ankštiniai augalai buvo žirniai.

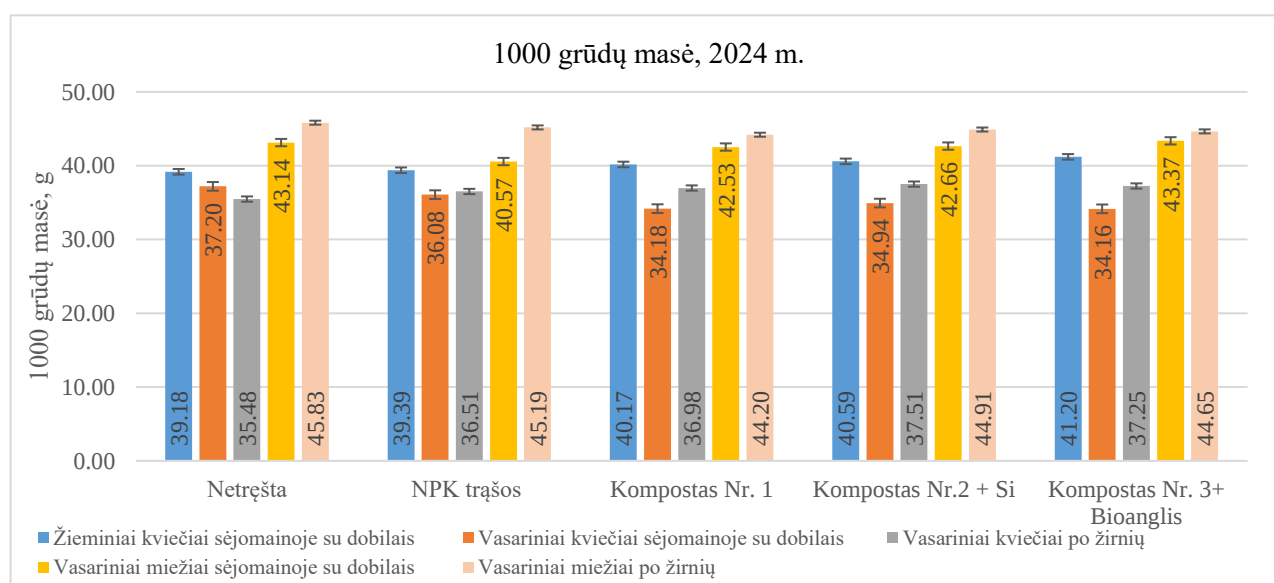
Skirtingų kompostų tipų veiksmingumas skirtinguose augaluose buvo panašus, tačiau tam tikros teigiamos tendencijos didesnio javų produktyvumo pastebėtos variantuose kuriuose kompostų sudėtyje buvo bioanglies. Ye ir kt. (2020) studijoje teigiama, kad bioanglies efektyvumą užgožia ne klimatinės sąlygos ar dirvožemio savybės, bet mineralinių trąšų naudojimas, nes naudojant vien tik organines trąšas su bioanglimi derlingumą galima padidinti iki 15 %, lyginant su atitinkamu mineralinių trąšų lygmeniu.



12 paveikslas. Skirtingos sudėties kompostų efektyvumas miglinių javų derlingumui skirtingose sėjomainose 2024 m.

Bioanglies naudojimas ne tik padidina pasėlių produktyvumą, bet gali prisidėti prie klimato kaitos poveikio sušvelninimo – gali sumažinti NH_3 , N_2O ir CH_4 emisijas. Tai taip pat gali sumažinti maistinių medžiagų išplovimą ir padidinti dirvožemio vandens sulaikymą (Schmidt ir kt., 2021). Be to, bioanglis gali būti naudojama įvairiose aplinkos tvarkymo srityse, pavyzdžiui, valant nuotekas, valant dirvožemį arba naudojant kaip durpių pakaitalą auginimo terpėje. Bioanglies gamyba gali būti kaip viena iš priemonių utilizuojant įvairias biomasės atliekas (Shi ir kt., 2020). Egzistuoja daug įvairių tyrimų susietų su bioanglies naudojimu, tačiau tai nereiškia, kad visi pagrindiniai klausimai, susiję su bioanglies naudojimu, jau buvo atsakyti ir kad tai automatiškai turėtų būti laikoma ekonomiškai perspektyvia praktika. Bioanglies naudojimo ekonominio atsiperkamumo klausimas ypač aktualus centrinės ir šiaurės Europos dalyse, Šiaurės Amerikos šiaurėje ir kituose regionuose, kuriuose vidutinė metinė temperatūra žemesnė nei 10°C , kur dar nepavyko pasiekti sistemingo derliaus padidėjimo naudojant bioanglį (Schmidt ir kt., 2021).

1000 grūdų masės rezultatai 2024 m. parodė, kad žieminių kviečių rodiklis varijavo nuo 39,18 iki 41,20 g (žr. 13 pav.) ir skirtumai tarp kontrolinio varianto ir variantų su panaudotais kompostais buvo statistiškai esmingi. Vasarinių miežių augintų sėjomainoje su raudonaisiais dobilais 1000 grūdų masė esmingai skyrėsi tik tarp varianto kuriame naudotos mineralinės trąšos ir varianto su kompostu, kuris praturtintas bioanglimi. Vasarinių miežių augintų sėjomainoje su žirniais, 1000 grūdų masės skirtumai tarp variantų variavo paklaidų ribose. Vasarinių kviečių, augintų sėjomainoje su raudonaisiais dobilais didesnė grūdų masė buvo kontroliniame ir vien mineralinėmis trąšomis tręštuose variantuose, kurių rezultatai buvo esmingai didesni nei variantų kuriuose panaudoti kompostai. Vasarinių kviečių, augintų sėjomainoje su žirniais esmingai mažiausia 1000 grūdų masė buvo 1 variante (kontrolė, be trąšų), kitų variantų skirtumai variavo paklaidų ribose.



13 paveikslas. Skirtingos sudėties kompostų efektyvumas skirtingų javų 1000 grūdų masei, 2024 m.

Apžvelgiant skirtumus tarp 2023 ir 2024 m. pastebima, kad 2024 m. visų augalų 1000 sėklų masė buvo mažesnė nei 2023 m. 2024 m. derlingumas daugelyje variantų buvo aukštesnis nei 2023 m., tai reiškia, kad augalai pasėlyje suformavo didesnę skaičių produktyvių stiebų su didesniu grūdų skaičiumi vienoje varpoje, tačiau drėgmės stygius grūdo formavimo ir pildymo metu galėjo tapti limituojančiu faktoriumi.

Grūdų kokybiniai rodikliai. Miglinių javų grūdų kokybinės analizės rezultatai 2023 m. parodė, kad žieminiai kviečiai tręšti komposto granulėmis kartu su azoto trąšomis pasiekė tokį patį grūdų baltymingumą, kaip ir tręšiant vien tik mineralinėmis trąšomis (žr. 15 lentelę). Vasarinių kviečių grūdų baltymingumas buvo didesnis nei žieminių kviečių. Kompostais tręštų variantų grūdų baltymingumas buvo didesnis nei vien tik mineralinėmis trąšomis tręštų javų. Abiejuose vasarinių miežių eksperimentuose grūdų baltymingumas gautas didesnis variantuose, kur naudotos tik mineralinės trąšos. Grūdų krakmolingumas visuose javų eksperimentuose išlaikė vienodą tendenciją – didesnis netręštame variante, o komposto granulėmis tręštuose variantuose nesiskyrė nuo mineralinėmis trąšomis tręšto varianto rezultatų. Grūdų piltinio tankio rodiklis variavo tarp skirtingų augalų – didesnis jis žieminių kviečių (siekė 74,8 – 76,9 kg/100l), vasarinių kviečių variavo tarp 71,5 ir 72,5, o vasarinių miežių buvo mažiausias skirtinguose eksperimentuose kito atitinkamai nuo 65,1 iki 66,5 ir nuo 67,3 iki 68,5 kg/100 l. Skirtingos komposto granulės derinant jas su mineralinėmis trąšomis leido pasiekti panašų rezultatą pasiektą, tręšiant vien tik mineralinėmis trąšomis.

2024 m. skirtingomis tręšimo technologijomis augintų žieminiai kviečių baltymingumas pasiektas panašus kaip ir 2023 m., tačiau tarp variantų buvo daugiau esminių skirtumų (žr. 16 lentelę). Grūdų krakmolingumu išsiskyrė tik netręšto varianto grūdai – esmingai didesnė vertė nei kitų variantų. Grūdų piltinis tankis tarp variantų nesiskyrė.

Vasarinių kviečių augintų sėjomainoje su raudonaisiais dobilais baltymingumas buvo aukštesnis nei po žirnių augintų javų, o skirtumai tarp variantų turėjo tokias pat tendencijas – esmingai mažiausios vertės buvo be trąšų augintuose variantuose. Krakmolingumo ir piltinio tankio vertės tarp variantų labiau variavo ir turėjo esminių skirtumų sėjomainoje, kurioje viena iš grandžių – raudonieji dobilai. Vasarinių miežių bandymuose analogiškos rezultatų tendencijos kaip ir vasariniuose kviečiuose.

15 lentelė. Miglinių javų grūdų kokybiniai rodikliai tręšiant skirtingos sudėties komposto granulėmis, 2023 m., Akademija

Augalas	Variantas	Baltymai, %	Krakmolingumas, %	Piltinis tankis, kg/100 l
Žieminiai kviečiai po raudonųjų dobilų	Netręšta	9,0 a	69,2 c	75,0 a
	NPK mineralinės trąšos	12,0 b	68,3 abc	74,8 a
	Kompostas Nr. 1 + (100 kg azoto mineralinių trąšų)	12,1 b	67,2 a	76,8 bc
	Kompostas Nr.2 +Si (100 kg azoto mineralinių trąšų)	12,0 b	67,5 a	76,7 bc
Vasariniai kviečiai sėjomainoje su raudonaisiais dobilais	Netręšta	11,7 a	66,4 c	71,5 ab
	NPK mineralinės trąšos	14,8 b	65,5 ab	72,2 ab
	Kompostas Nr. 1 + (80 kg azoto mineralinių trąšų)	15,2 bcd	65,3 a	72,5 b
	Kompostas Nr.2 +Si (80 kg azoto mineralinių trąšų)	15,3 d	65,2 a	72,4 ab
Vasariniai miežiai sėjomainoje su raudonaisiais dobilais	Netręšta	11,6 a	61,7 c	67,3 ab
	NPK mineralinės trąšos	15,8 c	60,2 a	67,4 ab
	Kompostas Nr. 1 + (50% azoto mineralinių trąšų)	15,4 bc	60,5 a	67,7 ab
	Kompostas Nr.2 +Si (50% azoto mineralinių trąšų)	15,2 bc	60,9 abc	68,5 b
Vasariniai žirnių po	Netręšta	11,8 a	61,2 b	65,1 a
	NPK mineralinės trąšos	15,7 d	59,6 a	65,7 abc
	Kompostas Nr. 1 + (50% azoto mineralinių trąšų)	14,5 b	60,1 a	66,5 c
	Kompostas Nr.2 +Si (50% azoto mineralinių trąšų)	15,0 bcd	59,8 a	65,4 abc
	Kompostas Nr.3 + bioanglis (50% azoto mineralinių trąšų)	15,3 bcd	60,1 a	66,0 abc

Pastaba. Skirtingos raidės parodo esminius skirtumus tarp variantų ($p < 0,05$, Duncan's testas).

16 lentelė. Miglinių javų grūdų kokybiniai rodikliai tręšiant skirtingos sudėties komposto granulėmis, 2024 m., Akademija

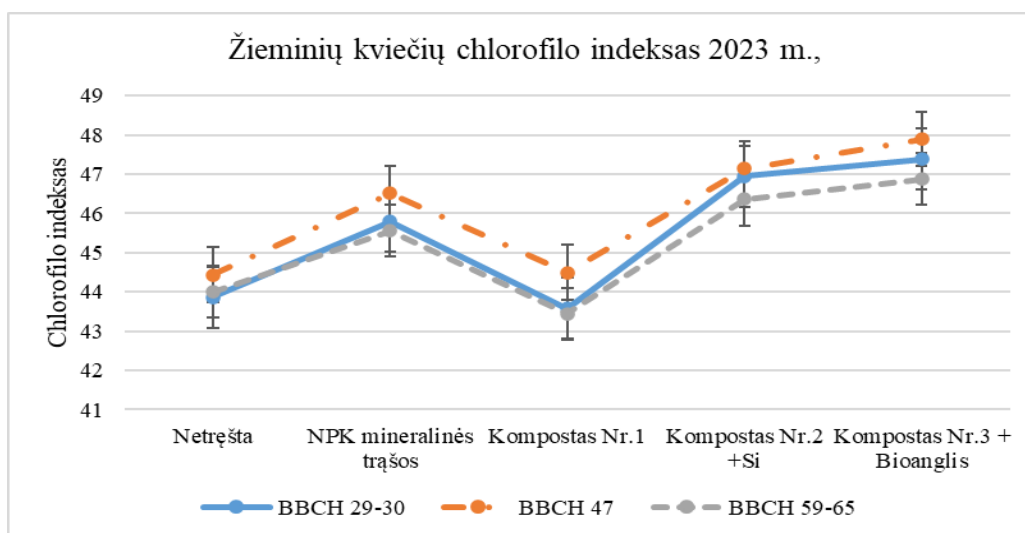
Augalas	Variantas	Baltymai, %	Krakmolingumas, %	Piltnis tankis, kg/100 l
Žieminiai kviečiai po raudonųjų dobilų	Netręšta	9,8 a	67,9 b	79,8 ab
	NPK mineralinės trąšos	12,5 c	66,6 a	79,7 ab
	Kompostas Nr. 1 + (100 kg azoto mineralinių trąšų)	12,1 b	66,8 a	80,6 b
	Kompostas Nr.2 +Si (100 kg azoto mineralinių trąšų)	12,3 bc	66,8 a	80,1 ab
	Kompostas Nr.3 + bioanglis (100 kg azoto mineralinių trąšų)	12,3 bc	66,6 a	80,4 ab
Vasariniai kviečiai sėjomainoje su raudonaisiais dobilais	Netręšta	10,5 a	68,5 c	78,1 c
	NPK mineralinės trąšos	13,9 b	65,1 b	77,2 abc
	Kompostas Nr. 1 + (80 kg azoto mineralinių trąšų)	14,6 bc	64,3 ab	76,3 a
	Kompostas Nr.2 +Si (80 kg azoto mineralinių trąšų)	14,8 bc	63,9 a	77,2 abc
	Kompostas Nr.3 + bioanglis (80 kg azoto mineralinių trąšų)	15,1 c	63,5 a	76,2 a
Vasariniai kviečiai sėjomainoje po žirnių	Netręšta	10,2 a	69,4 b	66,6 ab
	NPK mineralinės trąšos	13,3 b	66,3 a	70,8 b
	Kompostas Nr. 1 + (80 kg azoto mineralinių trąšų)	13,7 bc	66,0 a	70,2 ab
	Kompostas Nr.2 +Si (80 kg azoto mineralinių trąšų)	13,6 bc	65,9 a	69,8 ab
	Kompostas Nr.3 + bioanglis (80 kg azoto mineralinių trąšų)	13,7 bc	65,9 a	69,1 ab
Vasariniai miežiai sėjomainoje su raudonaisiais dobilais	Netręšta	11,2 a	60,9 c	54,8 a
	NPK mineralinės trąšos	13,9 b	59,8 b	56,0 b
	Kompostas Nr. 1 + (50 % azoto mineralinių trąšų)	14,4 bcd	59,5 ab	55,4 ab
	Kompostas Nr.2 +Si (50 % azoto mineralinių trąšų)	14,3 bcd	59,8 b	55,4 ab
	Kompostas Nr.3 + bioanglis (50 % azoto mineralinių trąšų)	14,7 d	59,3 a	55,0 ab
Vasariniai miežiai po žirnių	Netręšta	10,6 a	62,5 b	62,7 a
	NPK mineralinės trąšos	13,0 b	61,7 a	63,8 ab
	Kompostas Nr. 1 + (50 % azoto mineralinių trąšų)	13,3 bc	61,4 a	64,2 ab
	Kompostas Nr.2 +Si (50 % azoto mineralinių trąšų)	13,2 bc	61,6 a	64,1 ab
	Kompostas Nr.3 + bioanglis (50 % azoto mineralinių trąšų)	13,7 c	61,4 a	64,5 b

Pastaba. Skirtingos raidės parodo esminius skirtumus tarp variantų ($p < 0,05$, Duncan's testas).

Chlorofilo indekso pokyčiai migliniuose javuose taikant skirtingas tręšimo technologijas.

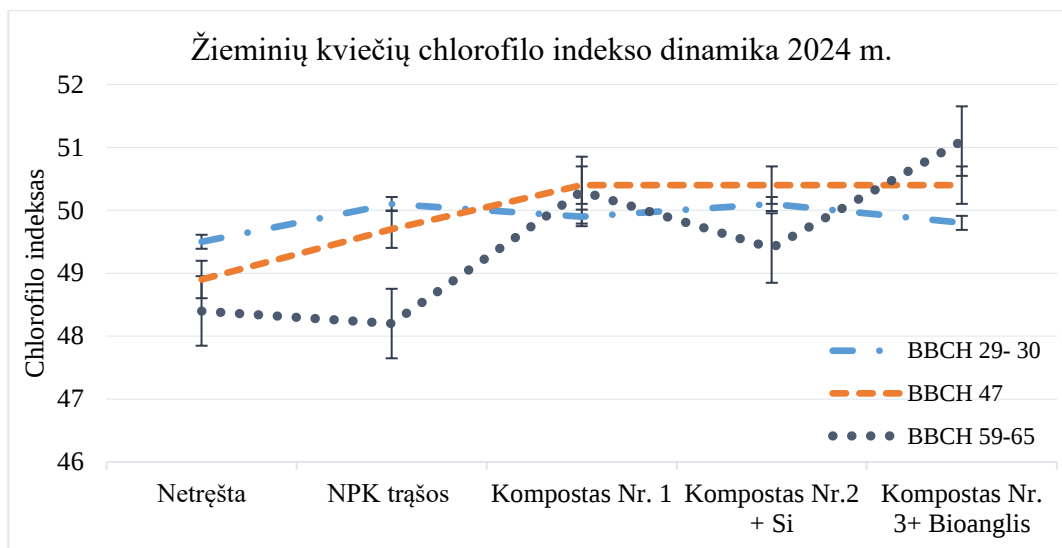
Chlorofilas yra pats svarbiausias lapų pigmentas dalyvaujantis fotosintezės procese, bei lemiantis augalų žalumą. Chlorofilo kiekis lapuose gali būti laikomas azoto kiekio indikatoriumi, nes jis yra esminis elementas, dalyvaujantis baltymų fotosintezėje. Tyrimų laikotarpiu (2023 – 2024 m.) migliniuose javuose tręšiant skirtingos sudėties kompostais chlorofilo indeksas matuotas augalams baigiant krūmytis, vėliavinio lapo tarpsnyje ir žydėjimo tarpsnyje.

Žieminių kviečių chlorofilo indeksas krūmijimosi pabaigoje variavo nuo 43,8 iki 47,5 (žr. 14 paveikslą). Kadangi dažniausiai matuojamas viršutinis, pilnai išsivystęs lapas, tai vėliavinio lapo tarpsnyje pastebimas tam tikras chlorofilo indekso padidėjimas, tačiau ne visuose variantuose. Žieminių kviečių žydėjimo metu chlorofilo indeksas mažėja lyginant su vėliavinio lapo tarpsniu. Tarp skirtingų tręšimo kompostu variantų matomas, kad 5 variante, kur naudotas kompostas su 10% bioanglies priedu parodė didesnę žieminių kviečių chlorofilo indeksą, tačiau skirtumai nebuvo statistiškai esmingi.



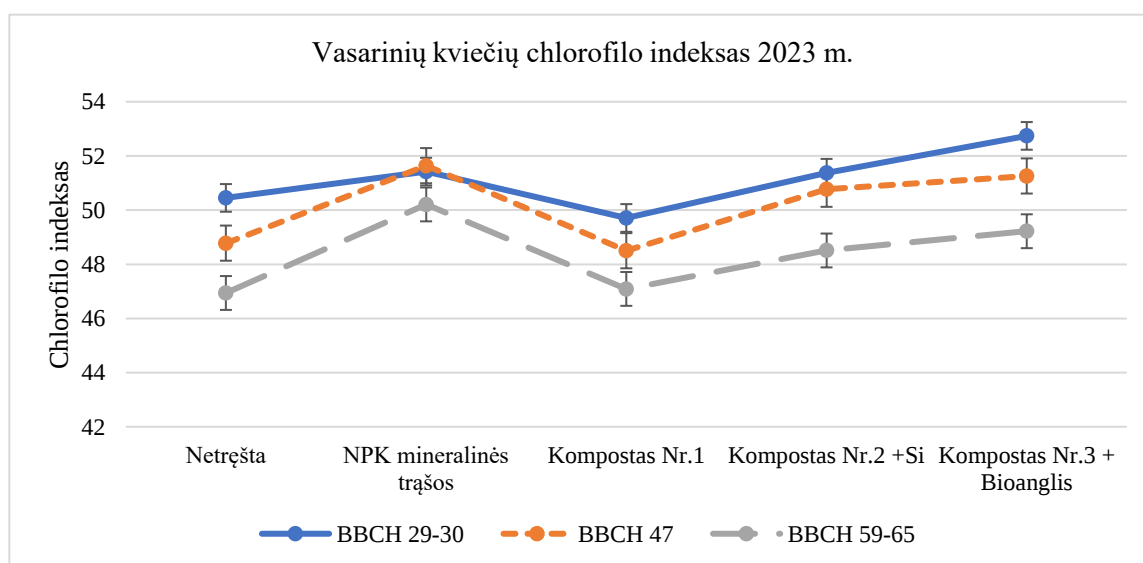
14 paveikslas. Žieminių kviečių chlorofilo indeksas skirtingais augimo tarpsniais, 2023 m.

2024 m. chlorofilo indekso matavimai tais pačiais žieminių kviečių augimo tarpsniais parodė kiek kitokias tendencijas nei 2023 m. (žr. 15 pav.). Indekso vertės buvo aukštesnės nei 2023 m., o mažiausi pokyčiai fiksuoti kompostu Nr. 1 tręštame variante. Žydėjimo tarpsnio pabaigoje atlikto matavimo rezultatai parodė, kad didžiausia vertė buvo variante, kuriame tręšta kompostu su bioanglimi. Siliciu praturtintas kompostas esmingesnių žieminių kviečių augalų chlorofilo indekso pokyčių vegetacijos tarpsniuose neparodė.



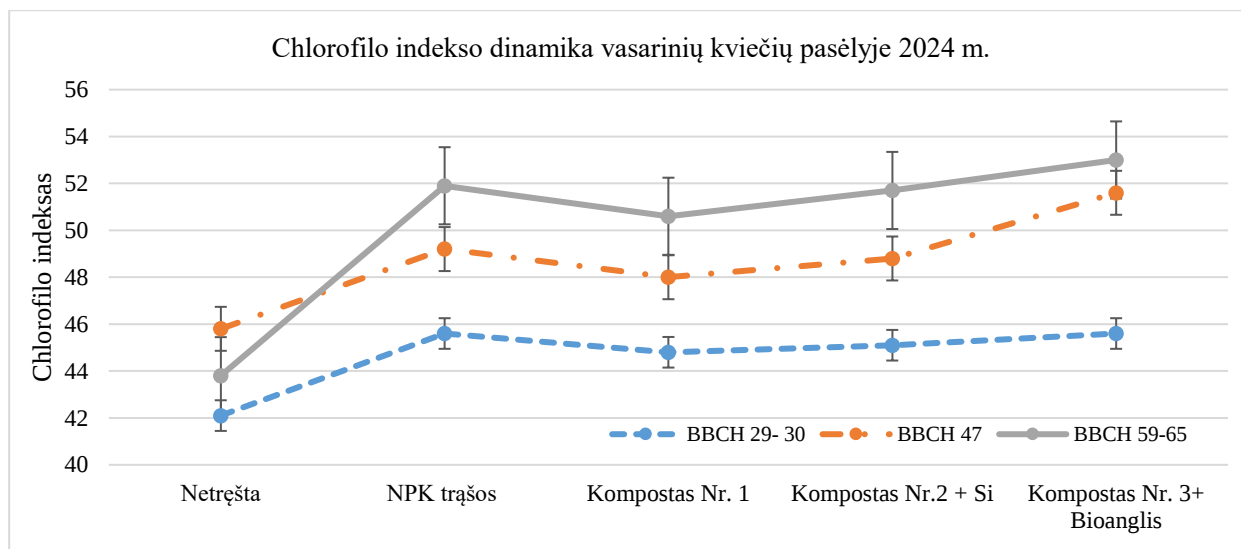
15 paveikslas. Žieminių kviečių chlorofilo indeksas skirtingais augimo tarpsniais 2024 m.

Vasarinių kviečių augintų 2023 m. sėjomainoje su raudonaisiais dobilais, chlorofilo indeksas krūmijimosi pabaigoje buvo aukštesnis nei žieminių kviečių, tačiau tarp panaudotų tręšimo produktų variantų skirtumai nebuvo statistiškai esmingi: kiek labiau išsiskyrė 5 variantas, kur naudotos komposto granulės su bioanglimi (žr. 16 pav.). Vėlesniuose chlorofilo indeksas matavimuose indeksas vertės nustatytos mažesnės. Chlorofilo indeksas verčių tendencijos tarp skirtingų variantų panašios į žieminių kviečių bandyme gautas tendencijas, didesnės chlorofilo indeksas vertės buvo mineralinėmis trąšomis, kompostu Nr. 2 su siliciu ir kompostu Nr. 3 su bioanglimi tręštuose variantuose.



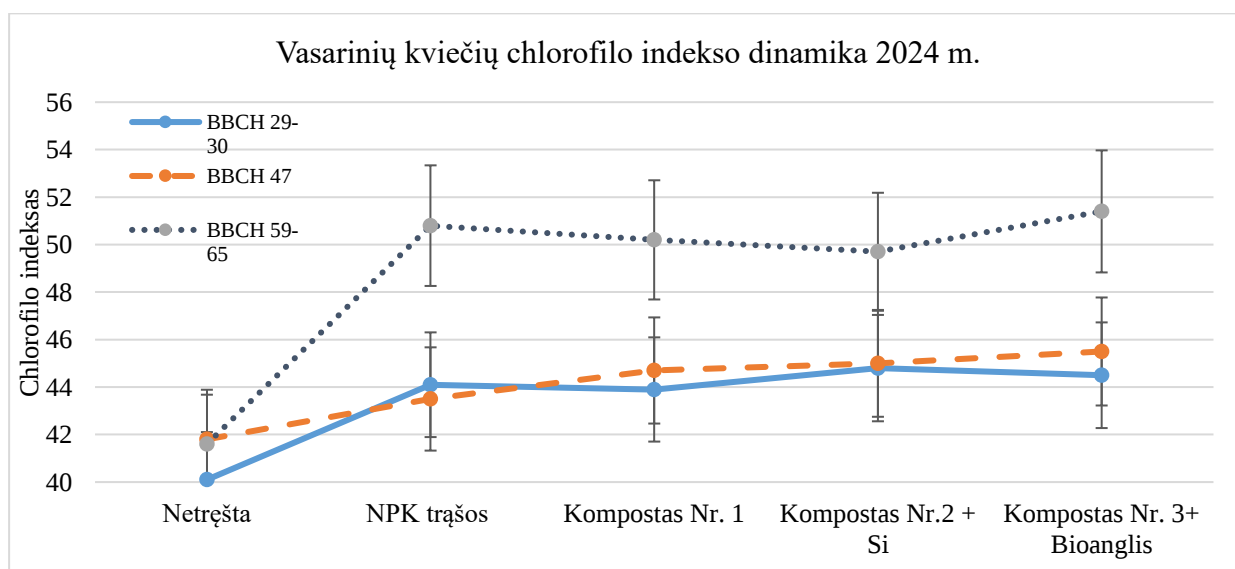
16 paveikslas. Vasarinių kviečių chlorofilo indeksas skirtingais augimo tarpsniais 2023 m.

2024 m. vasarinių kviečių, auginamų sėjomainoje su raudonaisiais dobilais, chlorofilo indekso matavimai parodė panašią tendenciją kaip ir 2023 m. (žr. 17 pav.), kai aukštesnės vertės tręštuose variantuose. 2024 metais matomos tam tikros kompostų poveikio tendencijos kompostai su siliciu (Nr. 2) ir bioanglimi (Nr. 3) turi teigiamą tendenciją didinti augalų chlorofilo indeksą.



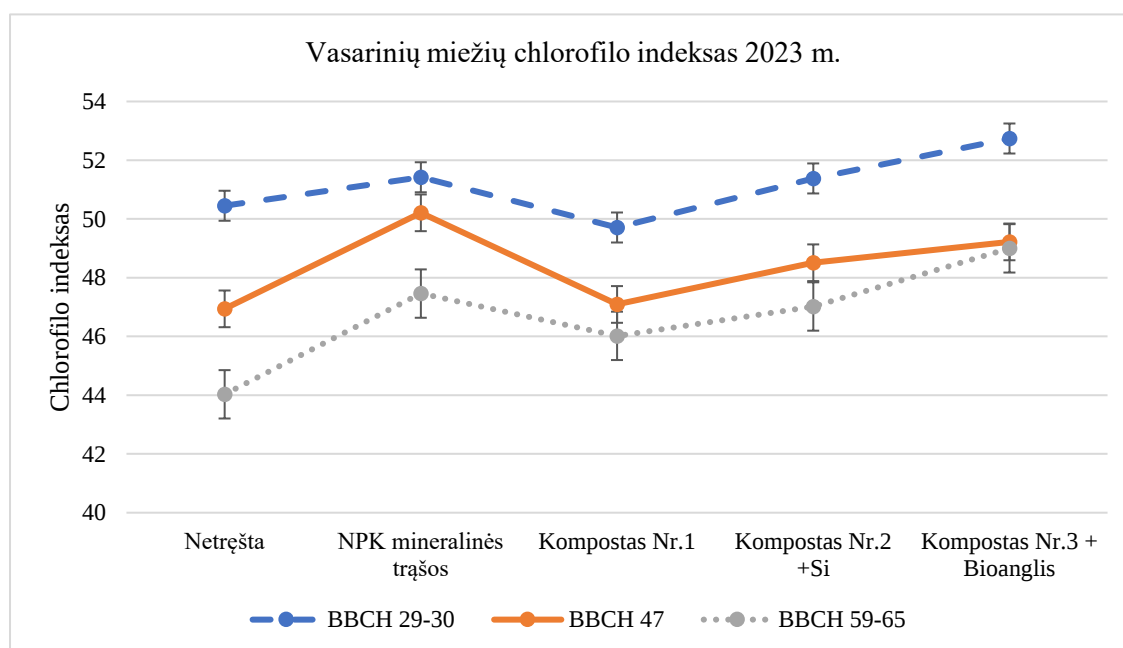
17 paveikslas. Vasarinių kviečių, augintų sėjomainoje su raudonaisiais dobilais chlorofilo indekso dinamika vegetacijos metu 2024 m.

Vasarinių kviečių, augintų po žirnių 2024 m. chlorofilo indekso lygis buvo panašus kaip ir augintų sėjomainoje su raudonaisiais dobilais (žr. 18 pav.). Kompostas su bioanglies priedu taip pat turėjo teigiamą tendenciją chlorofilo indekso vertėms augaluose.

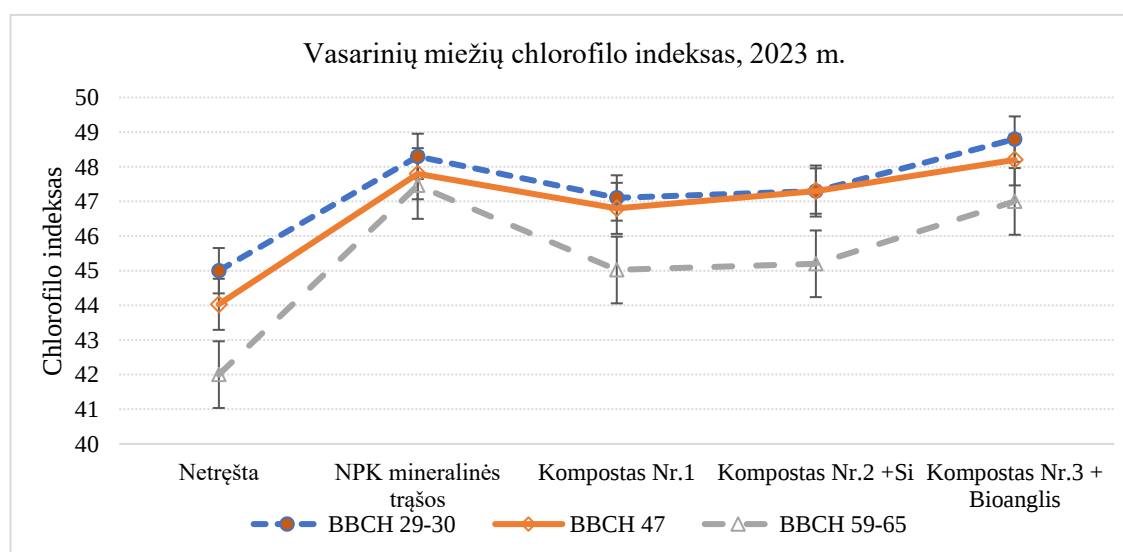


18 paveikslas. Vasarinių kviečių, augintų po žirnių chlorofilo indekso dinamika 2024 m.

Vasarinių miežių eksperimentuose 2023 m. chlorofilo indekso pokyčių tendencijos tokios pat kaip ir kitų miglinių javų eksperimentuose (žr. 19 ir 20 paveikslus). Eksperimente, kuriame sėjomainoje yra įtraukti raudonieji dobilai, chlorofilo indekso vertės buvo aukštesnės, nei eksperimento, kuriame sėjomainoje viena iš jos dalių yra žirniai. Vasarinių miežių eksperimentuose chlorofilo indekso skirtumai tarp variantų tręštų skirtingos sudėties kompostais, buvo mažesni nei žieminių kviečių ar vasarinių kviečių eksperimentuose. Taip pat chlorofilo indekso vertės galėjo lemti ir meteorologinės sąlygos – vyravęs sausringas periodas turėjo neigiamos įtakos ir augalų fiziologiniams procesams.

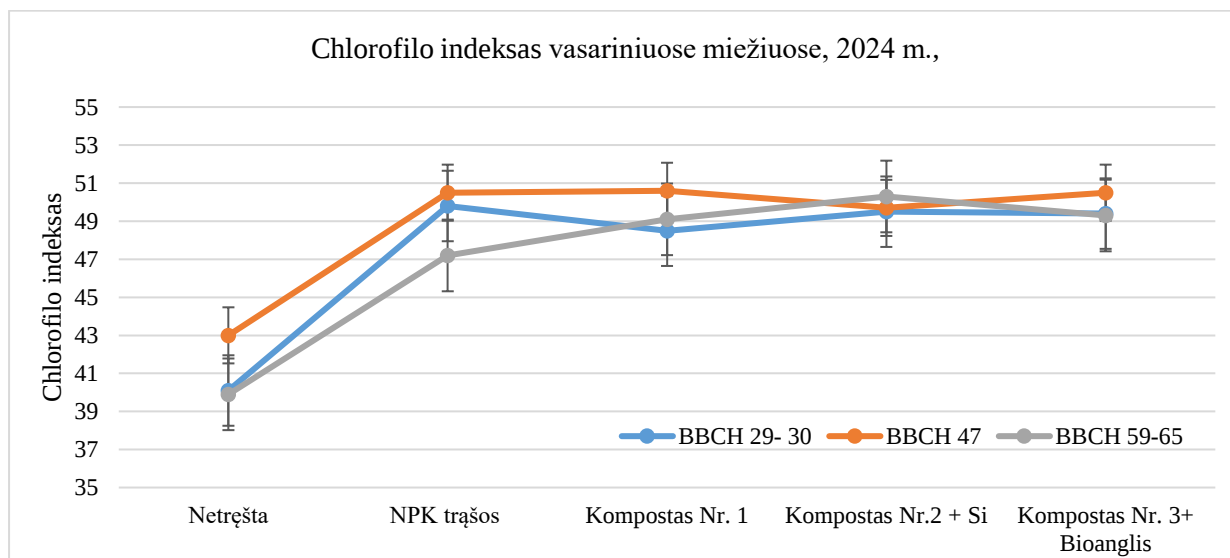


19 paveikslas. Vasarinių miežių, augintų sėjomainoje su raudonaisiais dobilais chlorofilo indeksas skirtingais augimo tarpsniais 2023 m.

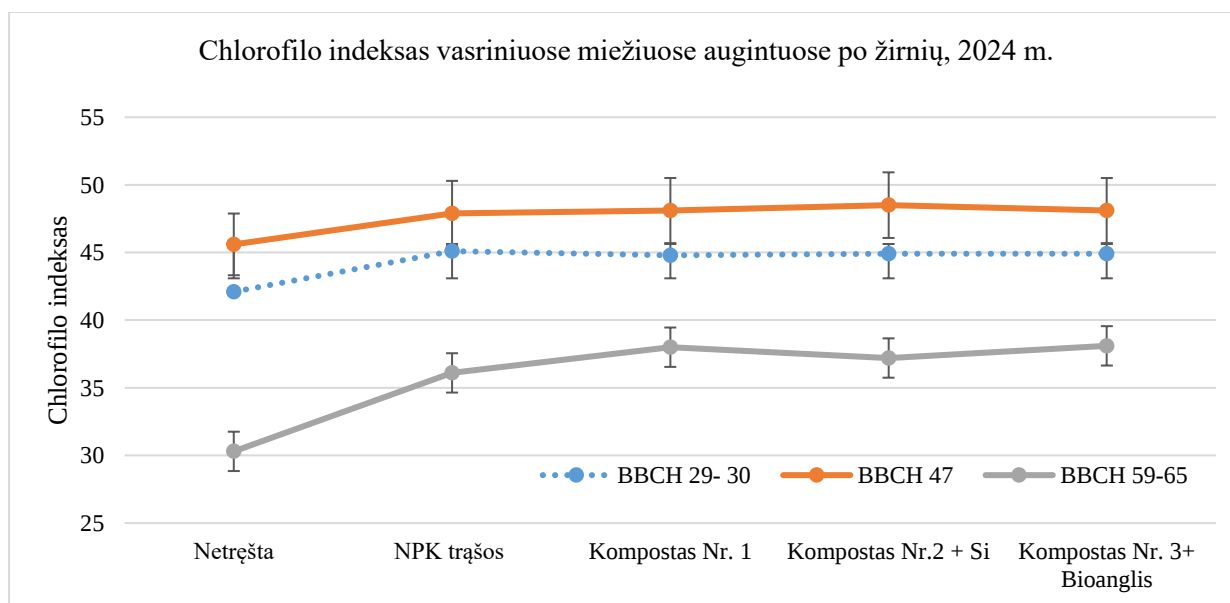


20 paveikslas. Vasarinių miežių, auginamų sėjomainoje su žirniais ir tręštų skirtingais kompostais chlorofilo indeksas 2023 m.

2024 m. chlorofilo indekso matavimai vasarinių miežių pasėliuose parodė panašias tendencijas kaip ir ankstesniais metais (žr. 21 ir 22 pav.). Vasarinių miežių bandymuose ryškiausiai atsispindėjo trąšų poveikis chlorofilo indeksui – didesnės šio rodiklio vertės variantuose, kur naudotos trąšos. Vegetacijos eigoje chlorofilo indeksas kito: krūmijimosi tarpsnio pabaigoje jos buvo aukštesnės, nei gautos žydėjimo pabaigoje, bet žemesnės nei vėliavinio lapo tarpsnyje.



21 paveikslas. Vasarinių miežių, augintų sėjomainoje su raudonaisiais dobilais chlorofilo indeksas skirtingais augimo tarpsniais 2024 m.



22 paveikslas. Vasarinių miežių, auginamų sėjomainoje su žirniais ir tręštų skirtingais kompostais, chlorofilo indeksas 2024 m.

Chlorofilo indekso matavimas taikomas kaip vienas geriausių indikatorių apibūdinančiu augalo apsirūpinimo azotu lygį. Azoto efektyvumui poveikį turi ne tik panaudotos trąšos, jų kiekis, bet ir aplinkos sąlygos ypač drėgmės režimas, kuris svarbus augalui vykdant fotosintezės procesą, įsisavinant maisto medžiagas, kartu ir azotą. Chlorofilo indeksas koreliuoja ne tik su augalo azoto kiekiu, tačiau gali atspindėti ir NDVI indekso tendencijas pasėlyje. Chlorofilo indekso matavimas gali būti kaip vienas parankinių metodų, leidžiantis įvertinti pasėlio būklę realiomis lauko sąlygomis. Atliekant chlorofilo indekso matavimus ir interpretuojant gautus rezultatus, derėtų atkreipti dėmesį į augalo rūšį, dirvožemio agrochemines savybes, taikomą auginimo agrotechnologiją ir aplinkos sąlygas (dirvožemio drėgmę, temperatūrą, apšvietimą), kenkėjų ir ligų gausą pasėlyje, mechaninius ir cheminius augalų pažeidimus.

2.3.2 Makro ir mikroelementų koncentracija miglinių javų grūduose

Miglinių javų produktyvumo potencialo realizavimui svarbu ne tik meteorologinės sąlygos vegetacijos metu, dirvožemio savybės, bet ir naudojamos trąšos bei jų normos. Naudojama azoto trąšų norma didžiąja dalimi lemia augalų produktyvumą ir jo kokybinius rodiklius. Produkcijos kokybė aktuali perdirbimo procesuose ir galutinio produkto vartotojams. Literatūroje pateikiama duomenų, kad javų tręšimas azotu gali padidinti tokių elementų kaip varis (Cu), geležis (Fe), cinkas (Zn), kurie priskiriami mikroelementų ir tuo pačiu sunkiųjų metalų grupei (Grace ir kt., 2022). Taip pat skirtingos kilmės trąšos gali paveikti ne tik dirvožemio turtingumą mikroelementais, bet ir pačios produkcijos turtingumą mikroelementais. Tai ypač aktualu kai yra rekomenduojama vartoti pilno grūdo produktus. Tuo tikslu projekto metu įvertinti pokyčiai skirtingomis trąšomis tręštų javų grūduose pagrindinių makro ir mikro elementų koncentracijos.

Žieminių kviečių grūduose daugiausiai sukaupia azoto (žr. 17 lentelę). Daugiausiai azoto sukaupė mineralinėmis trąšomis tręšti augalai. Kompostų poveikis azoto sukaupimui grūduose buvo panašaus lygmens. Naudotos fosforo, magnio trąšos, koncentracijoms grūduose esmingesnio poveikio neturėjo. Cinko kiekis grūduose didžiausias variante, kuriame panaudotas kompostas, praturtintas bioanglimi. Geležies koncentracija variavo paklaidų ribose, o didžiausiais vario kiekis grūduose nustatytas kontroliniame variante.

Vasarinių kviečių grūdų cheminės analizės parodė, kad azoto koncentracija didesnė tręštuose variantuose, tačiau išryškėjo tendencija kad derinant kompostus su mineralinėmis trąšomis azoto kiekis didėja (žr. 18 lentelę). Fosforo ir kalio koncentracijos turėjo tokias pat tendencijas kaip žieminiuose kviečiuose, tačiau kalcio, cinko koncentracija didesnė variantuose, kuriuose panaudoti kompostai. Geležies daugiausiai rasta kontroliniame variante augintuose javuose, o vario – variante kuriame tręšta bioanglimi praturtintu kompostu.

17 lentelė. Mikro ir makro elementų koncentracija skirtingomis trąšomis tręštų žieminių kviečių grūduose.

Auginimo technologija	Variantas	Azotas (N) % s.m.	Fosforas (P) % s.m.	Kalis (K) % s.m.	Kalcis (Ca) % s.m.	Magnis (Mg) % s.m.	Natris (Na) % s.m.	Cinkas (Zn) mg/kg	Geležis (Fe) mg/kg	Varis (Cu) mg/kg
Žieminiai kviečiai po raudonųjų dobilų	Netręšta	1,724 a	0,305 b	0,482 bcd	0,186 b	0,118 ab	0,434 bcd	24,7 b	43,3 ab	5,45 c
	NPK mineralinės trąšos	2,193 d	0,270 ab	0,521 d	0,210 a	0,121 b	0,295 a	26,5 ab	45,6 b	5,18 bc
	Kompostas Nr. 1 + (100 kg N min. trąšų)	2,118 b	0,267 ab	0,472 abcd	0,218 a	0,114 ab	0,331 ab	24,3 a	44,5 ab	5,07 bc
	Kompostas Nr.2 +Si (100 kg N min. trąšų)	2,158 bcd	0,249 ab	0,421 a	0,215 ab	0,116 ab	0,466 cd	24,3 a	43,4 ab	4,50 a
	Kompostas Nr.3 + bioanglis (100 kg N min. trąšų)	2,167 bcd	0,291 ab	0,437 ab	0,216 ab	0,115 ab	0,469 d	27,4 c	43,4 ab	4,27 a

Pastaba. Skirtingos raidės parodo esminius skirtumus tarp variantų ($p < 0,05$, Duncan's testas).

18 lentelė. Mikro ir makro elementų koncentracija skirtingomis trąšomis tręštų vasarinių kviečių grūduose.

Auginimo technologija	Variantas	Azotas (N) % s.m.	Fosforas (P) % s.m.	Kalis (K) % s.m.	Kalcis (Ca) % s.m.	Magnis (Mg) % s.m.	Natris (Na) % s.m.	Cinkas (Zn) mg/kg	Geležis (Fe) mg/kg	Varis (Cu) mg/kg
Vasariniai kviečiai sėjomainoje su raudonaisiais dobilais	Netręšta	1,846 a	0,245 ab	0,539 c	0,311 a	0,132 ab	0,387 abc	26,57 b	39,1 c	4,24 ab
	NPK mineralinės trąšos	2,434 b	0,315 b	0,453 a	0,304 a	0,136 ab	0,380 abc	28,22 b	22,7 a	4,98 ab
	Kompostas Nr. 1 + (80 kg N min. trąšų)	2,557 bcd	0,278 ab	0,501 abc	0,363 bc	0,140 ab	0,334 a	45,08 a	31,8 b	4,08 ab
	Kompostas Nr.2 +Si (80 kg N min. trąšų)	2,596 cd	0,286 ab	0,475 abc	0,342 bc	0,133 ab	0,300 a	45,92 a	27,2 b	4,22 ab
	Kompostas Nr.3 + bioanglis (80 kg N min. trąšų)	2,671 d	0,290 ab	0,441 a	0,365 bc	0,136 b	0,438 c	46,85 a	26,2 b	5,22 b

Pastaba. Skirtingos raidės parodo esminius skirtumus tarp variantų ($p < 0,05$, Duncan's testas).

Vasarinių miežių grūdų analizė parodė, kad kalio ir natrio grūduose daugiausiai susikaupė javai auginti be trąšų (žr. 19 lentelę). Mažiausia azoto koncentracija grūduose buvo kontroliniame variante, o skirtingai tręštuose variantuose šio elemento kiekis variavo paklaidų ribose. Didžiausia kalcio ir cinko koncentracija nustatyta 3-ajame variante, kur panaudotos mineralinės trąšos kartu su komposto granulėmis be priedų. Geležies didžiausios koncentracijos nustatytos 3 ir 5 variantuose, kur naudotos

komposto granulės be priedų ir granulės su bioanglies priedu. Vario koncentracija vasarinių miežių grūduose tarp variantų neviršijo esminio skirtumo ribos.

19 lentelė. Mikro ir makro elementų koncentracija skirtingomis trąšomis tręštų vasarinių miežių grūduose.

Auginimo technologija	Variantas	Azotas (N) % s.m.	Fosforas (P) % s.m.	Kalis (K) % s.m.	Kalcis (Ca) % s.m.	Magnis (Mg) % s.m.	Natris (Na) % s.m.	Cinkas (Zn) mg/kg	Geležis (Fe) mg/kg	Varis (Cu) mg/kg
Vasariniai miežiai sėjomainoje su raudonaisiais dobilais	Netręšta	1,792 a	0,259 ab	0,624 c	0,396 a	0,129 a	0,512 c	27,3 a	43,5 b	5,83 ab
	NPK mineralinės trąšos	2,228 b	0,277 b	0,518 b	0,406 ab	0,140 c	0,443 abc	32,80 b	45,2 b	5,58 ab
	Kompostas Nr. 1 + (50% N min. trąšų)	2,296 bcd	0,246 a	0,418 a	0,560 c	0,138 a	0,370 a	36,62 c	51,3 a	5,69 ab
	Kompostas Nr.2 +Si (50% N min. trąšų)	2,284 bcd	0,280 bcd	0,462 a	0,443 b	0,136 abc	0,394 abc	34,25 bc	47,4 ab	5,87 b
	Kompostas Nr.3 + bioanglis (50% N min. trąšų)	2,356 bcd	0,305 d	0,418 a	0,370 a	0,138 abc	0,386 a	29,25 ab	51,4 a	5,74 ab

Pastaba. Skirtingos raidės parodo esminius skirtumus tarp variantų ($p < 0,05$, Duncan's testas).

2.3.3 Energinis miglinių javų grūdų potencialas tręšiant skirtingais tręšimo produktais

Atliktas miglinių javų grūdų energinio potencialo vertinimas parodė, kad taikant skirtingas tręšimo technologijas skirtinguose augaluose, didesnę energinį potencialą galima pasiekti auginant žieminius javus (žiūrėti 20 lentelę). Žieminių kviečių energinis potencialas gali būti 30 % didesnis nei vasarinių javų, o energijos sąnaudos augalų produkcijos užauginimui priklausomai nuo augalo rūšies ir pasirinkto auginimo intensyvumo gali skirtis iki 15%.

20 lentelė. Miglinių javų grūdų energinio balanso skaičiavimas ir kokybiniai rodikliai, tręšiant skirtingos sudėties komposto granulėmis, 2024 m., Akademija

Auginimo technologija	Variantas	Energijos sąnaudos augalų auginimui, MJ ha ⁻¹	Grūdų energetinis potencialas, MJ ha ⁻¹	Energinio efektyvumo koeficientas	Energinis produktyvumas	Specifinė javų grūdų energija, MJ kg ⁻¹
Žieminiai kviečiai po raudonųjų dobilų	Netręšta	7379	114083 d	15,46 a	0,85	1,18 d
	NPK mineralinės trąšos	16103	126290 a	7,84 b	0,43	2,33 c
	Kompostas Nr. 1 + (100 kg N min. trąšų)	19042	120076 abcd	6,31 c	0,35	2,89 ab
	Kompostas Nr.2 +Si (100 kg N min. trąšų)	19042	118744 abc	6,24 c	0,34	2,92 a
	Kompostas Nr.3 + bioanglis (100 kg N min. trąšų)	19042	120963 abc	6,35 c	0,35	2,87 ab
Vasariniai kviečiai sėjomainoje su raudonaisiais dobilais	Netręšta	7482	58373 c	7,91 a	0,43	2,35 d
	NPK mineralinės trąšos	13406	74576 a	4,63 b	0,25	3,27c
	Kompostas Nr. 1 + (80 kg N min. trąšų)	18345	68672 b	3,61 c	0,20	4,86 a
	Kompostas Nr.2 +Si (80 kg N min. trąšų)	18345	68805 b	3,61 c	0,20	4,86 ab
	Kompostas Nr.3 + bioanglis (80 kg N min. trąšų)	18345	70669 ab	3,71 c	0,20	4,73 ab
Vasariniai kviečiai sėjomainoje po žirnių	Netręšta	7482	52528 d	7,12 a	0,39	2,60 d
	NPK mineralinės trąšos	13406	77312 c	4,80 b	0,32	3,16 c
	Kompostas Nr. 1 + (80 kg azoto mineralinių trąšų)	18345	82121 abc	4,31 c	0,25	4,08 a
	Kompostas Nr.2 +Si (80 kg azoto mineralinių trąšų)	18345	83231 ab	4,37 bc	0,25	4,02 ab
	Kompostas Nr.3 + bioanglis (80 kg N min. trąšų)	18345	86807 a	4,56 bc	0,26	3,85 ab
Vasariniai miežiai sėjomainoje su raudonaisiais dobilais	Netręšta	7174	64950 c	9,05 a	0,49	2,05 d
	NPK mineralinės trąšos	13740	84728 ab	6,17 b	0,64	3,01 c
	Kompostas Nr. 1 + (50% N min. trąšų)	16680	84979 ab	5,09 c	0,64	3,64 a
	Kompostas Nr.2 +Si (50% azoto mineralinių trąšų)	16680	85104 ab	5,10 c	0,64	3,63 ab
	Kompostas Nr.3 + bioanglis (50% N min. trąšų)	16680	86734 a	5,20 c	0,65	3,56 ab

20 lentelės tęsinys

Vasariniai miežiai po žirnių	Netręšta	7174	48280 d	6,73 a	0,32	3,10 d
	NPK mineralinės trąšos	13740	56854 c	4,14 b	0,22	4,60 c
	Kompostas Nr. 1 + (50% N min. trąšų)	16680	63171 abc	3,79 bc	0,20	5,07 a
	Kompostas Nr.2 +Si (50% N min. trąšų)	16680	62494 abc	3,75 bc	0,20	5,05 ab
	Kompostas Nr.3 + bioanglis (50% N min. trąšų)	16680	64073 a	3,84 bc	0,21	4,82 bcd

Pastaba. Skirtingos raidės parodo esminius skirtumus tarp variantų ($p < 0,05$, Duncan's testas).

Eksperto metu gauti skaičiavimų rezultatai parodė, kad didžiausias energinio efektyvumo koeficientas pasiekiamas kontroliniuose (netręštuose) variantuose, nes pakankamai didelę dalį energijos į augalų auginimo procesą įnešame su naudojamomis trąšomis. Lyginant kompostų naudojimą tręšimui ir tręšiant vien tik mineralinėmis trąšomis, pastebėta tendencija, kad dalį trąšų pakeitus kompostu tokių variantų energinio efektyvumo koeficientas sumažėja. Tačiau specifinės energijos skaičiavimai parodė, kad šis vertinimo indeksas didesnis variantuose, kuriuose tręšimui panaudotos komposto granulės.

IŠVADOS

Projekto vykdymo laikotarpiu pasiekti rezultatai leidžia daryti tokias išvalgas:

- Po raudonųjų dobilų priešsėlio ekologiškai augintus žieminius kviečius patręšus kompostu, didžiausias derliaus priedas gautas naudojant minimalią komposto normą, kurioje buvo apie 25 kg ha⁻¹ azoto. Didinat tręšimo kompostu normą, maisto medžiagų esančių komposte, efektyvumas derliaus priedui mažėjo. Maisto medžiagų efektyvumas žieminių kviečių produktyvumui didžiąja dalimi priklauso nuo panaudoto kiekio, tačiau veiksmingumui įtakos turi ir meteorologinės sąlygos vyravusios vegetacijos metu.
- Chlorofilo indekso vertės vegetacijos metu skirtingai tręštuose migliniuose javuose kito panašiomis tendencijomis – didėjo augalui formuojant vegetatyvinę dalį, o pereinant į generatyvinį augimą – mažėjo. Tręšiant skirtingos sudėties kompostais, didesnės chlorofilo indekso vertės gautos variantuose, kuriuose kompostai praturtinti bioanglimi. Mineralinės trąšos daugeliu atveju augalams leido ilgiau išlaikyti stabilesnį chlorofilo indeksą skirtingais augimo tarpsniais. Kompostų praturtinimas siliciu reikšmingesnio efekto neparodė, tačiau bioanglies priedas turėjo teigiamų tendencijų augalų fiziologiniams rodikliams.
- Skirtingo intensyvumo agroekosistemose auginamų miglinių javų produktyvumas skirtingais metais stabilesnis ekstensyvioje sistemoje. Skirtingais tyrimų metais žieminių kviečių, augintų ekstensyviai, produktyvumas siekė 65–69 % tradicinės agroekosistemos, ir 71–77 % tausojančios agroekosistemos produktyvumo lygio. Vasarinių kviečių produktyvumas atitinkamai siekė 56–79 % ir 74–88 %, vasarinių miežių atitinkamai 65–83 % ir 84–89 %. Skirtingais meteorologinių sąlygų atžvilgiu vegetacijos metais skirtingose agroekosistemose auginami raudonieji dobilai išlaiko stabilias produktyvumo tendencijas – aukštesnis derlingumas pasiekiamas juos auginant tradicinėje ir ekstensyvioje sistemoje.
- Panaudoti nedestrukciniai augalų gyvybingumo vertinimo metodai – bepilotė skraidyklė su multispektrine kamera ir nešiojamas NDVI indekso matuoklis leidžia greitai ir efektyviai įvertinti pasėlio augalų būklę. Kompiuteriniai skaičiavimai ir koreliacinė-regresinė analizė parodė, kad stipriausia priklausomybė tarp grūdų derliaus ir vegetatyvinio indekso verčių gauta ankstyvuose augalų augimo tarpsniuose (R^2 0,4–0,5).
- Tręšimui panaudotos skirtingos sudėties komposto granulės didino geležies kiekį vasarinių miežių grūduose. Kompostų naudojimas tręšimui didino kalcio, cinko kiekius tiksluose lauko tyrimuose augintų javų grūduose. Vario kiekiui grūduose panaudoti tręšimo produktai esmingesnio poveikio neturėjo.
- Miglinių javų grūdų energinio potencialo vertinimas parodė, kad taikant skirtingas tręšimo technologijas skirtinguose augaluose, didesnis energinis potencialas pasiekiamas auginant žieminius javus. Žieminių kviečių energinis potencialas gali būti 30 % didesnis nei vasarinių javų (kviečių ir miežių), o energijos sąnaudos augalų produkcijos užauginimui, priklausomai nuo augalo rūšies ir pasirinkto auginimo intensyvumo, gali skirtis iki 15%. Specifinės javų grūdų energijos indekso aukštesnės vertės pasiekiamos variantuose, kur tręšimui kartu naudotos mineralinės trąšos ir komposto granulės. Skirtingo intensyvumo agroekosistemose energinis efektyvumas didesnis žieminiuose javuose lyginant su vasariniais, o tarp skirtingų agroekosistemų jis didėja tokia tvarka: tradicinė <tausojanti <ekstensyvi.

Literatūros sąrašas

- Alluvione F., B. Moretti, D. Sacco, C. Grignani, 2011. EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture, *Energy*, Volume 36, Issue 7
- Bučienė A, Antanaitis Š, Šlepetienė A, Šimanskaitė D, Mašauskas V, Bučas M. (2014). Potassium leaching from Endocalcaric-Endohypogleyic Cambisol as influenced by precipitation rate and crop management. *Zemdirbyste-Agriculture*. 101(1):3–10;
- Campiglia E., R. Mancinelli, E. De Stefanis, S. Pucciarmati, E. Radicetti, The long-term effects of conventional and organic cropping systems, tillage managements and weather conditions on yield and grain quality of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in the Mediterranean environment of Central Italy, *Field Crops Research*, Volume 176, 2015, Pages 34-44, ISSN 0378-4290;
- Challinor A. J., J. Watson , D. B. Lobell , S. M. Howden , D. R. Smith & N. Chhetri (2014). A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation *Nature Climate Change* 4, 287–291
- Clewer A.G., Scarisbrick D. H. 2001. *Practical Statistics and Experimental Design for Plant and Crop Science*. John Wiley & Sons, Ltd. West Sussex, England. 332 p.
- Dardonville M., Urruty, C. Bockstaller, O. Therond, Influence of diversity and intensification level on vulnerability, resilience and robustness of agricultural systems, *Agricultural Systems*, Volume 184, 2020, 102913,
- De Ponti T., Rijk B., inttersum M. 2012. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agriculture systems* 108:1-9
- Degani, E., Leigh, S.G., Barber, H.M., Jones, H.E., Lukac, M., Sutton, P., Potts, S.G., 2019. Crop rotations in a climate change scenario: short-term effects of crop diversity on resilience and ecosystem service provision under drought. *Agric. Ecosyst. Environ.* 285, 106625.
- Demircan V., Kamil Ekinici, Harold M. Keener, Davut Akbolat, Caglar Ekinici, 2006. Energy and economic analysis of sweet cherry production in Turkey: A case study from Isparta province, *Energy Conversion and Management*, Volume 47, 1761-1769
- Dhankher, OP, Foyer, CH. Climate resilient crops for improving global food security and safety. *Plant Cell Environ.* 2018; 41: 877– 884.
- Edmeades D. 2003. The long -term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 66:165-180.
- Eisenhauer N, Milcu A, Sabais ACW, Bessler H, Brenner J, Engels C, et al. (2011) Plant Diversity Surpasses Plant Functional Groups and Plant Productivity as Driver of Soil Biota in the Long Term. *PLoS ONE* 6(1).
- Estendorfer J, Stempfhuber B, Haury P, Vestergaard G, Rillig MC, Joshi J, Schröder P and Schlöter M (2017) The Influence of Land Use Intensity on the Plant-Associated Microbiome of *Dactylis glomerata* L. *Front. Plant Sci.* 8:930. doi: 10.3389/fpls.2017.00930
- Grace L. Miner, Jorge A. Delgado, James A. Ippolito, Jerry J. Johnson, Danica L. Kluth, Catherine E. Stewart, 2022. Wheat grain micronutrients and relationships with yield and protein in the U.S. Central Great Plains, *Field Crops Research*, Volume 279.

Ye L., ir kt., 2020. Biochar effects on crop yields with and without fertilizer: A meta-analysis of field studies using separate controls. *Soil use and management*. 36(1):2-18.

Janušauskaitė D., Auškalnienė O., Pšibišauskienė G. (2009) Chlorophyll index of spring barley foliage and its relationship with the yield in the stands of different densities. *Zemdirbyste-Agriculture*, vol. 96, No. 4, p. 124–138

Kriščiukaitienė I, Srebutėnienė I, Malūnavičienė V. 2014. Mechanizuotų žemės ūkio paslaugų įkainiai. Lithuanian Institute of Agrarian Economics; p. 106.

Lapinskas E., Piaulokaitė – Motuzienė L., 2008. Šiaudų mineralizavimo, azoto trąšų ir inokuliavimo veiksmingumas raudonųjų dobilų simbiotinio azoto fiksacijai. *Žemdirbystė/Agriculture*, t. 95, Nr. 1, p. 40–57

Liang-bing R., Kai-yuan G., Feng-ying D. , Shao-kun L., Ming Z., Jianqiang H., Y. Qiang, 2021. Yield gap and resource utilization efficiency of three major food crops in the world-A review. *Journal of Integrative Agriculture* 2021, 20(2): 349–362

Lobell David B. , Sharon M. Gourdj. 2012. The Influence of Climate Change on Global Crop Productivity *Plant Physiology*, 160 (4) 1686-1697

Luo Y., Melillo J., Niu S., Beier C., Clark J. S., Classen A. T., Davidson e., et al., (2011), Coordinated approaches to quantify long-term ecosystem dynamics in response to global change. *Global Change Biology*, 17: 843–854.

Mobtaker HG, Akram A, Keyhani A. 2012. Energy use and sensitivity analysis of energy inputs for alfalfa production in Iran. *Energ Sustainable Develop* 16: 84–89.

Reckling, M., Ahrends, H., Chen, TW. et al. (2021) Methods of yield stability analysis in long-term field experiments. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 41, 27.

Reidsma, P., F. Ewert, A. O. Lansink, and R. Leemans.2010. Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: The importance of farm level responses. *European Journal of Agronomy*. 32:91-102.

Schmidt H.P., C. Kammann, N. Hagemann, J. Leifeld, T. D. Bucheli, M. A. Sánchez Monedero, M. Luz Cayuela, 2021. Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. *GCB Bioenergy*: Volume 13, Issue 11:1708-1730.

Shi, W., Ju, Y., Bian, R., Li, L., Joseph, S., Mitchell, D. R. G., Munroe, P., Taherymoosavi, S., & Pan, G. (2020). Biochar bound urea boosts plant growth and reduces nitrogen leaching. *Science of the Total Environment*, 701, 134424. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.134424>

Sindelar, A. J., M. R. Schmer, V. L. Jin, B. J. Wienhold, and G. E. Varvel. 2015. Long-Term Corn and Soybean Response to Crop Rotation and Tillage. *Agron. J.* 107:2241-2252. doi:10.2134/agronj15.0085

Smith, F.A., Smith, S.E. What is the significance of the arbuscular mycorrhizal colonisation of many economically important crop plants? *Plant Soil* 348, 63 (2011). <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0865>

Srebutėnienė I., 2017. Mechanizuotų žemės ūkio paslaugų įkainiai [elektroninis išteklius]. D. 1, Pagrindinio žemės dirbimo darbai: Lietuvos agrarinės ekonomikos institutas, 102 p

Šarauskis E., Buragienė, Masilionytė L, Romanekas K, Avižienytė D, Saklauskas A. 2014. Energy balance, costs and CO₂ analysis of tillage technologies in maize cultivation. *Energy* 69: 227–235.

Šarauskis, E.; Naujokienė, V.; Lekavičienė, K.; Kriaučiūnienė, Z.; Jotautienė, E.; Jasinskas, A.; Zinkevičienė, R. Application of Granular and Non-Granular Organic Fertilizers in Terms of Energy, Environmental and Economic Efficiency. *Sustainability* 2021, 13, 9740.

Tilman D., Reich p., Isbell F. 2012. Biodiversity impacts ecosystems productivity as much as resources, disturbance, or Herbivory. *PNAS*:109(26):10394-10397

Urruty, N., Tailliez-Lefebvre, D. & Huyghe, C. (2016) Stability, robustness, vulnerability and resilience of agricultural systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 15.

Van Eerd L. L., Congreves K., Hayes A., Verhallen A., and C. Hooker D. 2014. Long-term tillage and crop rotation effects on soil quality, organic carbon, and total nitrogen *Canadian Journal of Soil Science*. 94(3):303-315

West TO, Marland G. 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agr Ecosyst Environ* 91: 217–232.

World bank. <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.AGRI>.

Wrobel B., Zielewicz W., 2019. Nutrition value of red Clover (*Trifolium pratense* L.) and Birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) harvested in different maturity stages. 21 ROL-EKO Konferencija, Poznań, 2019.

Projekto rezultatų sklaida

Mokslinės publikacijos

Castaldi F., Koparan M. H., Wetterlind J., Žydelis R., Vinci I., Savaş A. Ö., Kivrak C., Tunçay T., Volungevičius J., Obber S., Ragazzi F., Malo D., Vaudour E. 2023. Assessing the capability of Sentinel-2 time-series to estimate soil organic carbon and clay content at local scale in croplands. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 199: 40–60. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.03.016>

Kavaliauskas A., Žydelis R., Castaldi F., Auškalnienė O., Povilaitis V. 2023. Predicting maize theoretical methane yield in combination with ground and UAV remote data using machine learning. Plants, 12 (9): 1823. <https://doi.org/10.3390/plants12091823>

Interneto tinklapiai

<https://www.suscrop.eu/funded-projects/3rd-call/connectfarms>

https://www.lammc.lt/data/public/uploads/2023/03/connectfarms-projektas_vp.pdf

Mokslo populiarinimo leidiniai

Povilaitis V., Žydelis R. Aplinkos veiksnių įtaka augalų produktyvumui. Mano ūkis, 2023/liepa, 22- 25 p.

Povilaitis V., Žydelis R., Bakšienė E. Ar verta lengvuose dirvožemiuose javus tręšti seleno ir siliciu? Mano ūkis, 2024/birželis.

Konferencijos, seminarai:

2024 m. gegužės 28 d., LAMMC Žemdirbystės institutas, konferencija – lauko diena, pranešimas „Įvairių tręšimo technologijų efektyvumas migliniuose javuose“, ir projekto bandymų pristatymas.

2024 m. birželio 20 d. seminaras „Skirtingų tręšimo produktų panaudojimo galimybės ir efektyvumas migliniuose javuose“ parodoje „Agrovizija“,

2023 lapkričio 13 d., LAMMC nuotolinis seminaras, pranešimas „Naujų technologijų ir žiedinės bioekonomikos principai tvariam ūkininkavimui skirtingose agroekosistemose“.

Improving circularity in Agroecosystems – the ConnectFarms research project. E. Maestri, P. Pesaresi, S. Shilev, V. Povilaitis, R. Žydelis, M. Guarino, V. Terzi, S. Tomasiello, E. Loit, R. Millan, T. Schmid, A. Garcia, W. Szulc, B. Rutkowska, M. Avci, M. Caldara, M. Marmiroli, N. Marmiroli. EUBCE 2023, 5-9 June, Bologna, Italy.

SUDERINTA:

(Tyrimų priežiūros komisijos pirmininkas)

(Vardas, Pavardė)

(Data)

Priedai

Seminaro parodoje „Agrovizija 2024“stendinis pranešimas



Skirtingų tręšimo produktų panaudojimo galimybės ir efektyvumas migliniuose javuose

dr. Virmantas Povilaitis, dr. Renaldas Žydelis, dr. Jurgita Cesevičienė, dr. Šarūnas Antanaitis

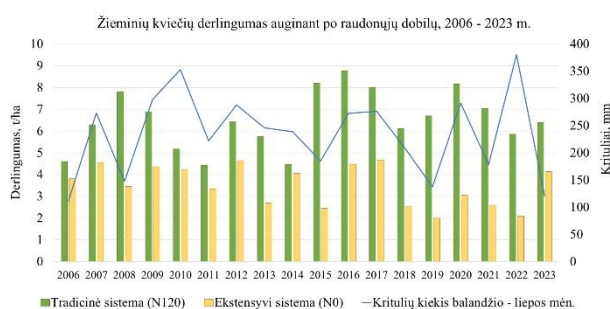
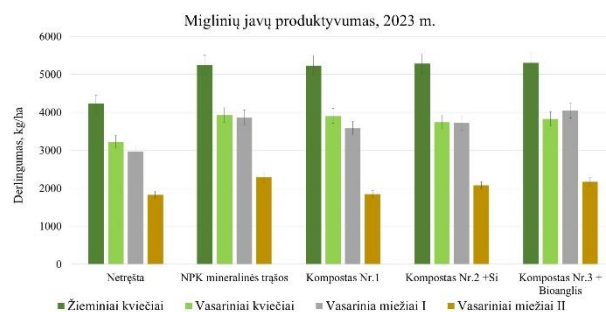


Vykdomas tarptautinis projektas „Naujų technologijų ir žiedinės bioekonomikos principai tvariam ūkininkavimui skirtingose agroekosistemose“ (ConnectFarms) yra daugialypis, jame bendradarbiauja skirtingų Europos šalių mokslininkai, siekiantys apjungti turimas kompetencijas ir patirtis vykdant tyrimus skirtinguose Europos agroekosistemose regionuose, su esančiomis skirtingomis ūkininkavimo sąlygomis, taikant įvairias technologijas. Projektas vykdomas nuo 2022 m. 7-iose Europos valstybėse – Estijoje, Lietuvoje, Lenkijoje, Bulgarijoje, Italijoje, Ispanijoje ir Turkijoje.

Lietuvoje tikslieji lauko eksperimentai žieminių ir vasarinių kviečių bei vasarinių miežių pasėliuose vykdomi LAMMC Žemdirbystės institute. Tręšimo eksperimentai atliekami su skirtingais organinių atliekų kompostais, kurie paruošti naudojant skirtingų augalų šiaudus (rugių /avižių), grybų auginimo substratą, paukščių mėšlą, dramblių šiaudus, bioanglį.



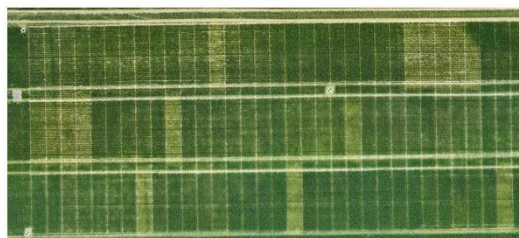
Komposto granulės



Naudojant skirtingas tręšimo azoto trąšomis normas ne visuomet pavyksta pasiekti akivaizdžių rezultatų. Pastarųjų kelerių metų rezultatai parodė, kad dažniausiai dėl drėgmės stygiaus, žieminiuose kviečiuose tręšimui sunaudojant 80 % numatytos azoto trąšų normos, derlingumas būna panašaus lygio kaip ir naudojant 100 % apskaičiuotos normos.

2023 m. atlikti tikslieji lauko eksperimentai žieminių ir vasarinių kviečių bei vasarinių miežių pasėliuose taikant skirtingus tręšimo derinius – tręšiant vien tik mineralinėmis trąšomis, derinant skirtingus organinius kompostus ir mineralines trąšas, bei taikant kontrolinį variantą (be tręšimo). Derinant mineralines trąšas ir kompostus galima pasiekti panašų derlingumo lygį, kaip ir variantuose, kuriuose naudotos vien tik mineralinės trąšos. Bioanglimi praturtintas kompostas turi teigiamą tendenciją augalų produktyvumui, tačiau bioanglis yra sąlyginai brangus komposto priedas.

Ilgalaikiai derlingumo stebėjimai parodė, kad taikant vienodą auginimo technologiją sėjomainos grandyje: raudonieji dobilai – žieminiai kviečiai, javų produktyvumas priklauso ne tik nuo pasirinkto tręšimo intensyvumo, bet ir nuo meteorologinių sąlygų vegetacijos metu. Pastebėta tendencija, kad esant drėgnesniems metams, intensyviau plinta augalų ligos, kurios labai mažina ekologiškai (ekstensyviai) auginamų javų produktyvumą.



Skirtingų azoto trąšų ir jų normų veiksmingumas žieminiuose kviečiuose 2024 m. gegužės mėn.



LIETUVOS RESPUBLIKOS
ŽEMĖS ŪKIO MINISTERIJA

AUGALININKYSTĖ



Aplinkos veiksnių įtaka augalų produktyvumui

Žemės ūkio augalų produktyvumą ir derliaus kokybę lemia aplinkos veiksniai, dirvožemis ir auginimo technologijos. Į tai būtina atkreipti dėmesį, renkant ūkio strategiją ir siekiant rentabilaus derlingumo.

Kalbant apie augalų augimą ir jų produktyvumo potencialo realizavimą, aplinkos veiksniai gali būti abiotiniai ir biotiniai.

Abiotiniams veiksniams galima priskirti dirvožemio savybes (pH, fizikines, chemines ir biologines savybes), klimato sąlygas (sausas, šaltas, potvynius, karščio bangas, vėjus ir kt.).

Biotiniai veiksniai – visi gyvų organizmų, egzistuojančių ekosistemoje, tarpusavio ryšiai. Biotiniams veiksniams galima priskirti augalams naudingus vabzdžius – apdulkintojus ir natūralius augalų kenkėjų priešus (klasikinės pavyzdys: boružių lervos naikina amarų). Piktžolės ir fitopatogenai labiausiai žinomi ir

matomi dėl akivaizdžius poveikio augalų produktyvumui, o klimato kaitos procesai dar labiau sustiprina jų poveikį.

Abiejų rūšių veiksniai gali būti naudingi augalų produktyvumui, tačiau tik iki tam tikros ribos, kurią peržengus jų poveikis tampa žalingas.

Dirvožemio įtaka

Ko reikia, kad žemės ūkis klestėtų? Daugelis atsakys, kad gerų orų ir gero dirvožemio. Šiuolaikinės technologijos leidžia augalus auginti be dirvožemio – naudojant hidroponiką, tačiau ne visada ir ne visus augalus galima taip auginti ir ne visada tai ekonomiškai tikslinga. Nors mūsų šalis nedidelė, tačiau dirvožemiai labai įvairūs, o

Remiantis Oficialios statistikos portalo duomenimis, 2022 metais Lietuvoje grūdiniai augalai (javai, ankštiniai augalai) auginti daugiau kaip 1,47 mln. rapsai – 0,35 mln. ha plote.

tai lemia ne tik augalų produktyvumą, bet ir skirtingas galimybes rentabiliai auginti vienus ar kitas žemės ūkio augalus.

Dirvožemį galima suskirstyti į kietąją, skystąją (dirvožemio tirpalas), dujinę ir gyvąją (dirvožemyje esantys mikroorganizmai) fazes. Akivaizdžiausia yra kietoji dirvožemio fazė, kurią sudaro mineralinės ir organinės medžiagos.

Dirvožemyje nuolat vyksta dirvos daro procesai, kurie iš karto keičia jo savybes, o stiprėjanti klimato kaita, antropogeninė veikla daugelį procesų paspartina, ir dažnai – ne į teigiamą pusę. Visiems geriausiai

žinomi tokie dirvožemio rodikliai, kaip pH reakcija, organinės medžiagos kiekis, granulometrinė sudėtis, kurių skirtingos vertės sudaro nevienodas augalų augimo sąlygas ir galimybes jiems pasiimti maisto medžiagas iš dirvožemio.

Dažniausiai kalbama apie žemą dirvožemio pH rodiklį (rūgštus dirvožemius), kurį galima pakoreguoti ir paversti augalams palankesniu kalkinant dirvas. Sumažinus dirvožemio rūgštumą, augalai gali efektyviau panaudoti maisto medžiagas, esančias jame ir gautas su trąšomis.

Taip pat svarbus ir dirvožemio turtingumas organinių medžiagų, kurių didžiąją dalį sudaro humusas. Jis yra svarbus mikroorganizmų ir augalų maisto šaltinis, pagerina dirvožemio struktūrą, mažina maisto medžiagų išsiplovimą. Kad būtų išlaikytas stabilus organinių medžiagų kiekis dirvožemyje, būtina tręšti jomis: mėšlu, kompostais, taip pat auginti tarpinius pasėlius, daugiamečių žolės ir taikyti tinkamą agrotechniką.

Vandens svarba

Be dirvožemio, augalams svarbus aplinkos veiksniai yra šviesa, temperatūra, vanduo (drėgmė) ir mityba. Jei kuris nors aplinkos veiksnys nutolsta nuo optima-

laus palankumo ribos, jis tampa vienu iš augalų produktyvumą ribojančių veiksnių.

Lietuva yra vidutinių platumų klimato zonoje, kurioje jūrinis klimatas laipsniškai pereina į žemyninį. Net ir dėl nedidelių geomorfologinių Lietuvos regionų skirtumų susidaro nevienodos klimato sąlygos, kurios dažnai lemia augalų produktyvumo potencialo išnaudojimą.

Pagrindinis drėgmės šaltinis yra krituliai, kurių pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje taip pat nevienodas: jų daugiausia iškrenta Pajūrio ir Žemaitijos zonoje, mažiausiai – Vidurio Lietuvoje. Vanduo svarbus nuo pat dirvos paruošimo, sėklos sudygimo iki derliaus subrandinimo. Vanduo gali sudaryti 80–90 proc. augalų žalosios masės. Augaluose vanduo svarbus turgoro slėgiui ląstelėse: jis palaiko augalų struktūrą (lapus, šaknis), atveria ir užveria lapų žioteles. Kai stinga vandens ir mažėja augalo ląstelių turgoras, augalas ima vysti.

Be vandens nevykty fotosintezės procesas, per kurį naudojant saulės energiją iš vandens (H_2O) ir anglies dioksido (CO_2) sukuriama augalui reikalingi angliavandeniai, o į aplinką išskiriamas deguonis (O_2).

Vanduo, esantis dirvožemyje, tirpdo mineralinius ir organinius junginius, todėl augalai gali absorbuoti maisto medžiagas iš dirvožemio. Augaluose vanduo išnešioja per fotosintezę susintetintus junginius. Vandens reikia ir transpiracijos procesui, kai pro atvertas lapų žioteles išgarinama drėgmė – tai augalo vėsinimosi mechanizmas, saugantis nuo perkaitimo. Drėgmės stygius kritiniais augalo augimo tarpsniais, kai formuojami produktyvumo elementai (stiebai krūmijimosi tarpsniais, žiedynai), formuojami ir užpildomi grūdai, gali neigiamai paveikti šiuos procesus ir lemti mažesnę derlingumą.

Drėgmės perteklius gali sukelti pasėlių užmirkimą, nes sutrinka oro apykaita dirvožemyje, o tai neigiamai veikia augalo šaknų sistemą ir patį augalą. Ilgesnis užmirkimas gali sumažinti pasėlių produktyvumą arba net visai pražudyti augalus.

Pakankamas drėgmės kiekis augalams svarbus ir per žydėjimą. Moksliniuose straipsniuose pažymima, kad lietus per augalų žydėjimą sumažina jų derlingumą – augalai prasciau apsidulkina (vėjo apdulkinamų augalų atveju) arba dėl mažesnio vabzdžių aktyvumo prasciau apdulkinami (augalų, kuriuos apdulkina vabzdžiai atveju). Lietingais metais susidaro palankesnės sąlygos augalų

Article

Predicting Maize Theoretical Methane Yield in Combination with Ground and UAV Remote Data Using Machine Learning

Ardas Kavaliauskas ¹, Renaldas Žydelis ^{1,*} , Fabio Castaldi ² , Ona Auškalnienė ¹ and Virmantas Povilaitis ¹

¹ Institute of Agriculture, Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Instituto Ave. 1, 58344 Akademija, Lithuania

² Institute of BioEconomy, National Research Council of Italy (CNR), Via Giovanni Caproni 8, 50145 Firenze, Italy

* Correspondence: renaldas.zydelis@lammc.lt

Abstract: The accurate, timely, and non-destructive estimation of maize total-above ground biomass (TAB) and theoretical biochemical methane potential (TBMP) under different phenological stages is a substantial part of agricultural remote sensing. The assimilation of UAV and machine learning (ML) data may be successfully applied in predicting maize TAB and TBMP; however, in the Nordic-Baltic region, these technologies are not fully exploited. Therefore, in this study, during the maize growing period, we tracked unmanned aerial vehicle (UAV) based multispectral bands (blue, red, green, red edge, and infrared) at the main phenological stages. In the next step, we calculated UAV-based vegetation indices, which were combined with field measurements and different ML models, including generalized linear, random forest, as well as support vector machines. The results showed that the best ML predictions were obtained during the maize blister (R2)–Dough (R4) growth period when the prediction models managed to explain 88–95% of TAB and 88–97% TBMP variation. However, for the practical usage of farmers, the earliest suitable timing for adequate TAB and TBMP prediction in the Nordic-Baltic area is stage V7–V10. We conclude that UAV techniques in combination with ML models were successfully applied for maize TAB and TBMP estimation, but similar research should be continued for further improvements.

Keywords: maize growth stages; multispectral image; phenology; remote sensing; vegetation indices



Citation: Kavaliauskas, A.; Žydelis, R.; Castaldi, F.; Auškalnienė, O.; Povilaitis, V. Predicting Maize Theoretical Methane Yield in Combination with Ground and UAV Remote Data Using Machine Learning. *Plants* **2023**, *12*, 1823. <https://doi.org/10.3390/plants12091823>

Academic Editor: Georgios Koubouris

Received: 25 February 2023

Revised: 26 April 2023

Accepted: 26 April 2023

Published: 28 April 2023



Copyright: © 2023 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

The growth of the global human population, being one of the major challenges for humanity, encourages and increases energy demand at the household, smallholder, and industrial scales. Anaerobic digestion of organic materials has been developed for more than 100 years and currently has great potential in contributing to sustainable energy production [1]. During the anaerobic process, it is possible to convert fermentable biomass, including the organic fraction of municipal solid waste, food waste, green wastes, aquatic biomass, and crops [2], into a multipurpose fuel (CH₄) and fertilizers that can be used in crop management systems while also being an effective way to reduce greenhouse gas emissions, as compared to traditional fossil fuels [3,4].

A study of digestion [5] highlighted that among the variety of substrates suitable for anaerobic digestion, agricultural crops are rather widely investigated. The most suitable crops are those that offer a high, dry biomass yield at a low cost, require low nutrient and energy inputs, and do not decrease biodiversity. Among them, maize can be identified as one of the most popular plants among energy crops. What is more, maize is a highly productive crop that can be cultivated in a wide range of climatic conditions, including in northern latitude regions [6]. Also, due to the high maize biomass yield potential, methane production varies from 7500 to 10,200 m³ ha^{−1}, i.e., an amount that no other crop has achieved so far [7].

Biomethane potential (B_{POT}) assay has been recognized as a simple and reliable method to determine the biogas yield of organic substrates [8]. Currently, there are theoretical approaches offered to estimate theoretical biochemical methane potential (TBMP). For example, TBMP can be calculated after determining crop organic composition (lipids, protein, carbohydrates, and lignin content in materials) and gaining dry biomass yield data [9]. Despite the simplicity of TBMP assay, such calculations may continue for up to 2 months, and that is expensive and time-consuming. Moreover, agronomic field-based measurements, such as crop biomass collection, are often restricted by external conditions (e.g., rain events) and confined to a short period. Moreover, field measurements are usually performed only at fixed locations so sampling does not capture the spatial variability of the analyzed indicator. Therefore, innovative techniques for predicting TBMP, such as remote sensing (RS), are of great importance to reducing the cost and increasing the mapping area. Indeed, UAV platforms and related sensor technologies are part of a fast-evolving sector that is widely utilized in precision agriculture and farming. One of the most important advantages of RS is that it provides the possibility to survey large areas in a non-invasive and non-destructive way. Focusing on crop biomass and TBMP, remote sensing may provide information on plant biophysical and biochemical parameters. Therefore, alterations in biomass and TBMP caused by management and environmental factors can be detected remotely by exploiting the spectral signature of the canopies. Recently, RS technologies gained popularity among different disciplines. For example, UAVs are now widely used in precision agriculture in order to detect or monitor the biophysical and biochemical plant parameters. UAV spectral data are used to calculate vegetation indices (VIs) linked to crop parameters [10], and this correlation can be exploited to obtain prediction maps through statistical and machine learning (ML) models. Most recent studies have shown that UAV-based models are well suited for monitoring the maize biomass [11], maize nitrogen status [12], and SPAD values of maize [13], which is directly related to plant protein and oil content [14]. All the previously mentioned maize indicators are used for the estimation of TBMP; therefore, UAV techniques could be potentially used for a cheap and rapid maize yield and TBMP mapping of field experiments or even larger areas.

Recently, more research has been done on UAVs combined with ML algorithms. Due to their great computing efficiency, minimal number of required variables, and accurate findings, ML techniques have emerged as a fundamental and efficient method for modeling and extracting patterns from remote sensing data [15]. One of the advantages of ML techniques (e.g., random forest, support vector regression) is that they are usually better at handling high-dimensional data and non-linear relationships compared to traditional regression models [16]. In recent years, due to the wide use of ML techniques in agriculture, many studies dedicated to yield prediction [17], water management [18], crop recognition [19], and weed detection [20] have been carried out. When summarising these studies, it can be said that ML may not provide a universal solution for precision farming, but it enables a better determination of the analyzed indicators with minimum human intervention. In addition, the integration of UAV and ML methods increases the possibility to obtain more accurate predictions (e.g., biomass) [10]. It is clear that the assimilation of UAV and ML data may be successfully applied in agriculture; however, to the best of our knowledge, in the northern region these technologies are not fully exploited to predict theoretical biomethane potential; thus, there are only a few research-based assessments. Another issue related to UAV observation is timing, as maize's growth and development stages are rapid, and therefore it is essential to reduce the cost of UAV campaigns; although, they are already much cheaper and faster than the direct estimation of TBMP. Usually, during UAV-based crop monitoring studies, there are one to four UAV flights performed per growing season when high-frequency UAV datasets for maize biomass and TBMP are not sufficiently analyzed.

A study conducted by Amon et al. [21] suggested that the amount of methane that can be produced from one hectare of land greatly depends on the maize's dry matter accumulation. The common view is that the key factor influencing methane hectare

output is the crop's dry matter yield. The dynamic variations in maize's chemical composition throughout different maturity classes and their meaning for methane output, as well as the impact of harvest time for methane output, have been well studied. For instance, Amon et al. researcher's study [21] determined that the highest methane yields of 7500–10,200 m³/ha^{−1} were achieved via maize cultivars with a high FAO number, which starts from 300 (late variety) at harvest at the R3-Milk stage. A study in Denmark [21] highlighted remarkable differences in the harvest time and the impact of cultivars on methane yield. They also established that the highest methane yield was obtained at late harvest. Another study in Germany [22] found that when growing maize for methane production, late maize cultivars had a lower concentration of fat and protein, but a higher concentration of ash and lignin, as compared with medium and early maize hybrids. It was established that despite substantially different nutrient concentrations between the maize cultivars, no clear-cut association existed between chemical composition and specific methane yield.

Therefore, the objectives of our study were: (i) to track UAV-based multispectral bands at the main phenological stages of maize, and based on these remote data, establish the correlation between VIs, TAB, and TBMP; (ii) to estimate maize total above-ground biomass and theoretical biochemical methane potential yield, combining UAV techniques with ML methods; and (iii) identify the maize phenological stage during which total-above ground biomass (TAB) and theoretical biochemical methane potential (TBMP) predictions are the most specific.

2. Results

2.1. Environmental Conditions and Maize Growth

The weather conditions during the maize growing season in 2021 were warm with optimal rainfall conditions, but there was a distinct contrast between different months, both in temperature and rainfall regime (Table 1).

Table 1. Ten-day period weather conditions per maize vegetative (V) and reproductive (R) development stages in 2021. Maize growth and development stages: V5—Fifth leaf, V7—Seventh leaf, V10—Tenth leaf, VT—tasseling, R1—Silking, R2—Blister, R3—Milk, R4—Dough, R5—Dent, R6—Physiological maturity.

Month	May			June			July			August			September			October		
Day of month	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
Maize development						V5	V7	V10	VT	R1/R2	R3		R4		R5	R6		
Mean air temperature, °C	15.9	13.3	13.1	18.1	18.6	22.2	23.2	24.3	21.1	17.3	17.1	14.6	13.4	11.9	9.6	9.3	6.8	8.0
Minimum air temperature, °C	0.4	7.1	5.9	8.4	7.8	13.1	15.0	12.7	12.2	9.5	10.7	6.9	8.2	3.7	1.8	−2.7	−0.5	−0.3
Maximum air temperature, °C	23.8	25.6	20.9	26.2	31.3	32.1	33.0	35.0	32.2	26.3	27.3	22.2	19.6	26.7	18.2	17.1	13.8	15.3
Mean soil temperature at 15 cm, °C	8.2	13.9	12.9	18.8	20.4	23.6	23.7	25.1	23.5	19.5	17.7	15.9	13.9	13.5	10.5	9.9	7.6	7.7
Precipitation, mm	33.1	33.2	34.6	2.4	5.5	22.2	9.1	5.9	6.1	31.8	63.1	55.9	1.3	15.6	11.3	4.3	9.8	20.9
Standardized precipitation index	1.78 (Very wet)			−1.01 (Moderately dry)			−1.28 (Moderately dry)			1.71 (Very wet)			−0.61 (Near normal)			−0.21 (Near normal)		
Mean relative humidity, %	69	71	72	61	67	73	68	65	62	79	79	83	73	81	83	72	85	84
Sunshine, hour/day	7.6	7.4	7.9	11.8	12.5	10.7	10.9	10.6	11.0	5.7	5.1	4.7	8.9	3.5	3.7	7.3	3.4	4.7

During the 2021 maize sowing harvest, the mean air temperature was 17.3 °C, which was 1.5 °C above the 1991–2020 historical average. During the maize vegetative period (VE–VT), the average air temperature was 20.2 °C, which was 3.0 °C higher than the 1991–2020 historical average; however, during the reproductive period (R1–R6), the average temperature was lower compared to the vegetative period and reached 14.5 °C, which was equal to the historical average during the 1991–2020 range. The year 2021, in terms of rainfall regime, was near optimal during the entire maize growing season, and

the sum of precipitation was 234.5 mm (86.2% of precipitation compared to the climate normal between 1991 and 2020). During the entire maize growing season, the number of days with heavy precipitation (above 10 mm) was 6 days. Despite the fact that the cumulative rainfall (234.5 mm) during the entire maize growing season was near optimal compared to the long-term average, contrasting differences were observed between the vegetative and reproductive development stages. For instance, during the maize vegetative development stage, the rainfall was 45.6 mm, which was only 41.1% of the precipitation norm between 1990 and 2020. According to the calculated SPI index, the maize vegetative development stage may be attributed to a moderately dry period. In contrast, a significantly higher amount of precipitation occurred during the maize reproductive development stage—188.9 mm, which was 117.3% of the precipitation norm between 1990 and 2020. According to the calculated standardized precipitation index (SPI), the maize reproductive development stage may be attributed to relatively normal conditions.

Due to different maize hybrids, total above-ground biomass (TAB) varied from 9.70 t/ha⁻¹ to 15.00 t/ha⁻¹ (dry weight). ANOVA analysis indicated the significant ($p < 0.05$) effect of maize cultivars on TAB variation in 2021. According to the received TAB yield, maize hybrids may be grouped as follow: DKC3201 $\approx$ DKC2684 $\approx$ DKC2891 (TAB: 13.3–15.0 t ha⁻¹) > DKC2978 $\approx$ DKC3079 $\approx$ DKC3204 (TAB: 12.4–12.6 t ha⁻¹) > DKC3218 (TAB: 9.7 t ha⁻¹).

2.2. Chemical Composition of Maize Samples

At maize physiological maturity, protein concentration in the TAB yield ranged from 6.6% to 8.0% [Table 2].

Table 2. Chemical composition of different maize samples used in this study.

Hybrid	Proteins, %	Lipids, %	Structural Carbohydrates, %			Non-Structural Carbohydrates, %	Total Carbohydrates, %	Ash, %
			Cellulose	Hemicellulose	Lignin			
DKC2684	7.56 bac	2.84 a	10.82 a	15.78 a	6.41 a	43.58 a	76.58 ba	4.38 b
DKC2891	6.89 bc	2.53 a	11.73 a	16.30 a	6.95 a	42.83 a	77.80 a	4.46 b
DKC3079	7.05 bac	2.65 a	11.49 a	16.78 a	6.81 a	42.78 a	77.85 a	4.73 b
DKC3201	6.59 c	2.53 a	13.30 a	15.78 a	7.88 a	38.56 a	75.51 ba	4.78 b
DKC2978	7.64 ba	2.90 a	10.86 a	15.90 a	6.44 a	42.17 a	75.37 ba	4.74 b
DKC3204	6.76 bc	2.68 a	11.05 a	16.10 a	6.55 a	43.53 a	77.23 a	4.55 b
DKC3218	8.00 a	3.04 a	13.20 a	16.73 a	7.82 a	35.12 a	72.87	5.71 a

Note. Different combinations of letters indicate significantly different means ($p < 0.05$, Tukey's test).

Performed statistical analysis indicated significant ($p < 0.05$) differences between the cultivar treatments. It has been observed that a statistically significant protein concentration was higher in the earlier maturity cultivars, i.e., DKC3218 (FAO190)—8.0% and DKC2978 (FAO190)—7.64%. Slightly lower protein concentration values were determined in the intermediate-maturity maize cultivars: DKC2684—7.56%, DKC3079—7.05%. In the remaining treatments of longer vegetation cultivars, protein concentration was below 7.0%. In all experimental treatments, lipid concentration varied within the range of 2.53–3.04%. Lipid variation was similar to protein concentration, i.e., higher lipids values were determined in earlier maturity cultivars (FAO190); however, these differences were not significant. Structural carbohydrates in the maize TAB yield varied within a rather narrow range, for instance, cellulose varied from 10.82 to 13.30%, hemicellulose from 15.78 to 16.78%, and lignin from 6.41 to 7.88%; these differences between treatments were not significant. Non-structural carbohydrates at the harvest ranged from 35.12 to 43.58%, and these differences were not significant either. However, when analyzing the total amount of carbohydrates in maize TAB, there were significant differences ($p < 0.05$) between different cultivars, and the order of treatments was as follows: DKC3079 $\approx$ DKC2891 $\approx$ DKC3204 > DKC2684 $\approx$ DKC3201 $\approx$ DKC2978 > DKC3218. It was also determined that cultivars of different maturities did not have a significant effect on the ash concentration in maize TAB.

2.3. Maize Yield Prediction Accuracy Using UAV-Based Multispectral Data

The generalized linear model (GLM), a support vector machine (SVM), and random forest (RF) models were tested regarding maize TAB estimation. Figure 1 refers to the highest performing model in terms of RMSE for each growth stage.

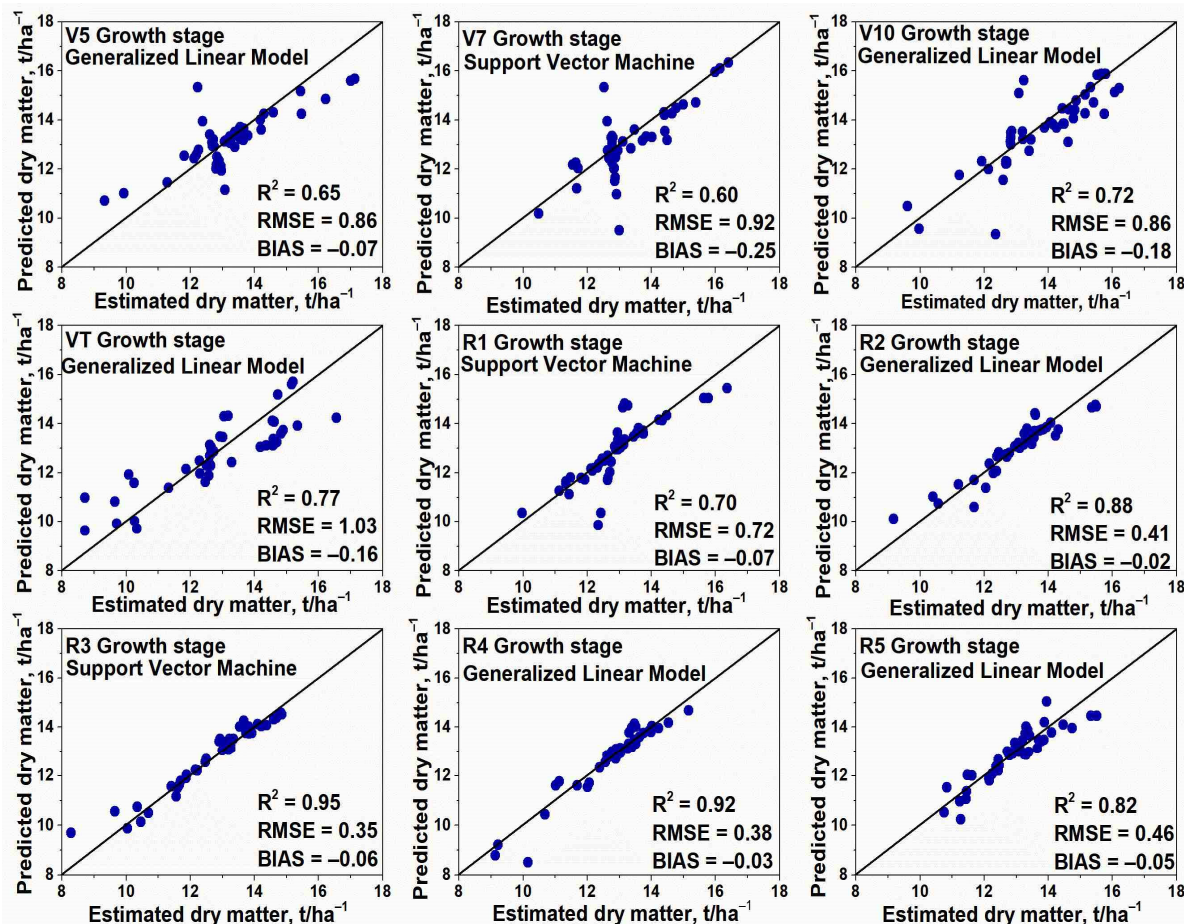


Figure 1. Statistical values between predicted vs. estimated total above-ground biomass (TAB) data for rainfed maize at Akademija.

When comparing the main maize growth and development periods, i.e., vegetative (from VE-Emergence to VT-tasseling) and reproductive (from R1-Silking to R6-physiological maturity), it can be stated that slightly better TAB prediction results were obtained during the reproductive period. At the beginning of the maize vegetative period, i.e., during the leaf formation from stage V5 to V7, statistical parameters indicated a generally good level of agreement between the observed and predicted TAB with R^2 , which varied in the range of 0.60–0.65 ($p < 0.01$); RMSE, which varied in the range of 0.86–0.92 $t\ ha^{-1}$; and BIAS, which varied from -0.07 to -0.25. During later vegetative periods, i.e., at the end of the leaf development (V10) and tasseling (VT), TAB prediction results have shown a better level of agreement with R^2 0.72–0.77 ($p < 0.01$), RMSE 0.86–1.03 $t\ ha^{-1}$, and BIAS -0.16 to -0.18. During the first maize growing season, the best TAB prediction results were demonstrated by GLM; however, the results of SVM and RF models were very similar while the differences in TAB prediction results between the different models did not exceed 9.1%, which indicates that the maize growth and development stage have a significantly greater impact on the prediction results than the selected model. During the maize reproductive stages, the model's prediction capability consistently increased from stage R1 to R3, when the best TAB prediction results were achieved over the entire maize growing season. Then, at the R3 stage, high R^2 —0.95 ($p < 0.01$), small

RMSE— 0.35 t ha^{-1} , and BIAS close to zero, i.e., -0.06 , indicated perfect prediction results. During maize growth stage R4, TAB prediction results were slightly worse compared to R3; meanwhile, at stage R5, TAB prediction results were significantly worse than R3 or R4. During the second maize growing season, the best TAB prediction results had been determined using GLM and SVM models; however, the results of the RF model were also rather similar, and the difference between the best and the worst model in a specific maize growing period was no higher than 5.4%.

2.4. Maize Theoretical Biochemical Methane Potential Prediction Accuracy Using UAV-Based Multispectral Data

The performance results of the highest performing model in predicting maize TBMP values among GLM, SVM, and RF are shown in Figure 2 at nine growth and development stages.

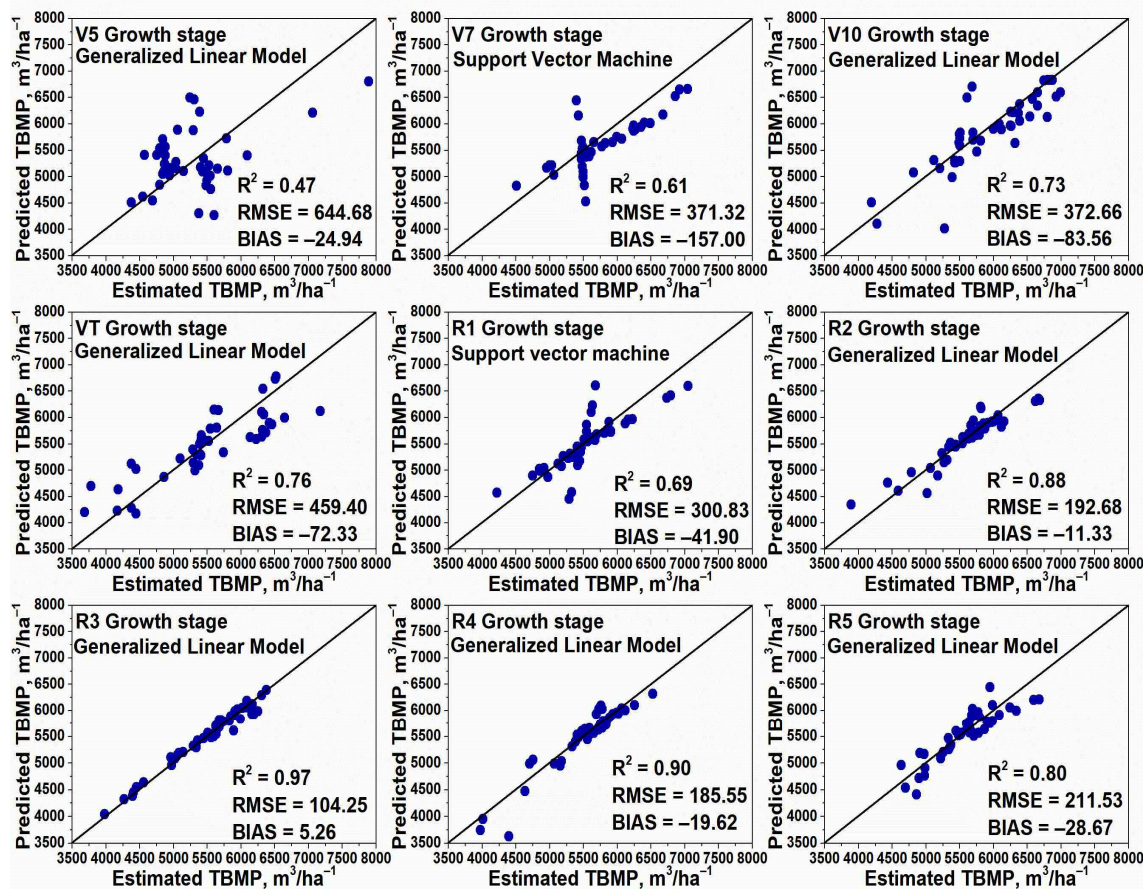


Figure 2. Statistical values between predicted vs. estimated theoretical biochemical methane potential (TBMP) data for rainfed maize at Akademija.

The same trend discovered regarding TAB was found regarding the TBMP prediction, i.e., better TBMP prediction results were obtained during the maize reproductive period, compared to the vegetative period. Statistical analysis obviously demonstrated that it is extremely important to choose a suitable prediction period for both maize TAB and TBMP predictions. Among four maize growth and development stages in the vegetative period, the best TBMP prediction performance was determined to be during stages V10 and VT when R^2 , varied in the range of 0.73–0.76 ($p < 0.01$); RMSE, varied in the range of 372.7–459.4 $\text{m}^3 \text{ t ha}^{-1}$; and BIAS values, varied in the range of -72.3 to -83.6 , have shown a small TBMP underestimation. Meanwhile, at maize stages V5 and V7, statistical results were only reasonably good, with R^2 0.47–0.61 ($p < 0.01$), RMSE 371.3–644.7 $\text{m}^3 \text{ t ha}^{-1}$, and BIAS -24.9 to -157 . During the maize reproductive period, the statistical accuracy between predicted and observed TBMP values was the highest during growth stage R3;

while R^2 was high—0.97, RMSE was rather low—104.3 $\text{m}^3 \text{t ha}^{-1}$, and BIAS was close to zero, i.e., 5.3. Slightly worse results when predicting TBMP values were received at maize stages R2 and R4, when R2 slightly varied from 0.88 to 0.90, while RMSE varied from 185.6 to 192.7 $\text{m}^3 \text{t ha}^{-1}$, and BIAS varied from −11.3 to −19.6. Having compared the models used in this study, it can be stated that GLM was the most accurate model for maize TBMP prediction; however, SVM and RF models have shown slightly poorer results, meaning they can also be used for maize TBMP prediction.

2.5. Variable Importance (VI) Analysis

2.5.1. Maize Yield

The average weights of an attribute of each calculated VI for the maize TAB, at different growth and development stages, are shown in Figure 3, according to the models shown in Figure 1.

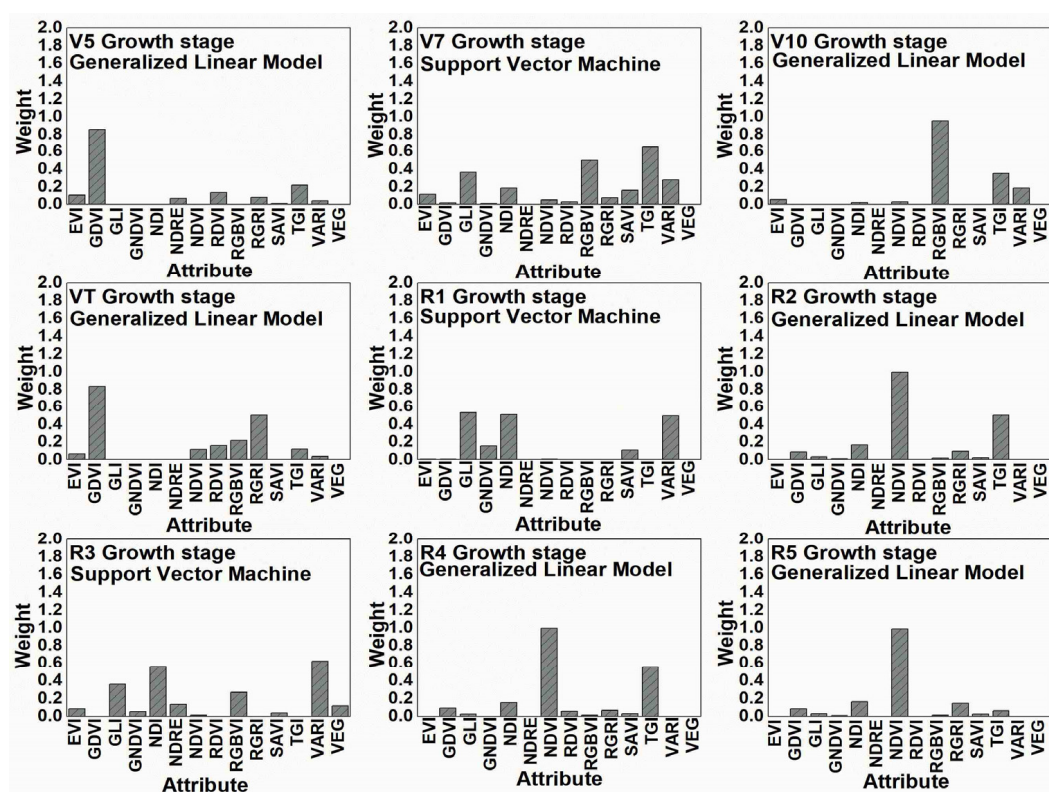


Figure 3. Barplots showing the weights of attribute values for maize total above-ground biomass (TAB) prediction models.

The analysis has demonstrated the importance of maize growth and development stages as covariates in the use of models for TAB prediction. No clear trends have been found when analyzing the distribution of different VI weights among different maize growth and development stages. For instance, GDVI VI showed very high weight values at stages V5 and VT, but at stages V10, R1, and R3, the weight values were 0. Similar results were obtained using other VIs, for example, NDVI weight values were very high during the reproductive period, i.e., stages R2, R4, and R5; however, during the vegetative period, the results were the opposite. In general, all of the weight values exhibited high variability across the nine growth stages. For maize TAB prediction, VIs may be grouped according to their importance as follow: $\text{NDVI} \approx \text{TGI} \approx \text{GDVI} \approx \text{RGBVI} > \text{NDI} \approx \text{VARI} \approx \text{GLI} \approx \text{RGRI} > \text{EVI} \approx \text{RDVI} \approx \text{SAVI} \approx \text{GNDVI} \approx \text{NDRE} \approx \text{VEG}$. It should be noted that the VI of the last group (VEG) had almost no effect on the maize TAB prediction. To summarise the results, the estimated and used UAV-based VIs as input data for ML models were different for each

maize growth stage, indicating that the suitable UAV covariates for the TAB prediction were greatly affected by the maize growth stage.

2.5.2. Maize Theoretical Biochemical Methane Potential

The weights of the attributes which reflect the relative importance of the 14 VI used in this study for maize TBMP prediction are shown in Figure 4, according to the models shown in Figure 2.

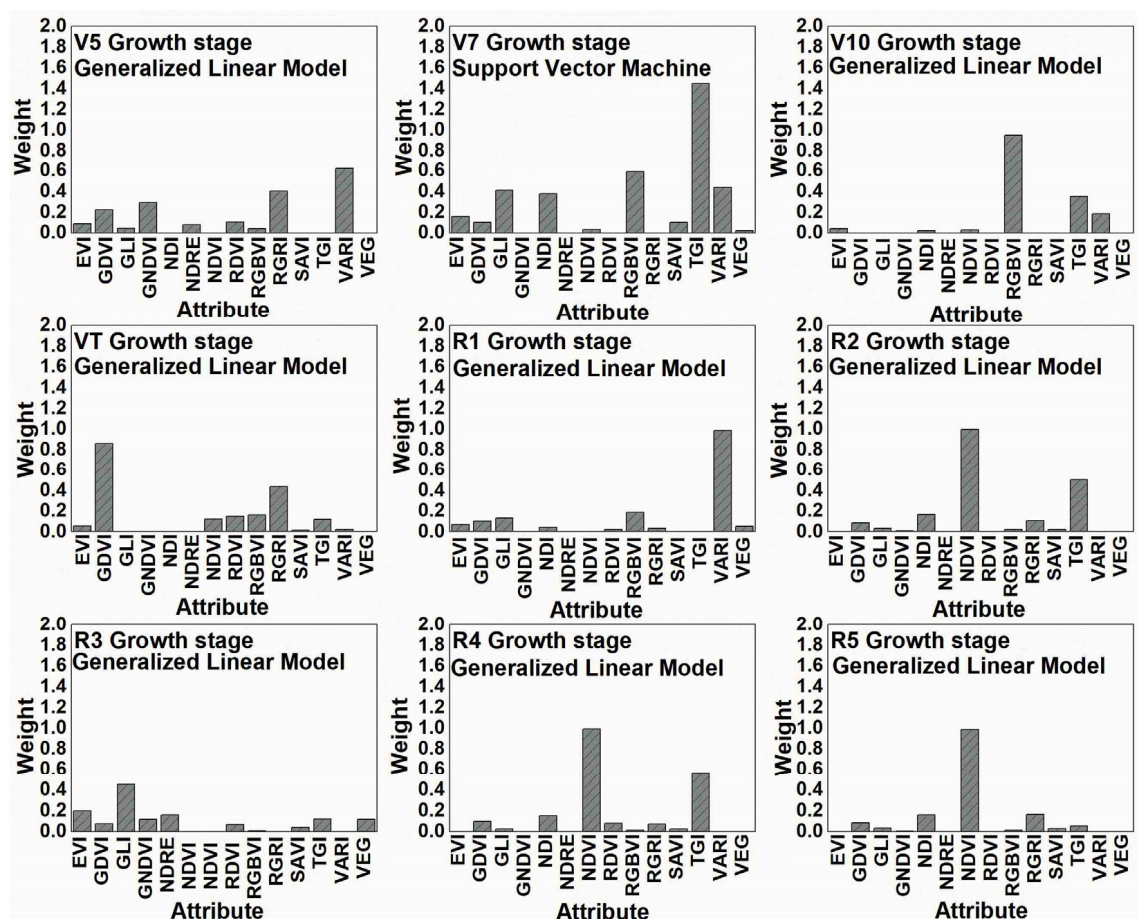


Figure 4. Barplots showing the weights of attribute values for maize theoretical biochemical methane potential (TBMP) prediction models.

For maize TBMP estimation models, the greatest covariates were NDVI (especially R2 and R4–R6 stages) and TGI (especially V7, R2, and R4 stages); however, it should be noted that in some maize growth stages, the aforementioned VIs did not have a significant impact on maize TBMP prediction. On the contrary, the lowest weight values were obtained using NDRE and VEG indices. To summarise the results, the VIs can be arranged in the following order of importance: $NDVI \approx TGI \approx VARI > RGBVI \approx GDVI \approx RGRI \approx GLI \approx NDI > EVI \approx GNDVI \approx RDVI \approx SAVI \approx VEG \approx NDRE$. When predicting maize TBMP as well as TAB values, a similar trend remained, i.e., the last group VI (VEG) had almost no effect. To summarise the results, it can be stated that the tendencies remained the same as they were during TAB prediction, i.e., UAV covariates for TBMP prediction were considerably affected by maize growth stages.

2.6. Maize Yield and Theoretical Biochemical Methane Potential Mapping

As shown in Sections 2.3 and 2.4, the models with the highest prediction accuracy were selected, and based on these results, the TAB and TBMP maps of the predicted maize conditions at nine growth and development stages were developed (Figure 5). As shown

in Figure 5, clear differences in the spatial distribution of TAB and TBMP values are seen among maize hybrids across growth stages.

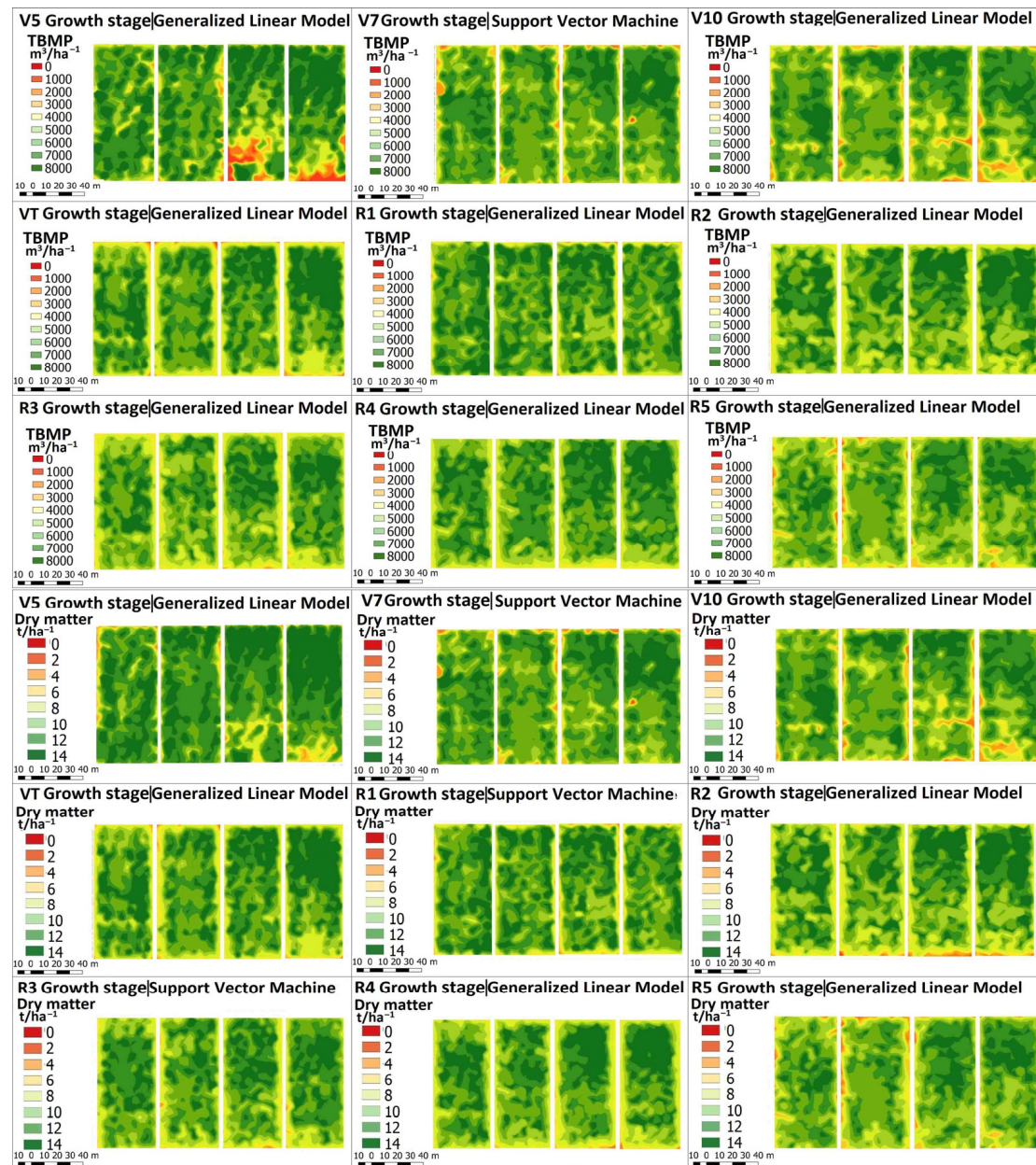


Figure 5. The heat map of estimated maize total above-ground biomass as dry matter and theoretical biochemical methane potential (TBMP).

3. Discussion

Our study provides experimental evidence regarding different maize hybrids and their total above-ground biomass levels, which varied significantly from 9.70 t/ha⁻¹ to 15.00 t/ha⁻¹ (in dry weight), in a region in the Baltic area. Due to the simplicity, easy interpretability, and high acceptance of the RS approach, we obtain high-resolution UAV-based multispectral band data, which have been used for maize TAB and TBMP prediction. Although the VI-based TAB estimation method is considered to be very efficient, the remotely obtained maize TAB and TBMP data cannot effectively describe the mechanistic response of changes in maize growth and development in different environments or under different agronomic management practices. For this reason, 14 VIs derived from UAV-based

multispectral images were employed. In addition, some studies demonstrated that the growth stage plays a key role in the sensitivity and performance of VIs when predicting crop biophysical parameters [23]; there is also a lack of comprehensive high-frequency UAV observation for maize. Therefore, in our study, the UAV campaign was carried out nine times during all main growth stages of maize. A detailed study of maize yield prediction at different physiological stages was carried out by Barzin et al. [24]; they discovered that VI-based prediction models at maize stages V10 and VT had the greatest accuracy with R^2 values of 0.90 and 0.93, respectively, while in our study, prediction accuracy during the same period was slightly lower, with the R^2 values being 0.73 at V10 and 0.76 at VT. However, the results of both studies confirmed that during the initial maize growth stages (V3–V7), TAB prediction accuracy was lower than it was during later growth periods (V10–VT). In contrast to that, a study by Zhang et al. [11] has shown that, through using the hyperspectral imageries of maize canopy and measuring maize height data, the stepwise regression model managed to explain 85–87% of TAB variation at the V6, R1, and R3 growth stages; this showed that the maize growth stages did not have such a significant impact on prediction accuracy as what is implied in the above-mentioned studies. Another study by Ji et al. [25] presented detailed research on maize yield prediction that used phenological information from RS; the researchers divided the maize growing season into four growth phases, i.e., 1—from V1 to V6, 2—from V6 to VT, 3—from VT to R4, and 4—from R4 to R6. It was found that the phenological phases have a significant effect on the prediction of maize yield, and the period from maize flowering (VT) to dough (R4) is the most optimal period for yield prediction. These results are in line with the results we obtained, i.e., the best TAB prediction accuracy was found during the R2–R4 growth stage period when R^2 varied from 0.88 to 0.95. The silking-dough (R1–R4) stages represent the nutrient (nitrogen, phosphorus, potassium) concentration growth peak of the maize parts of the leaf, stem, and storage organs (shank, cob), while nutrient concentration in the grain only begins to increase during this period [26]. During the R1–R4 period, maize has the highest LAI [27] while the leaves are still green, which is probably the reason why the best prediction results were obtained during the maize silking-dough period. However, these comparisons between the different maize yield prediction studies should be treated carefully, as, in many cases, different genotypes have been grown and different management practices have been used in different soil types and climatic conditions, which can possibly have a great impact on the accuracy of the prediction. According to one study [26], a rapid increase in maize kernel weight starts during period R2–R4, and the results of our study suggest that this period is the most suitable for maize yield prediction within the Nordic-Baltic region. Although stage R3 is a perfect period for yield prediction, for farmers, it may be a bit too late as it is close to the end of the maize life cycle, and it is therefore practically impossible to make any agronomic management changes to increase yield. Thus, we determined that the earliest suitable observing period for maize yield prediction in the region is V7–V10 because, at that time, the accuracy of the prediction is sufficiently high and the N demand is still low; therefore, the last N fertilization is still possible. At very early maize growth stages (V5), TAB prediction accuracy was the lowest ($R^2 = 0.65$) among all of the growth stages analyzed. The results were largely to be expected, as during the initial maize growth stages, the demand for water and nutrients was rather low; thus, the difference in maize hybrids was not so notable. As a result, ML models during those growth stages could not represent well enough the TAB differences caused by the various maize hybrids. On the contrary, maize nutrient demand starts to increase rapidly from around stage V7, and at the end of the vegetative period (V10–V14), the differences are clearly notable [28]. During a similar time, maize also reached its water demand peak, which happens during flowering and at the early grain-filling period [26]. In addition to that, it has been determined that relevant condition when developing data-driven prediction models for yield is when RS data is obtained during the crop growth stage, which is crucial in kernel growth [29]. It is important to note that even though different maize cultivars (FAO190-230) have been used in our study, they all had a “stay-green” effect, which resulted in the leaf senescence

being almost the same in all of the cultivars. It is likely that mainly because of this, different cultivars did not have a significant effect on the prediction results.

Maize is a well-known crop used in methane production and can produce between 7500 and 10,200 m³ ha⁻¹ under suitable climate conditions [7]. However, the climatic conditions for maize production in the Nordic-Baltic region are still marginal as the crop is exposed to cold weather and water stresses, which mainly result in a large year-to-year variation [30]. As has been already determined, methane production output is primarily influenced by the dry matter yield of the crop, while the chemical composition of the crop has a significantly lesser influence on the amount of methane production [22]. As a result, during maize harvesting, the estimated TBMP levels in our experiment ranged from 4092 to 6626 m³ ha⁻¹ and the correlation between TAB and TBMP was $R^2=0.98$, indicating that TAB is the main factor that mainly determines TBMP levels. This finding, which revealed a strong relationship between TAB and TBMP, was also responsible for the fact that the accuracy of TBMP prediction at different maize growth stages was very similar to that of TAB values. The most accurate TBMP values could be predicted at the R3 and R4 growth stages where R^2 was 0.90 and 0.97, respectively. These results nicely coincided with the findings of Amon et al. [7] who suggested that maize should be harvested at growth stages R3–R4 to achieve the highest methane yield. However, we could not find similar studies where UAV-based multispectral data were used for TBMP prediction.

To acquire the most suitable model for predicting maize TAB and TBMP, we used three ML methods, i.e., GLM, RF, and SVM models. When comparing the performances of these models during each maize growth stage, the accuracy of all of the used models' predictions was very similar; although, slightly better results regarding TAB and TBMP prediction were obtained with the GLM and SVM models. However, the differences in the different models' predictions were not so evident, and thus, all three models used in our study may be successfully employed when predicting maize TAB and TBMP values under Nordic-Baltic climate conditions.

When predicting the TAB and TBMP values, it has been observed that when using only spectral bands (e.g., red, green, blue), the accuracy of the predictions was not sufficient. Thus, in the further steps of this study, only calculated VIs were used and their possible link with dependent TAB and TBMP variables was sought. However, even when using different VIs for maize prediction, no clear insights have been found. For example, during the maize vegetative period for TAB prediction, GDVI performed relatively better than the other VIs at the V5 and VT stages, but later, at the V10, R1, and R3 stages, there was almost no weight effect on the prediction. Similar trends remained when using the other VIs, for example, NDVI was very important at R2, R4, and R5 stages, but during the vegetative period, the results were the opposite. It is only important to note that at that time, i.e., from the R2 to R5 stages, the NDVI values were the highest during the whole maize growing season and varied within the range of 0.68 to 0.73, while the canopy was closed and the NDVI saturated. Another interesting observation is that at the R3 stage, i.e., the time when the accuracy of the TAB predictions was the best, the GLL, NDI, and VARI indices had the greatest impact on these predictions and all of them have a green band in their formulas, as well as not having an NIR band. It has also been noted that most of the VIs used were saturated at the R3 stage of maize growth. When analyzing the TBMP predictions, the trends were very similar to the TAB, i.e., different VIs at different maize growth stages had different effects on the accuracy of the predictions. Certainly, it was greatly affected by the fact that we used different ML models for the prediction; therefore, VI weights at different maize growth stages should be compared carefully.

RS technologies, more precisely, UAVs at low altitudes, have important application options for acquiring crop spectral information at the plot scale. One of the greatest advantages of using UAVs compared to satellites is that it is possible to compensate for the lack of spatial and temporal resolution of satellite data in precision agriculture. In this study, we tried an exploration in predicting maize TAB and TBMP, and this is an initial attempt, at least in regards to the Nordic-Baltic area. Our prediction results were rather

good, but they could be further improved and more studies that cover different soil types and environmental conditions are required. Our research results are based on a dataset of one-year field experiments under typical weather conditions that prevailed in the area. Thus, this deficiency should be corrected by future multi-year field experiments, testing how TAB and TBMP change under contrasting weather conditions. What is more, the use of more data from field seasonal measurements (e.g., chlorophyll content, LAI, etc.), as well as climatic and management data, could provide a more detailed description of crop growth and allow for more favorable predictions of TAB and TBMP.

4. Materials and Methods

4.1. Study Site and Maize Experiment

According to the Köppen climate classification [31], the climate of Lithuania is humid continental (Dfb), with warm summers and rather severe winters. The territory of Lithuania is not homogeneous regarding air and soil temperature, precipitation distribution, and soils. The average annual air temperature ranges between 5.8 and 7.6 °C, and annual precipitation between 550 and 910 mm, of which 60 to 66% falls in the April–October period. The main soils are Luvisols, Cambisols, Gleysols, Arenosols, Retisols, and Histosols and they cover 28.5, 15.9, 14.6, 13.2, 9.4, and 8.5% of the area, respectively. Field experiments with maize were carried out in 2021 at the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, located in Akademija (55°23′09″ N 23°52′41″ E). The field experiment locations fell into the agro-climatic zone IID (see Figure 6) of central Lithuania [32], which is warm but also the driest compared to other zones.

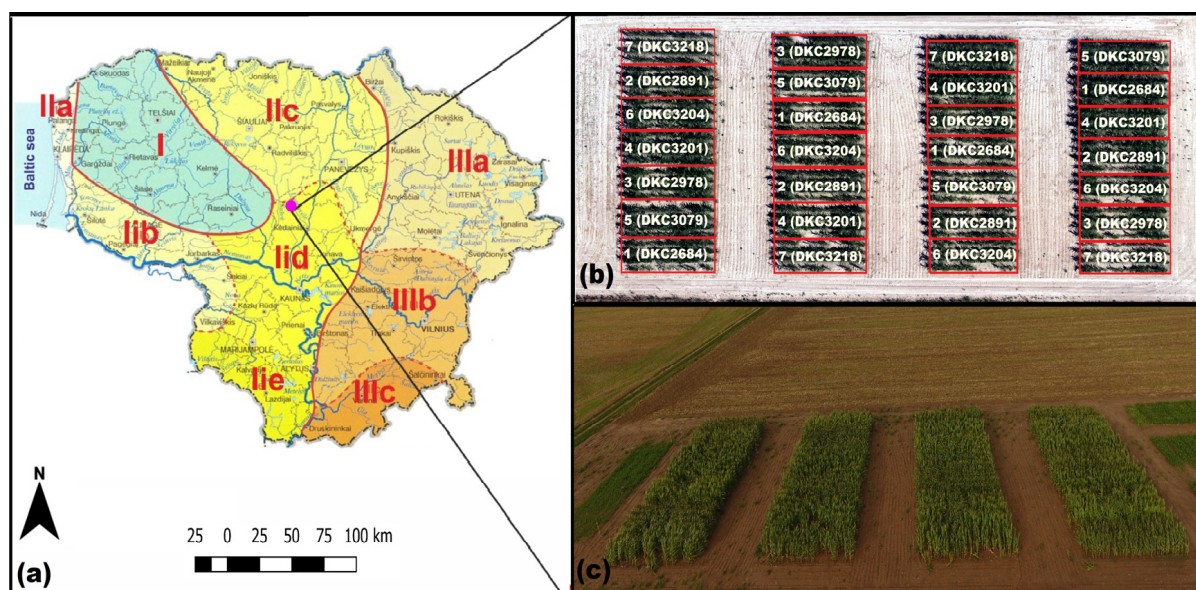


Figure 6. (a)—Lithuanian agroclimatic zones, the numbers (I, II, III) and the letters (a, b, c, d, e) denote districts and subdistricts of agroclimatic zones, respectively, the purple dot marks weather station location; (b)—The arrangement of field experiment treatments in randomized block design with four replicates; (c)—aerial image of maize field experiments at milk growth and development stage.

The maize (*Zea mays* L.) field experiment under rainfed conditions was conducted during the 2021 season at the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry (55°23′50″ N and 23°51′40″ E) in the Central part of Lithuania. The main soil was Endocalcari–Epihypogleyic Cambisol (WRB, 2014) with loam texture class (49% Sand, 35.4% Silt, 15.6% Clay); it had a neutral pH of 6.8 and soil organic matter of 3.2%. In this study, seven maize hybrids with different maturity classes and different suitability levels (grain, silage, biogas) were investigated (Table 3). These maize varieties were selected based on the high amount of dry matter and their suitability to be grown in this region.

Table 3. Maize hybrids and their main characteristics used in the study.

Hybrid	Maturity	Suitable for	Type of Grain	Breeding Company
DKC2684	FAO 210	Grain, Silage, Biogas	Flint/Dent	Dekalb
DKC2891	FAO 220	Silage	Flint/Dent	Dekalb
DKC3079	FAO 230	Grain, Biogas	Dent	Dekalb
DKC3201	FAO 220	Silage, Biogas	Flint/Dent	Dekalb
DKC2978	FAO190	Silage, Biogas	Flint/Dent	Dekalb
DKC 3204	FAO 230	Grain, Silage, Biogas	Flint/Dent	Dekalb
DKC3218	FAO 190	Silage, Grain	Flint/Dent	HR Smolice

The maize was grown after conventional tillage and was sown on 30 May 2021, when soil temperature had reached 10–12 °C, with a density of 90,000 plants ha^{−1} (0.75 m row and 0.15 m plant spacing). Weeds were controlled by the herbicide Arrat (tritosulphurone 250 g/kg^{−1} + dicamba 500 g/kg^{−1}) and commercial formulation wettable granule (WG) at a rate of 0.2 kg/ha^{−1} was used at the maize V3 growth stage. During the maize growing season, no diseases were observed; thus, other pesticides were not used. All experimental treatments were fertilized according to local practices and followed the same rates as those of mineral fertilizers. Before maize sowing; nitrogen (N), at a rate of 120 kg N ha^{−1}; superphosphate (P), at a rate of 90 kg P ha^{−1}; and potassium chloride (K), at a rate of 170 kg K ha^{−1} were applied manually and incorporated into the soil. Additionally, at the growth stage of V5, maize was fertilized with N 80 kg N ha^{−1} to avoid N deficiencies. The mineral fertilizers were in the form of ammonium nitrate (AN) (34.4–0–0), while complex NPK fertilizers were in the form (6–18–34). Maize harvest was performed manually on 6 October 2021. The field experiments included seven treatments that were performed in randomized block design with four replicates. The area of each experimental plot was 27 m².

4.2. Plant and Soil Measurements

During the maize vegetation period, plant development stages were recorded frequently. The maize vegetative and reproductive development stages were identified on the basis of the entire treatment when 50% or more of the plants were at a particular development stage. The leaf-collar method [26] was used for the development of vegetation stages, whereas reproductive stages were based on established visual indicators of kernel development. At physiological maturity, when more than 50% of the plants showed a visible black layer at the base of the kernel, four rows of each plot from an area of $8 \times 3.0 = 24 \text{ m}^2$ were cut to identify the final total aboveground biomass and grain yield. The individual maize components were weighed (fresh mass) and dried at $65 \pm 5 \text{ °C}$ to constant weight (dry weight).

A modern, environmentally friendly analysis method, near-infrared (NIR) spectroscopy, which does not require chemical reagents, was used to examine the quality of the maize samples. Maize TAB samples were scanned with a NIRS-6500 device, with a spinning module using wavelengths between 400 and 2500 nm in reflectance, and the obtained spectra were processed with equations installed into the device for maize analysis (VDLUFA Laboratory, Speyer, Germany). For analysis, the samples were dried and ground with an ultra-centrifugal mill ZM 200 (Retsch, Haan, Germany) to pass a 1 mm screen. The precision of the used equations was sufficient and ranged within the following limits: standard error calibration (SEC)—0.16–0.64, coefficient of determination (RSQ)—0.77–0.94, and standard error cross-validation (SECV)—0.18–0.68. When using this method, maize quality parameters, including protein, lipid, and ash contents, have been determined. The number of water-soluble carbohydrates was determined by Anthron's method.

Soil samples were collected before the implementation of the experiment and they were later air-dried and passed through 2 mm and 0.25 mm size sieves in the laboratory. SOC content was determined by a photometric procedure at a wavelength of 590 nm using a UV–VIS spectrophotometer Cary (Varian) and using glucose as a standard [33]. The soil

texture fraction was determined using the pipette method. All chemical analyses were conducted in the Chemical Research Laboratory, while texture analyses were carried out in the Department of Soil and Crop Management of the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry.

4.3. Theoretical Methane Yield

In this study, we calculated theoretical biochemical methane potential (TBMP) based on the maize sample's organic composition (expressed as $TBMP_{org}$). $TBMP_{org}$ was calculated by Equation (1) [9],

$$TBMP_{org} \left(\frac{mLCH_4}{g VS} \right) = \frac{373VFA + 496Protein + 1014Lipids + 415Carbohydrates + 727Lignin}{100} \quad (1)$$

where volatile fatty acid (VFA), lipids, protein carbohydrates, and lignin were expressed in terms of %. In the next step, TBMP values were recalculated into m^3/ha^{-1} units.

4.4. Remote Data Acquisition

The UAV system for the image collection of the field experiment was a consumer-grade quadrotor Phantom 4 Professional (SZ DJI Technology Co., Shenzhen, China) with an installed real-time kinematic (RTK) module that enhances the precision of position data, derived from satellite-based positioning. Additionally, this used UAV had a sunlight sensor that automatically adjusts radiation reflectance and obtains reflectance data directly. This UAV had a combined multispectral imaging system, including a visible light (RGB) sensor responsible for visible light imaging. There are five additional multispectral bands with 5.74 focal lenses, including blue light (B), green light (G), red light[®], red edge, and near-infrared (NIR), with center wavelengths of 450, 560, 650, 730, and 840 nm, respectively. The UAV campaign was carried out 9 times during the main maize growth stages (Table 4) at a height of 25 m above ground level.

Table 4. Summary of the UAV flights in the corresponding maize growth stages in 2021.

Code	Common Name	Sowing/Harvest Date	Date of UAV Flights	Days after Planting
	Planting	30 May 2021		0
V5	Fifth leaf		25 June 2021	26
V7	Seventh leaf		3 July 2021	34
V10	Tenth leaf		17 July 2021	48
VT	Tasseling		25 July 2021	56
R1	Silking		1 August 2021	63
R2	Blister		8 August 2021	70
R3	Milk		17 August 2021	79
R4	Dough		5 September 2021	98
R5	Dent		25 September 2021	118
R6	Physiological maturity	6 October 2021		129

The UAV flights were conducted in clear sky and low wind speed conditions between 11:00 am and 13:00 pm local time. The UAV flights were controlled using the flight planner app (Pix4D SA, Lausanne, Switzerland), adapted for android OS and using the Huawei P20 smartphone. The average speed of each UAV flight was ≈ 2.2 m/s, with a camera looking downwards; the flight duration for the full experimental plot cover lasted approximately 20 min; and about 2100 images, with 85% vertical and 85% horizontal overlapping to obtain images with a 1.1 pixel size, were taken during each flight.

4.5. UAV Image Processing and Calculation of VIs

After each flight UAV, multispectral image data was preprocessed with Pix4D software, which uses the structure-from-motion technique. This technique was used to relate features between overlapping images and calculate the 3D position of the matched points, which are densified and textured with the corresponding images. The ortho-mosaic image was

generated by projecting each texture point onto the 2D plane and was exported in a TIFF image format for further analysis. After the image stitching process, the generated ortho-mosaic ground sampling distance was 1.09 cm/pixel. Then, the densified point clouds were generated with 5,049,015 points. The RMSE values in the X, Y, and Z coordinates were 0.020 m., 0.017 m., and 0.052 m., respectively. In order to calculate the vegetation indices (VI) consisting of different combinations of wavelength-specific spectral reflectance, the prepared ortho-mosaic imagery was imported to freely available QGIS software (version 3.2.2.). In the next step, experimental plots (replicates) were marked out with polygons on the ortho-mosaic image, and the vegetation indices were calculated using the raster calculator tool. In this study, we computed 14 widely used VIs for predicting maize TAB and TBMP. The majority of the selected VIs had been used in previous studies for monitoring the growth and predicting the yields of agricultural crops. Based on this, we selected the most commonly used VIs and they were tested in our study (Table 5).

Table 5. Vegetation indices (VI) calculated in the study in order to test the usefulness of multispectral aerial images to predict maize total above-ground biomass and theoretical biochemical methane potential.

	Vegetation Index (VI)	Name	Formula	Reference
1.	EVI	Enhanced Vegetation Index	$2.5 \times (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + 6\text{Red} - 7.5\text{Blue} + 1)$	[34]
2.	GDVI	Green Difference Vegetation Index	$\text{NIR} - \text{Green}$	[35]
3.	GNDVI	Green Normalized Difference Vegetation Index	$(\text{NIR} - \text{Green}) / (\text{NIR} + \text{Green})$	[36]
4.	NDRE	Normalized Difference Red-edge	$(\text{NIR} - \text{Red-edge}) / (\text{NIR} + \text{Red-edge})$	[37]
5.	NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$(\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$	[38]
6.	RDVI	Renormalized Difference Vegetation Index	$(\text{NIR} - \text{Red}) / \sqrt{\text{NIR} + \text{Red}}$	[39]
7.	SAVI	Soil-Adjusted Vegetation Index	$1.5 \times (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red} + 0.5)$	[40]
8.	GLI	Green leaf index	$\text{GLI} = (2 \times \text{Green} - \text{Red} - \text{Blue}) / (2 \times \text{Green} + \text{Red} + \text{Blue})$	[41]
9.	NDI	Normalized difference index	$\text{NDI} = (\text{Green} - \text{Red}) / (\text{Green} + \text{Red})$	[42]
10.	RGBVI	Red Green Blue Vegetation Index	$\text{RGBVI} = (\text{Green}2) - (\text{Blue} \times \text{Red}) / (\text{Green}2) + (\text{Blue} \times \text{Red})$	[43]
11.	RGRI	Red-Green Ratio Index	$\text{RGRI} = \text{Red} / \text{Green}$	[44]
12.	TGI	Triangular greenness index	$\text{TGI} = \text{Green} - 0.39 \times \text{Red} - 0.61 \times \text{Blue}$	[45]
13.	VARI	Visual atmospheric resistance index	$\text{VARI} = (\text{Green} - \text{Red}) / (\text{Green} + \text{Red} - \text{Blue})$	[46]
14.	VEG	Vegetative	$\text{VEG} = \text{Green} / \text{Red} \times \text{Blue}1 - \alpha, \alpha = 0.667$	[40]

4.6. Machine-Learning Methods for Predicting Biomass and Theoretical Methane Yield

In this study, we used three widely used machine-learning (ML) methods, i.e., generalized linear model (GLM), random forest (RF), and Support Vector Machine (SVM). In order to predict the maize total above-ground biomass (TAB) and theoretical biochemical methane potential (TBMP), a dataset regarding each of the vegetative (V5, V7, V10, VT) and reproductive (R1, R2, R3, R4, R5) period stages, where TAB and TBMP were assigned as dependent variables and VIs as independent variables (Table 5), was divided into two parts: 60% of the dataset was used for training while the remaining 40% of the dataset was used for testing. For dataset splitting, we used the split validation method, which randomly splits up the data into a training set and a testing set. The entire prediction analysis was done using a computer that has an Intel i9 processor and 64 GB memory with a 64-bit operating system. ML prediction algorithms were created and developed with open-source data software RapidMiner Studio 9.9 (RapidMiner Inc., Boston, MA, USA).

Generalized linear models (GLM) are an extension of traditional linear models [47]. This algorithm fits generalized linear models to the data by maximizing the likelihood of the training parameters. The model fitting computation is parallel, fast, and scales well for models with a limited number of predictors.

A random forest (RF) is an ensemble of a certain number of random trees and is more robust with respect to noise [48]. These trees are created/trained on bootstrapped sub-sets provided by the input data. Each node of a tree represents a splitting rule for one specific attribute. Only a sub-set of attributes, specified with the subset ratio criterion, is considered for the splitting rule selection. This rule separates values in an optimal way for the selected parameter criterion. For classification, the rule is separating values belonging to different

classes, while for regression, it separates them in order to reduce the error made by the estimation. The building of new nodes is repeated until the stopping criteria are met.

The Support Vector Machine (SVM) is a form of supervised nonparametric modeling, which is defined by using kernels and operating on the margins [49]. The algorithm takes a set of input data and predicts, for each given input, which of the two possible classes comprises the input, making the SVM a non-probabilistic binary linear classifier. Given a set of training examples, each marked as belonging to one of two categories, an SVM training algorithm builds a model that assigns new examples to one category or the other. An SVM model is a representation of the examples as points in space, mapped so that the examples of the separate categories are divided by a clear gap that is as wide as possible. New examples are then mapped into that same space and predicted to belong to a category based on which side of the gap they fall on.

The agreement between the observed maize TAB, estimated theoretical methane yield, and predicted parameters was tested by the coefficient of determination (R^2), BIAS, and RMSE, computed as follows [50]:

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \right) \quad (2)$$

$$\text{BIAS} = 1/n \sum_{i=0}^n (y_i - x_i) \quad (3)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad (4)$$

where n is the number of observed values, y_i and x_i are the simulated and observed values, and $\bar{y}$ and $\bar{x}$ are the average observed and simulated values for the i th data pair. R^2 describes the proportion of the variance in the observed data as explained by the prediction model, and it ranges from 0 to 1, with higher values indicating less error variance. The BIAS measures the average difference between the observed/estimated and predicted values. A positive BIAS value indicates an under-prediction and a negative BIAS indicates an over-prediction. The RMSE is the square root of the mean square error. The smaller the BIAS and RMSE values are, the better the performance of the prediction.

Significant differences between the treatments were determined using Tukey's test at a 0.05 probability level. Statistical analyses were performed using proc GLM, SAS v9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

4.7. Weather Data

The daily meteorological data, including mean temperature °C, minimum and maximum temperatures °C, mean humidity (%), and sunshine hours per day, were obtained from a meteorological station of the Lithuanian Hydrometeorological Service (Ministry of Environment), located near the maize experimental field.

5. Conclusions

In this study, we investigated the feasibility of using UAV-multispectral images in combination with field measurements and ML algorithms to estimate maize TAB and TBMP values at main phenological stages. Our study suggests that the accuracy of both TAB and TBMP prediction was greatly affected by different maize growth stages; however, different maize hybrids did not have a significant effect on prediction accuracy. The best ML prediction results were obtained during the R2–R4 maize growth period; the prediction models managed to explain 88–95% of TAB and 88–97% TBMP variation. We also found that, for the practical usage of farmers, the earliest suitable timing for TAB and TBMP prediction in the Nordic-Baltic area is within stages V7–V10. In this study, three ML

algorithms were used when predicting TAB and TBMP values. The best maize TAB and TBMP prediction accuracy results were achieved using the GLM model.

Author Contributions: Conceptualization, R.Ž., F.C. and A.K.; methodology, R.Ž., A.K. and O.A.; software, A.K.; formal analysis, R.Ž. and A.K.; investigation, A.K.; writing—original draft preparation, R.Ž.; writing—review and editing, F.C., R.Ž., O.A., V.P. and A.K.; visualization, A.K.; supervision, R.Ž. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: Field data were partly collected within “ConnectFarms” project and funded by the Joint Call of the Cofund ERA-Nets SusCrop (Grant No 771134), FACCE ERA-GAS (Grant No 696356), ICT-AGRI-FOOD (Grant No 862665) and SusAn (Grant No 696231).

Acknowledgments: The authors acknowledge the financial support through the partners of the Joint Call of the Cofund ERA-Net SusCrop, FACCE ERA-GAS, ICT-AGRI-FOOD, and ERA-Net SusAn.

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

References

- Li, Y.; Zhang, R.; Liu, G.; Chen, C.; He, Y.; Liu, X. Comparison of methane production potential, biodegradability, and kinetics of different organic substrates. *Bioresour. Technol.* **2013**, *149*, 565–569. [\[CrossRef\]](#)
- Gunaseelan, V.N. Anaerobic digestion of biomass for methane production: A Review. *Biomass Bioenergy* **1997**, *13*, 83–114. [\[CrossRef\]](#)
- Möller, K.; Stinner, W. Effects of organic wastes digestion for biogas production on mineral nutrient availability of biogas effluents. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* **2010**, *87*, 395–413. [\[CrossRef\]](#)
- Uusitalo, V.; Havukainen, J.; Manninen, K.; Höhn, J.; Lehtonen, E.; Rasi, S.; Soukka, R.; Hortalainen. Carbon footprint of selected biomass to biogas production chains and GHG reduction potential in transportation use. *Renew. Energy* **2014**, *66*, 90–98. [\[CrossRef\]](#)
- Raposo, F.; De la Rubia, M.A.; Fernández-Cegri, V.; Borja, R. Anaerobic digestion of solid organic substrates in batch mode: An overview relating to methane yields and experimental procedures. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2012**, *16*, 861–877. [\[CrossRef\]](#)
- Žydelis, R.; Weihermüller, L.; Herbst, M. Future climate change will accelerate maize phenological development and increase yield in the Nemoral climate. *Sci. Total Environ.* **2021**, *784*, 147175. [\[CrossRef\]](#)
- Amon, T.; Amon, B.; Kryvoruchko, V.; Machmüller, A.; Hopfner-Sixt, K.; Bodiroza, V.; Hrbek, R.; Friedel, J.; Pötsch, E.; Wagentristsl, H.; et al. Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. *Bioresour. Technol.* **2007**, *98*, 3204–3212. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Labatut, R.; Angenent, L.T.; Scott, N.R. Biochemical methane potential and biodegradability of complex organic substrates. *Bioresour. Technol.* **2011**, *102*, 2255–2264. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Triolo, J.M.; Sommer, S.G.; Möller, H.B.; Weisbjerg, M.R.; Jiang, X.Y. A new algorithm to characterize biodegradability of biomass during anaerobic digestion: Influence of lignin concentration on methane production potential. *Bioresour. Technol.* **2011**, *102*, 9395–9402. [\[CrossRef\]](#)
- Li, D.; Miao, Y.; Gupta, S.K.; Rosen, C.J.; Yuan, F.; Wang, C.; Wang, L.; Huang, Y. Improving Potato Yield Prediction by Combining Cultivar Information and UAV Remote Sensing Data Using Machine Learning. *Remote Sens.* **2021**, *13*, 3322. [\[CrossRef\]](#)
- Zhang, Y.; Xia, C.; Zhang, X.; Cheng, X.; Feng, G.; Wang, Y.; Wang, Y.; Gao, Q. Estimating the maize biomass by crop height and narrowband vegetation indices derived from UAV-based hyperspectral images. *Ecol. Indic.* **2021**, *129*, 107985. [\[CrossRef\]](#)
- Guo, Y.; Wang, H.; Wu, Z.; Wang, S.; Sun, H.; Senthilnath, J.; Wang, J.; Bryant, C.R.; Fu, Y. Modified Red Blue Vegetation Index for Chlorophyll Estimation and Yield Prediction of Maize from Visible Images Captured by UAV. *Sensors* **2020**, *20*, 5055. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Guo, Y.; Chen, S.; Li, X.; Cunha, M.; Jayavelu, S.; Cammarano, D.; Yongshuo, F. Machine Learning-Based Approaches for Predicting SPAD Values of Maize Using Multi-Spectral Images. *Remote Sens.* **2022**, *14*, 1337. [\[CrossRef\]](#)
- Iqbal, S.; Thierfelder, C.; Khan, H.Z.; Javeed, H.M.R.; Arif, M.; Shehzad, M. Maximizing maize quality, productivity and profitability through a combined use of compost and nitrogen fertilizer in a semi-arid environment in Pakistan. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* **2017**, *107*, 197–213. [\[CrossRef\]](#)
- Ali, I.; Greifeneder, F.; Stamenkovic, J.; Neumann, M.; Notarnicola, C. Review of Machine Learning Approaches for Biomass and Soil Moisture Retrievals from Remote Sensing Data. *Remote Sens.* **2015**, *7*, 16398–16421. [\[CrossRef\]](#)
- Hansen, P.M.; Schjoerring, J.K. Reflectance measurements of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression. *Remote Sens. Environ.* **2003**, *86*, 542–553. [\[CrossRef\]](#)
- Chlingaryan, A.; Sukkarieh, S.; Whelan, B. Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review. *Comput. Electron. Agric.* **2018**, *151*, 61–68. [\[CrossRef\]](#)
- Virnodkar, S.S.; Pachghare, V.K.; Patil, V.C.; Jha, S.K. Remote sensing and machine learning for crop water stress determination in various crops: A critical review. *Precis. Agric.* **2020**, *21*, 1121–1155. [\[CrossRef\]](#)

19. Pushpanathan, K.; Hanafi, M.; Mashohor, S.; Fazlil ilahi, W.F. Machine learning in medical plants recognition: A review. *Artif. Intell. Rev.* **2021**, *54*, 305–327. [\[CrossRef\]](#)
20. Wang, A.; Zhang, W.; Wei, X. A review on weed detection using ground-based machine vision and image processing techniques. *Comput. Electron. Agric.* **2019**, *158*, 226–240. [\[CrossRef\]](#)
21. Bruni, E.; Jensen, A.P.; Pedersen, E.S.; Angelidaki, I. Anaerobic digestion of maize focusing on variety, harvest time and pretreatment. *Appl. Energy* **2010**, *87*, 2212–2217. [\[CrossRef\]](#)
22. Schittenhelm, S. Chemical composition and methane yield of maize hybrids with contrasting maturity. *Eur. J. Agron.* **2008**, *29*, 72–79. [\[CrossRef\]](#)
23. Gnyp, M.L.; Miao, Y.; Yuan, F.; Ustin, S.L.; Yu, K.; Yao, Y.; Huang, S.; Bareth, G. Hyperspectral canopy sensing of paddy rice aboveground biomass at different growth stages. *Field Crop. Res.* **2014**, *155*, 42–55. [\[CrossRef\]](#)
24. Barzin, R.; Pathak, R.; Lotfi, H.; Varco, J.; Bora, G.C. Use of UAS Multispectral Imagery at Different Physiological Stages for Yield Prediction and Input Resource Optimization in Corn. *Remote Sens.* **2020**, *12*, 2392. [\[CrossRef\]](#)
25. Ji, Z.; Pan, Y.; Zhu, X.; Wang, J.; Li, Q. Prediction of Crop Yield Using Phenological Information Extracted from Remote sensing Vegetation Index. *Sensors* **2021**, *21*, 1406. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
26. Abendroth, L.J.; Elmore, R.W.; Boyer, M.J.; Marlay, S.K. *Corn Growth and Development*; PMR 1009; Iowa State University, Extension and Outreach: Ames, IA, USA, 2011.
27. Żydelis, R.; Dechmi, F.; Isla, R.; Weihermüller, L.; Lazauskas, S. CERES-Maize model performance under mineral and organic fertilization in nemoral climate conditions. *Agron. J.* **2021**, *113*, 2474–2490. [\[CrossRef\]](#)
28. Żydelis, R.; Lazauskas, S.; Povilaitis, V. Biomass accumulation and N status in grain maize as affected by mineral and organic fertilizers in cool climate. *J. Plant Nutr.* **2018**, *41*, 2626–2636. [\[CrossRef\]](#)
29. Qader, S.H.; Dash, J.; Atkinson, P.M. Forecasting wheat and barley crop production in arid and semi-arid regions using remotely sensed primary productivity and crop phenology: A case study in Iraq. *Sci. Total Environ.* **2018**, *613–614*, 250–262. [\[CrossRef\]](#)
30. Żydelis, R.; Weihermüller, L.; Herbst, M.; Klosterhalfen, A.; Lazauskas, S. A model study on the effect of water and cold stress on maize development under nemoral climate. *Agric. For. Meteorol.* **2018**, *263*, 169–179. [\[CrossRef\]](#)
31. Kotteck, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B.; Rubel, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.* **2006**, *15*, 259–263. [\[CrossRef\]](#)
32. Bukantis, A. Agroclimatic zoning. In *Lithuanian National Atlas*; National Land Service under the Ministry of Agriculture: Vilnius, Lithuania, 2009.
33. Nikitin, B.A. A method for soil humus determination. *Agric. Chem.* **1999**, *3*, 156–158.
34. Matsushita, B.; Yang, W.; Chen, J.; Onda, Y.; Qiu, G. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-Density Cypress Forest. *Sensors* **2007**, *7*, 2636–2651. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
35. Wu, W. The Generalized Difference Vegetation Index (GDVI) for Dryland Characterization. *Remote Sens.* **2014**, *6*, 1211–1233. [\[CrossRef\]](#)
36. Gitelson, A.A.; Merzlyak, M.N. Remote Estimation of Chlorophyll Content in Higher Plant Leaves. *Int. J. Remote Sens.* **1997**, *18*, 2691–2697. [\[CrossRef\]](#)
37. Raper, T.B.; Varco, J.J. Canopy-Scale Wavelength and Vegetative Index Sensitivities to Cotton Growth Parameters and Nitrogen Status. *Precis. Agric.* **2015**, *16*, 62–76. [\[CrossRef\]](#)
38. Rouse, J.W.; Hass, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W.; Harlan, J.C. *Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (GreenWave Effect) of Natural Vegetation [Great Plains Corridor]*; NASA: Washington, DC, USA, 1974.
39. Roujean, J.L.; Breon, F.M. Estimating PAR Absorbed by Vegetation from Bidirectional Reflectance Measurements. *Remote Sens. Environ.* **1995**, *51*, 375–384. [\[CrossRef\]](#)
40. Rondeaux, G.; Steven, M.; Baret, F. Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Indices. *Remote Sens. Environ.* **1996**, *55*, 95–107. [\[CrossRef\]](#)
41. Louhaichi, M.; Borman, M.M.; Johnson, D.E. Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat. *Geocarto Int.* **2001**, *16*, 65–70. [\[CrossRef\]](#)
42. Woebbecke, D.M.; Meyer, G.E.; Von Bargen, K.; Mortensen, D.A. Color Indices for Weed Identification under Various Soil, Residue, and Lighting Conditions. *Trans. ASAE* **1995**, *38*, 259–269. [\[CrossRef\]](#)
43. Bendig, J.; Yu, K.; Aasen, H.; Bolten, A.; Bennertz, S.; Broscheit, J.; Gnyp, M.L.; Bareth, G. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2015**, *39*, 79–87. [\[CrossRef\]](#)
44. Verrelst, J.; Schaepman, M.E.; Koetz, B.; Kneubühler, M. Angular sensitivity analysis of vegetation indices derived from CHRIS/PROBA data. *Remote Sens. Environ.* **2008**, *112*, 2341–2353. [\[CrossRef\]](#)
45. Hunt, J.R.R.; Daughtry, C.S.T.; Eitel, J.U.H.; Long, D.S. Remote Sensing Leaf Chlorophyll Content Using a Visible Band Index. *Agron. J.* **2011**, *103*, 1090–1099. [\[CrossRef\]](#)
46. Gitelson, A.; Kaufman, Y.J.; Stark, R.; Rundquist, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sens. Environ.* **2002**, *80*, 76–87. [\[CrossRef\]](#)

47. Akbarian, S.; Xu, C.; Wang, W.; Ginns, S.; Lim, S. An investigation on the best-fit models for sugarcane biomass estimation by linear mixed-effect modelling on unmanned aerial vehicle-based multispectral images: A case study of Australia. *Inf. Process. Agric.* **2020**, in press. [[CrossRef](#)]
48. Breiman, L. Random Forests. *Mach. Learn.* **2001**, *45*, 5–32. [[CrossRef](#)]
49. Brereton, R.G.; Lloyd, G.R. Support Vector Machines for classification and regression. *Analyst* **2010**, *135*, 230–267. [[CrossRef](#)]
50. Wallach, D. Evaluating crop models. In *Working with Dynamic Crop Models*; Wallach, D., Makowski, D., Jones, J.W., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2006; pp. 11–55.

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.