https://doi.org/10.15388/vu.thesis.843
https://orcid.org/0009-0003-5711-2361

VILNIAUS UNIVERSITETAS
VALSTYBINIS MOKSLINIŲ TYRIMŲ INSTITUTAS
GAMTOS TYRIMŲ CENTRAS

Božena Ignotienė

Probiotikų poveikis šakniavaisinių ir uoginių augalų augimui, antioksidaciniam aktyvumui ir produktyvumo formavimuisi

DAKTARO DISERTACIJA

Gamtos mokslai,
Ekologija ir aplinkotyra (N 012)

VILNIUS 2025

Disertacija rengta 2018–2025 metais Gamtos tyrimų centre.

Mokslinė vadovė – dr. Sigita Jurkonienė (Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Gamtos tyrimų centras, gamtos mokslai, ekologija ir aplinkotyra – N 012).

Mokslinė konsultantė – dr. Virgilija Gavelienė (Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Gamtos tyrimų centras, gamtos mokslai, biologija – N 010)

Gynimo taryba:
Pirmininkė – dr. Jurgita Švedienė (Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Gamtos tyrimų centras, gamtos mokslai, ekologija ir aplinkotyra – N 012).
Nariai:
dr. Vaidotas Lygis (Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Gamtos tyrimų centras, gamtos mokslai, biologija – N 010),
prof. dr. Eugenija Kupčinskienė (Vytauto Didžiojo universitetas, gamtos mokslai, biologija – N 010),
habil. dr. Zdzisława Romanowska-Duda (Lodzės universitetas, gamtos mokslai, ekologija ir aplinkotyra – N 012)
prof. dr. Ingrida Šaulienė (Vilniaus universitetas, gamtos mokslai, ekologija ir aplinkotyra – N 012).

Disertacija ginama viešame Gynimo tarybos posėdyje 2025 m. spalio mėn. 30 d. 11 val. (Gamtos tyrimų centre) konferencijų salėje (101). Akademijos g. 2, LT-08412, Vilnius, Lietuva, tel. +37052729257; el. paštas sekretoriatas@gamtc.lt

Disertaciją galima peržiūrėti Gamtos tyrimų centro ir Vilniaus universiteto bibliotekose ir VU interneto svetainėje adresu:
https://www.vu.lt/naujienos/ivykiu-kalendorius

https://doi.org/10.15388/vu.thesis.843
https://orcid.org/0009-0003-5711-2361

VILNIUS UNIVERSITY
STATE SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE
NATURE RESEARCH CENTRE

Božena Ignotienė

Effect of Probiotics on Growth, Antioxidant Activity, and Productivity of Root and Berry Crops

DOCTORAL DISSERTATION

Natural Sciences,
Ecology and Environmental Sciences (N 012)

VILNIUS 2025

The dissertation was prepared between 2018 and 2025 at State Scientific Research Institute Nature Research Centre.

Academic Supervisor – Dr. Sigita Jurkonienė (State Scientific Research Institute Nature Research Centre, Natural Sciences, Ecology and Environmental Sciences – N 012).
Academic Consultant – Dr. Virgilija Gavelienė (State Scientific Research Institute Nature Research Centre, Natural Sciences, Biology – N 010).

This doctoral dissertation will be defended in a public meeting of the Dissertation Defence Panel:

Chairman – Dr. Jurgita Švedienė (State Scientific Research Institute Nature Research Centre, Natural Sciences, Ecology and Environmental Sciences – N 012).
Members:
Dr. Vaidotas Lygis (State Scientific Research Institute Nature Research Centre, Natural Sciences, Biology – N 010),
Prof. Dr. Eugenija Kupčinskienė (Vytautas Magnus University, Natural Sciences, Biology – N 010),
Dr. Hab. Zdzisława Romanowska-Duda (University of Lodz, Natural Sciences, Ecology and Environmental Sciences – N 012)
Prof. Dr. Ingrida Šaulienė (Vilnius University, Natural Sciences, Ecology and Environmental Sciences – N 012).

The dissertation shall be defended at a public meeting of the Dissertation Defence Panel at 11:00 on 30 of October 2025 in conference hall (101) of the Nature Research Centre.
Address: Akademijos str. 2, LT-08412, Vilnius, Lithuania, Tel: +37052729257; e-mail: sekretoriatas@gamtc.lt
The text of this dissertation can be accessed at the libraries of Nature Research Centre and Vilnius University, as well as on the website of Vilnius University: *www.vu.lt/lt/naujienos/ivykiu-kalendorius*

SANTRUMPOS

AM – antriniai metabolitai

BHT – butilintas hidroksitoluenas

DPPH – 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil-hidratas

EM – efektyvūs mikroorganizmai

FC – Folin-Ciocalteu reagentas

HPTLC – aukšto našumo plonasluoksnė chromatografija (angl. *High-Performance Thin-Layer Chromatography*)

IAR – indolo-3-acto rūgštis

MAMP – su mikroorganizmais susiję molekuliniai modeliai (angl. *Microbe Associated Molecular Patterns*)

PGPM – augalų augimą skatinantys mikroorganizmai (angl. *Plant Growth Promoting Microorganisms*)

ROS – reaktyviosios deguonies formos (angl. *Reactive Oxygen Species*)

PM – pirminiai metabolitai

BBCH – tarptautinė augalų augimo tarpsnių kodavimo skalė (vok. *Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und CHemische Industrie*), naudojama vieningam augalų vystymosi stadijų aprašymui žemės ūkyje ir moksliniuose tyrimuose

TURINYS

ĮVADAS 9
1. Literatūros apžvalga 12
1.1. Ūkinė ekosistema: ekologinis ir neekologinis žemės ūkis 12
1.2. Ekosistemos komponentė – rizosfera ir fitomikrobiomas 13
1.3. Augalų augimą skatinantys mikroorganizmai 14
1.4. Probiotikų vaidmuo augalams įsisavinat mineralinius elementus 16
1.5. Augalų reakcija į probiotikus 18
1.5.1. Monosacharidų kaupimasis 19
1.5.2. Antioksidantų kaupimasis 20
1.5.3. Askorbo rūgšties kaupimasis 21
1.5.4. Fenolinių junginių kaupimas 21
1.5.5. Antocianinų kaupimas 22
1.6. Dirvos agrocheminės savybės ir probiotikų poveikis jų kitimui 23
2. Medžiagos ir metodai 26
2.1. Probiotikais apdorotų augalų veislių charakteristika 26
2.3. Tyrimų objektai ir apdorojimo variantai 28
2.3.1. Morkų auginimas ir mėginių ėmimas 28
2.3.2. Veikliosios probiotikų koncentracijos nustatymas 29
2.3.3. Mažųjų laukelių metodas 30
2.3.4. Morkų auginimas ūkininkų laukuose ir mėginių ėmimas 30
2.3.5. Braškių auginimas ir mėginių ėmimas 31
2.3.6. Juodųjų serbentų auginimas ir mėginių ėmimas 32
2.3.7. Dirvos apdorojimas probiotikais 33
2.4. Kiekybinė monosacharidų analizė 33
2.5. Bendro karotinoidų kiekio įvertinimas 33
2.6. Antocianinų kiekio įvertinimas 34
2.7. Bendro fenolių kiekio įvertinimas 34
2.8. Askorbo rūgšties kiekio įvertinimas 35
2.9. Antioksidacinio aktyvumo įvertinimas 37
2.10. Statistinė duomenų analizė 38

3. Rezultatai 40
3.1. Probiotikų poveikis morkų šakniavaisiams 40
3.1.1. Veikliosios probiotikų koncentracijos parinkimas 40
3.1.2. Probiotikų poveikis morkų, užaugintų mažų laukelių metodu, morfometriniams parametrams 41
3.1.3. Probiotikų poveikis morkų, užaugintų ūkininkų laukuose, morfometriniams parametrams 42
3.2. Probiotikų poveikis morkų šakniavaisių biocheminei sudečiai 44
3.2.1. Probiotikų poveikis monosacharidų kaupimuisi morkų šakniavaisiuose.. 44
3.2.2. Probiotikų poveikis karotinoidų kiekiui morkų šakniavaisiuose 46
3.2.3. Probiotikų poveikis askorbo rūgšties kaupimuisi morkų šakniavaisiuose. 47
3.2.4. Probiotikų poveikis bendram fenolių kiekiui morkų šakniavaisiuose 48
3.2.5. Probiotikų poveikis morkų šakniavaisių antioksidaciniam aktyvumui..... 50
3.2.6. Probiotikų poveikis nitratų kiekiui morkų šakniavaisiuose 51
3.3.1. Probiotikų poveikis braškių vaisių morfometriniams parametrams ... 52
3.4. Probiotikų poveikis braškių vaisių biocheminei sudėčiai 53
3.4.1. Probiotikų poveikis bendram fenolių kiekiui braškių vaisiuose 53
3.4.2. Probiotikų poveikis antocianinų kaupimuisi braškių vaisiuose 54
3.4.3. Probiotikų poveikis askorbo rūgšties kiekiui braškių vaisiuose 55
3.4.4. Probiotikų poveikis antioksidaciniam aktyvumui braškių vaisiuose .. 56
3.5. Probiotikų poveikis juodųjų serbentų uogų morfometriniams parametrams 57
3.6.1. Probiotikų poveikis askorbo rūgšties ir bendram fenolių kiekiui juodųjų serbentų uogose 58
3.6.2. Probiotikų poveikis antocianinų kiekiui juodųjų serbentų uogose 60
3.6.3. Probiotikų poveikis juodųjų serbentų uogų antioksidaciniam aktyvumui. 61
3.7. Probiotikų poveikis dirvos agrocheminėms savybėms 62
Aptarimas 64
Išvados 75

Literatūros sąrašas 76
SUMMARY 102

ĮVADAS

Pagrindinis aplinkos apsaugos tikslas – išsaugoti natūralias ekosistemas, tačiau ne mažiau dėmesio skiriama ūkinių ekosistemų tvarumo stiprinimui, siekiant sukurti mokslu grįstas, aplinkai nekenksmingas augalų auginimo priemones. Viena iš aktualiausių šiuolaikinių tendencijų – probiotikų taikymas žemės ūkyje, siekiant skatinti augalų augimą, gerinti derliaus kokybę ir optimizuoti dirvos savybes. Iki šiol dauguma bandymų su probiotikais daugiausia orientuoti į lapines daržoves arba javus, o šakniniai ir uoginiai augalai, nepaisant jų maistinės ir ekonominės svarbos, lieka mažiau ištirti.

Šakniavaisiniai augalai, tokie kaip morkos, yra svarbus maistinių skaidulų, karotenoidų, fenolių ir vitaminų šaltinis. Jų augimą ir kokybę gali ženkliai paveikti tokie veiksniai kaip dirvožemio sudėtis, mikrobiologinis aktyvumas bei aplinkos stresas. Uoginiai augalai – braškės ir juodieji serbentai, išsiskiria dideliu antocianinų, askorbo rūgšties ir kitų antioksidantų kiekiu, tačiau jie taip pat yra jautrūs tiek biotiniams tiek abiotiniams veiksniams, kurie gali neigiamai paveikti derlių ir bioaktyviųjų medžiagų kaupimąsi. Tradiciškai augalų produktyvumas gerinamas taikant chemines trąšas ir apsaugos priemones, tačiau šie metodai kelia vis daugiau susirūpinimo dėl poveikio aplinkai, dirvožemio degradacijos ir likučių maiste.

Efektyvių mikroorganizmų (EM) koncepciją sukūrė Higa ir Parr (1994). EM – tai geruųjų bakterijų, mielių ir fermentuojančių grybų kompleksas, kuris, taikomas dirvožemiui ar augalams, gali pagerinti augalų augimą, skatinti simbiotinius ryšius su mikrobiota bei gerinti derliaus kokybę. Pastaraisiais metais vis plačiau kuriami augaliniai probiotiniai mikroorganizmų preparatai, paremti EM principu, ir jų gamyba vykdoma komerciniu mastu. Lietuvoje aktualūs Latvijoje gaminamų preparatų “ProbioHumus” ir “NaturGel” tyrimai, kuriais siekiama nustatyti šių produktų poveikį augalų augimui, derliaus kokybei bei dirvos agrocheminių savybių gerinimui. Atsižvelgiant į tai, šiame darbe siekiama įvertinti EM poveikį šakniavaisiniams (morkoms (*Daucus carota* L.)) ir uoginiams (juodiesiems serbentams (*Ribes nigrum* L.), braškėms (*Fragaria* × *ananassa* Duch.)) augalams. Tiriamas jų poveikis augimo intensyvumui, antioksidaciniam aktyvumui ir produktyvumui tiek ekologinėmis (auginant morkas, braškes ir juosuosius serbentus), tiek neekologinėmis (auginant morkas) auginimo sąlygomis. Šios augalų kultūros pasirinktos dėl savo aukštos maistinės vertės, ekonominės svarbos bei didelio potencialo reaguoti į mikrobiologines priemones.

Atlikti tyrimai sudaro pagrindą aplinkai draugiškos technologijos kūrimui, skirtai ūkininkavimo sistemoms. Disertacijoje pateikti rezultatai gali būti svarbūs plėtojant naujas priemones, skatinančias ekologinių produktų gamybą ir tvaraus ūkininkavimo plėtrą, gerinant dirvos agrochemines savybes ir didinant derlių ekologiškomis priemonėmis.

DARBO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI

Tikslas: Įvertinti probiotikų poveikį šakniavaisinių ir uoginių augalų augimui, vystymuisi ir derliaus kokybei bei agrocheminėms dirvos savybėms.

Tikslui pasiekti buvo iškelti šie uždaviniai:

1. Įvertinti probiotikų poveikį šakniavaisinių ir uoginių augalų derliui ekologinėse ir neekologinėse sistemose.
2. Nustatyti probiotikų įtaką augalų kokybės parametrams: monosacharidų, askorbo rūgšties, fenolių, karotinoidų, antioksidacinio aktyvumo ir nitratų kaupimuisi.
3. Įvertinti dirvos agrocheminių savybių pokytį taikant probiotikus skirtingomis auginimo sąlygomis.

GINAMIEJI TEIGINIAI

1. "ProbioHumus" probiotikas padidina morkų, braškių ir juodųjų serbentų derlių ekologiniuose laukuose.
2. Ekologiniuose laukuose auginamos morkos sukaupia daugiau monosacharidų nei neekologiniuose laukuose.
3. Probiotikų mišinio poveikyje reikšmingai padidėja šakniavaisinių ir uoginių augalų antioksidacinis aktyvumas.
4. Tirtieji probiotikai neturi reikšmingo poveikio nitratų kaupimuisi tiek ekologiniuose, tiek neekologiniuose laukuose.
5. Tirtieji probiotikai pagerina dirvos agrochemines savybes.

DARBO NAUJUMAS

Ši disertacija papildo esamas mokslines žinias apie biologinių priemonių, tokių kaip probiotikai, taikymą tiek ekologinėje, tiek neekologinėje augalininkystėje, ir jų poveikį augalų biocheminėms savybėms, produktyvumui ir dirvožemio kokybei. Iki šiol dauguma tyrimų buvo atliekami kontroliuojamomis sąlygomis arba apsiribodavo viena augalų rūšimi ir viena auginimo sistema, todėl šio darbo išskirtinumas – tyrimas realiomis lauko sąlygomis, apimantis skirtingas augalų rūšis. Darbas užpildo informacijos spragą, susijusią su probiotikų veiksmingumu skirtingomis tiek ekologiškomis, tiek neekologiškomis sąlygomis bei jų poveikiu ekologinių rodiklių visumai: nuo antioksidacinio junginių kiekio augaluose iki dirvožemio agrocheminių pokyčių taikant probiotikus. Be to, šis darbas prisideda prie tvaresnio žemės ūkio vystymo konceptualizavimo, atskleisdamas probiotikų potencialą kaip aplinkai palankią alternatyvą, mažinančią priklausomybę nuo sintetinių trąšų ir stiprinančią biologinės įvairovės bei dirvožemio gyvybingumo palaikymą.

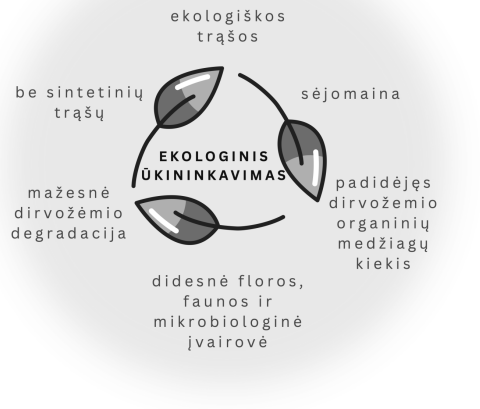
PRAKTINĖ REIKŠMĖ

Tyrimo rezultatai rodo, kad probiotikų naudojimas gali tapti naudingu sprendimu tiek ekologiniuose, tiek neekologiniuose ūkiuose siekiant didinti daržovių ir uogų derlių, gerinti jų kokybę bei stiprinti dirvožemio agrocheminį aktyvumą. Nustatyta, kad probiotikai yra veiksmingi mažomis dozėmis, todėl jų taikymas gali padėti sumažinti cheminių trąšų poreikį neekologinėje ūkininkavimo praktikoje bei užtikrinti didesnį tvarumą ekologiniuose ūkiuose. Be to, šios priemonės skatina augaluose antioksidancinių junginių susidarymą, o tai didina produkcijos pridėtinę vertę bei atitinka augantį vartotojų poreikį sveikesniems produktams. Disertacijoje pateikti duomenys gali būti naudingi tiek ūkininkams, tiek žemės ūkio konsultantams, diegiant biologines priemones į skirtingas auginimo praktikas.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Ūkinė ekosistema: ekologinis ir neekologinis žemės ūkis

Ūkinės ekosistemos apima žmogaus valdomas gamtines sistemas, kuriose vykdoma žemės ūkio veikla, siekiant užtikrinti maisto, pašarų, žaliavų ir energijos tiekimą. Šios ekosistemos gali būti klasifikuojamos pagal naudojamas praktikas, įskaitant ekologinį ir neekologinį žemės ūkį (FAO, 2015). Neekologinis žemės ūkis, dažnai vadinamas tradiciniu ar intensyviu, remiasi sintetinėmis trąšomis, pesticidais, siekiant padidinti derlių ir užtikrinti maisto tiekimą augančiai pasaulio populiacijai (Zhang et al., 2015). Tačiau šios praktikos gali sukelti neigiamų aplinkosauginių pasekmių, tokių kaip dirvos degradacija, biologinės įvairovės nykimas ir vandens tarša (Reganold, Wachter, 2016). Ekologinis žemės ūkis, priešingai, siekia išlaikyti ir stiprinti ekosistemų funkcijas, naudodamas natūralias trąšas, sėjomainą, kompostavimą ir biologinę kovą su kenkėjais (Trewavas, 2001; Gamage et al., 2023) (1 pav.). Šios praktikos ne tik mažina neigiamą poveikį aplinkai, bet ir prisideda prie dirvos būklės, biologinės įvairovės išsaugojimo ir klimato kaitos mažinimo (Niggli, 2015).



1 pav. Ekologinio ūkininkavimo praktikos ir poveikis (Pagal Gamage et al., 2023).

Figure 1. Organic Farming Practices and Their Impacts (Gamage et al., 2023).

Taikant ekologinę žemdirbystę gaunamas 13–34 % mažesnis derlius, palyginus su neekologinėmis auginimo sistemomis (Seufert et al., 2012). Bet yra sutariama, kad ekologinis žemės ūkis daro mažesnį poveikį aplinkai vienam užimamam žemės plotui nei neekologinis žemės ūkis (Tuomisto et al.,

2012). Jeigu visas ūkininkavimo regionas pereitų prie ekologinės žemdirbystės, sumažėtų jo poveikis aplinkai (pavyzdžiui, padidėtų biologinė įvairovė), o dirvos, vandens, oro ir maisto užterštumas iš esmės sumažėtų (Eyhorn et al., 2019). Siekiant apsaugoti ateities kartas nuo neigiamų intensyvaus ūkininkavimo pasekmių, būtina pereiti prie tvaresnių, aplinkai palankesnių ūkininkavimo praktikų, tokių kaip ekologinis žemės ūkis, kartu atkuriant ir ilgalaikį dirvožemio derlingumą (Geissen et al., 2021).

1.2. Ekosistemos komponentė – rizosfera ir fitomikrobiomas

Ekologinėje žemdirbystėje ypatingas dėmesys skiriamas rizosferai – dirvos nišai aplink augalų šaknis, kuri pasižymi ypač intensyvia biologine veikla (Kuppe et al., 2022). Rizosferoje gyvena įvairūs mikroorganizmai, tokie kaip bakterijos, grybai, virusai bei bestuburiai, kurie sudaro itin dinamišką ir biochemiškai aktyvią sąveikų sistemą (Adedayo, Babalola, 2023; Thepbandit, Athinuwat, 2024). Ši dirvos niša yra laikoma viena svarbiausių sąsajų žemėje, nes joje vyksta esminiai maistinių medžiagų apykaitos procesai bei augalų-mikroorganizmų sąveikos, lemiančios augalų augimą ir vystymąsi (Kuppe et al., 2022). Ekologinė žemdirbystė, orientuota į rizosferos mikrobiotos aktyvinimą, leidžia kurti tvarią ir aplinkai palankią žemės ūkio sistemą, kurioje mažėja priklausomybė nuo sintetinių trąšų ir pesticidų (Gupta et al., 2022).

Mikroorganizmai rizosferoje atlieka ne tik svarbias mitybos funkcijas, tokias kaip azoto fiksavimas ar fosforo mobilizavimas, bet ir prisideda prie augalų atsparumo stiprinimo, derlingumo palaikymo bei dirvožemio struktūros gerinimo (Thepbandit, Athinuwat, 2024). Pastarųjų metų tyrimai parodė, kad mikroorganizmų panaudojimas ne tik padidina augalų derlių, bet ir pagerina jų maistinę vertę, o netiesiogiai – gali prisidėti ir prie žmonių sveikatos gerinimo (Berendsen et al., 2012; Gavelienė et al., 2021; Mockevičiūtė et al., 2022).

Svarbu suprasti, kad augalai lauko sąlygomis nėra izoliuoti organizmai – jie yra sudėtinė ekologinės bendruomenės dalis, vadinamos fitomikrobiomu, kurią sudaro tiek augalo viduje gyvenantys endofitai, tiek išorinėje aplinkoje gyvenantys epifitai (Vandenkoornhuyse et al., 2015; Backer et al., 2018). Ši mikroorganizmų visuma kartu su augalu sudaro vadinamąjį holobiontą – funkcinį vienetą, kuriame mikroorganizmai ir augalas veikia kaip viena visuma (Smith et al., 2017). Natūraliose augavietėse rizosferos mikrobiota gali tiesiogiai paveikti augalų rūšinę sudėtį, biomasės kaupimą bei ekosistemos produktyvumą (Philippot et al., 2013).

Nepaisant to, kad modernios augalininkystės technologijos leidžia didinti produktyvumą, ilgainiui jos prisideda prie dirvožemio išsekimo (Gamage et

al., 2023). Aktyvi žemės ūkio veikla, ypač intensyvus dirvožemio naudojimas, perteklinis cheminių trąšų bei pesticidų vartojimas lemia organinės medžiagos (humuso) sluoksnio nykimą, mikrobiologinės įvairovės mažėjimą ir negyvųjų zonų susidarymą, kuriose beveik nebelieka biologinės veiklos (Lagomarsino et al., 2009; de Souza Vandenberghe et al., 2017; Gamage et al., 2023). Dažnai vieninteliu organinės medžiagos šaltiniu tampa tų pačių augalų liekanos, kurios negali užtikrinti pakankamo dirvožemio praturtinimo (Fasusi et al, 2021). Šios aplinkybės dar labiau išryškina rizosferos mikrobiotos vaidmens svarbą tvarioje žemdirbystėje.

1.3. Augalų augimą skatinantys mikroorganizmai

Augalų augimą skatinantys mikroorganizmai (PGPM) yra natūraliai dirvožemyje gyvenantys mikroorganizmai, kurie gali paveikti augalus skirtingais būdas: gali būti laisvai gyvenančios rizobakterijos, kurios gyvena augalo išorėje (epifitai) ir skatina augalo augimą išskirdami antrinius metabolitus į dirvą, arba endofitai, kurie gyvena augalų audiniuose ir/arba ląstelėse ir tiesiogiai keičia metabolitus augale-šeimininke, taip teigiamai paveikdami jų augimą (Berlec, 2012; Menedez, Garcia-Fraile, 2017). Augalų probiotikų naudojimas tvaraus ūkininkavimo praktikoje tapo naujoviška ir aplinką tausojančia technologija, gerinančia ne tik derlių, dirvožemio kokybę, bet ir mažinančia cheminių trąšų bei pesticidų naudojimą ir suteikia galimybę išmaitinti pasaulio gyventojus tvariu būdu (Bargaz et al., 2018; Shah et al., 2021).

2019 metais, remiantis ES naujuoju reglamentu 2019/1009, augalų biostimuliatoriai buvo apibrėžti kaip priemonės skirtos skatinti augalų mitybos procesus, turint vienintelį tikslą, pagerinti vieną ar daugiau iš šių augalo ir (arba) augalų rizosferos savybių: (1) maistinių medžiagų įsisavinimo efektyvumą, (2) atsparumą, (3) kokybės charakteristikas arba (4) ribotą maistinių medžiagų prieinamumą dirvožemyje arba rizosferoje”. Dar 2015 metais du Jardin (du Jardin, 2015) savo darbe pasiūlė suskirstyti biostimuliatorius į 8 kategorijas: (I) huminės medžiagos, (II) sudėtingos organinės medžiagos, (III) naudingi cheminiai elementai, (IV) neorganinės druskos, (V) jūros dumblių ekstraktai, (VI) chitinas ir chitozano dariniai, (VII) antitranspirantai ir (VIII) laisvosios aminorūgštys ir preparatai su mikroorganizmais, vadinami probiotikais.

Šiame darbe buvo naudoti komerciniai probiotikai “ProbioHumus” ir “NaturGel”, kurie savo sudėtyje turi efektyvių mikroorganizmų (EM). Ši samprata buvo sukurta profesorių Teruo Higa ir James F. Parr (Ryukyu universitetas, Japonija). EM yra atrinktų mikroorganizmų grupės, įskaitant

vyraujančias pieno rūgšties bakterijas ir mielių populiacijas bei mažesnis skaičius fotosintetinių bakterijų, aktinobakterijų ir kitų mikroorganizmų. Visi šie mikroorganizmai tarpusavyje dera ir gali koegzistuoti skystoje kultūroje (Higa, Parr, 1994). Idėja, kad probiotikai yra patikima alternatyva cheminių trąšų naudojimui, paskatino poreikį išsiaiškinti probiotikų veiksmingumą, kai jie naudojami kartu su mineralinėmis trąšomis (Gavelienė et al., 2021; Mockevičiūtė et al., 2022).

Siekiant įvertinti specifinių mikroorganizmų poveikį augalų augimui, šioje disertacijoje naudojami probiotikai yra sudaryti iš mikroorganizmų, pasižyminčių augimą skatinančiomis savybėmis. Tyrimams naudotų probiotikų sudėtyje yra: *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus* spp., *Rhodopseudomonas sphaeroides*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Azotobacter* spp., *Rhizobium* spp., *Bradyrhizobium* spp. bei *Trichoderma* spp. mikroorganizmai. Kiekvienas iš šių mikroorganizmų pasižymi unikaliais veikimo mechanizmais. Šios konkrečios mikroorganizmų rūšys geba fiksuoti azotą, sintetinti fitohormonus, pagerinti maisto medžiagų pasisavinimą bei padidinti augalų atsparumą patogenams ir aplinkos stresui (Zhao et al., 2018). *Bacillus* spp. yra viena iš pagrindinių PGPM mikroorganizmų rūšių, natūraliai kolonizuojančių augalų šaknis. *Bacillus subtilis* skatina augimą per metabolitų sekreciją, hormonų sintezę, fosfatų prieinamumą ir antimikrobinę veiklą (Poveda, González-Andrés, 2021). *Bacillus* bakterijos stimuliuoja fosforo, azoto, kalio bei mikroelementų (Fe, Zn) pasisavinimą, padidindamos augalų derlių (Sahin et al., 2004; Esitken et al., 2010). Taip pat šios bakterijos skatina augalų augimą įvairiais mechanizmais, įskaitant indukuotą sisteminį atsparumą (ISR – angl. *induced systemic resistance*), sukeliant mikrobiologinę konkurenciją rizosferoje. Tokie veikimo būdai leidžia šiems mikroorganizmams ne tik skatinti augalų vystymąsi, bet ir sustiprinti jų atsparumą abiotiniams ir biotiniams stresoriams (Choudhary, Johri, 2009). *Lactobacillus* spp. – tai gram teigiamos bakterijos, gebančios fermentuoti angliavandenius į pieno rūgštį. Jos gerina augalų atsparumą ir skatina sėklų daigumą, šaknų bei ūglių augimą (Limanska et al., 2013). *Lactobacillus* spp. gali slopinti ochratoksino A sintezę rūgštindamos terpę ir stabdydamos grybų augimą (El-Taher et al., 2012). *Rhodopseudomonas* spp. tai fotosintetinės bakterijos skatinančios augalų masės kaupimą ir produktyvumą. *Rhodopseudomonas sphaeroides* padidina šaknų ilgį, augalo svorį bei chlorofilo kiekį (Yin et al., 2012; Kang et al., 2014). *Saccharomyces cerevisiae* – mielės, jos gamina augalų augimo hormonus, sideroforus, ir pasižymi antimikrobiniu aktyvumu. Mielės padidina maisto medžiagų prieinamumą, ypač stresinėmis sąlygomis, bei stabdo patogenų dauginimąsi (Vargas, 2024). *Azotobacter* spp. – tai aerobinės, azotą fiksuojančios

bakterijos, gebančios gyventi tiek šaknų paviršiuje, tiek jų viduje. *Azotobacter* gamina hormonus bei sideroforus (Mazid, Khan, 2014; Sumbul et al., 2020). *Rhizobium* spp. genties bakterijos fiksuoja azotą simbiozėje su ankštiniais augalais. Inokuliacija šiomis bakterijomis pagerina azoto pasisavinimą ir augalų produktyvumą (Antoun et al., 1998). *Bradyrhizobium* spp. gerai žinomos dėl savo gebėjimo fiksuoti azotą simbiozėje su ankštiniais augalais, tačiau vis daugiau duomenų rodo, kad šios bakterijos gali sąveikauti ir ne tik su ankštiniais augalais. Tyrimai parodė, kad ne ankštiniai augalai, tokie kaip kukurūzai, ryžiai ir avižos, reaguoja į *Bradyrhizobium* buvimą rizosferoje – pastebimi specifiniai morfologiniai pokyčiai, tokie kaip šaknų plaukelių vingiuotumas, rodantis aktyvią signalinę sąveiką tarp augalo ir mikroorganizmo (Plazinsky et al., 1985; Terouchi, Syono, 1990). Šios bakterijos gali tiesiogiai paveikti augalų augimą gamindamos fitohormonus (Kumar et al., 2021). *Trichoderma* spp. – mikroskopiniai grybai, naudojami biologinei augalų apsaugai nuo patogenų (pvz., *Ralstonia solanacearum*). Jie taip pat aktyvuoja augalo gynybos mechanizmus ir skatina augimą (Konappa et al., 2020).

Parinkus tinkamas mikroorganizmų rūšis konkrečioms sąlygoms, galima pagerinti augalų augimo sąlygas. Be to, mikroorganizmų – probiotikų – taikymas žemės ūkyje gali sumažinti cheminių trąšų poreikį ir skatinti natūralius maistinių medžiagų ciklus dirvožemyje, taip prisidedant prie aplinkos apsaugos (Kandel et al., 2015).

Šiame skyriuje apžvelgti mikroorganizmai, kurie įeina į naudotų bandyme probiotikų sudėtį ir jų biologinės funkcijos augalų sąveikos kontekste. Tokiu būdu, remiantis esamais moksliniais duomenimis bei jų žinomu poveikiu augalams, buvo suformuluotas uždavinys, skirtas skatinti augalų augimą, produktyvumą bei prisidėti prie tvaraus žemės ūkio vystymo.

1.4. Probiotikų vaidmuo augalams įsisavinat mineralinius elementus

Probiotikų vaidmuo didinant mineralinių elementų įsisavinimą arba fiksuojant juos yra plačiai aptariamas (Franche et al., 2009; Wani et al., 2016; Zhu et al., 2024). Probiotikai, palengvindami maistinių medžiagų įsisavinimą, skatina augalų šaknis augti, dėl to didėja atsparumas biotiniam ir abiotiniam stresui (Backer et al., 2018). Nustatyta, kad PGPM fiksuoja atmosferos azotą, didina organinių medžiagų, tokių, kaip fosforas ir kalis prieinamumą (Wani et al., 2016; Zhu et al., 2024).

Azoto fiksacija yra vienas iš svarbiausių rizosferos mikroorganizmų atliekamų biologinių procesų (Wani et al., 2016). Biologinis azoto fiksavimas palaiko dirvos derlingumą ir pagerina pasėlių produktyvumą (Vance, Graham,

1995). Azotas yra svarbi aminorūgščių (baltymų), nukleino rūgščių (DNR ir RNR), adenozino trifosfato (ATP) bei nikotinamido adenino dinukleotido (NAD) sudedamoji dalis visose gyvose ląstelėse (Burén, Rubio, 2017). Nors atmosferoje azoto yra gausu (78 %), augalai jį gali pasisavinti tik redukuotomis arba oksiduotomis formomis (Gray, Smith, 2005). Biologinį azoto fiksavimą atlieka tam tikros bakterijos ir archėjos – vadinamos diazotrofinėmis, kurios N_2 paverčia augalams prieinamu amoniaku (NH_3) (Franche et al., 2009). Yra skiriamos simbiotinės (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Frankia*) ir nesimbiotinės azotą fiksuojančios (*Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus* ir kt.) bakterijos. Nors nesimbiotinės bakterijos fiksuoja mažiau azoto, jos efektyviai skatina ne ankštinių augalų augimą (Vessey, 2003; Bhattacharyya, Jha, 2012). Palyginus su ankštinių augalų tyrimais, kitų augalų ryšiai su naudingais mikroorganizmais, ypač epifitinėmis ar endofitinėmis diazotrofinėmis bakterijomis, yra daug mažiau ištirti (Eskin et al., 2014; Chen et al., 2015; Rosenblueth et al., 2018).

Fosforas yra antra pagrindinė maistinė medžiaga po azoto (Devau et al., 2009). Dirvožemyje didesnė dalis fosfoto yra nepasiekiama augalams dėl to, kad šis makroelementas yra gan netirpus ir greitai sudaro netirpius kompleksus su kitais dirvos elementais ($Ca_3(PO_4)_2$, $FePO_4$ ir kt.). Dirvoje netirpūs fosfatai išsiskiria lėtai ir yra reguliuojami kelių veiksnių, ypač pH (Devau et al., 2009). Mikroorganizmai (pvz. *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Enterobacter*) sugeba pakeisti netirpų fosforą į augalams prieinamą formą – ortofosfatą (Rajper et al., 2015). Fosforo prieinamumas remiasi tuo, kad bakterijos išskiria indolo-3-acto rūgštį (IAR) ir mažos molekulinės masės organines rūgštis, tokias, kaip karboksi-, skruzdžių, propiono, pieno, glikolitinę, gintaro ir fumaro, ko pasekoje dirvoje išsiskiria surištos fosfato formos, tokios kaip pvz. $Ca_3(PO_4)_2$ kalkėtuose dirvose (Kaur et al., 2016; Akram et al., 2017; Alori et al., 2017).

Kalis – trečias pagal svarbą, po azoto ir fosforo, mineralinės mitybos elementas. Augalų audiniuose kalis egzistuoja jonų pavidalu ir dalyvauja įvairiuose fiziologiniuose procesuose, tokiuose kaip fermentų aktyvinimas, jonų pusiausvyra ar baltymų sintezė, taip pat atlieka svarbų vaidmenį mažinant biotinį ir abiotinį stresą (Broadley et al., 2010; Bakki et al., 2024). Be to, kalis atlieka svarbų vaidmenį osmosiniame reguliavime, ir didesnis kalio kaupimasis audiniuose gali paskatinti vandens įsisavinimą esant sausros stresui (Wang, Wu, 2013). Tik labai maža dalis dirvožemyje esančio kalio yra laisvai tirpios formos (Malgioglio et al., 2022), kas parodo, kad yra būtina ieškoti tvarių šio makroelemento prieinamumo būdų sprendimo. Bakterijos, dalyvaujančios kalio prieinamumo procese, vadinamos kalį tirpinančiomis bakterijomis (KSB – angl. *K-solubilizing bacteria*). Yra nustatyta, kad

daugybė rūšių iš tokių bakterijų genčių, kaip *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Acidithiobacillus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia* pasižymi gebėjimu padidinti kalio prieinamumą augalams (Zeng et al., 2012; Ahmad et al., 2016). Tiesioginiai mechanizmai, kuriuos naudoja šios bakterijos yra dirvos rūgštinimas gaminant organines rūgštis ir chelatinių junginių gamyba, kurie sudaro kompleksus su kaliu ir padidina jo prieinamumą (Uroz et al., 2007; Zarjani et al., 2013; Parmar, Sindhu, 2013). Pagrindinės rūgštys, kurias gamina rizobakterijos, dalyvaujančios kalio prieinamumo didinimo procese, yra oksalo, gliukono, vyno, 2-ketogliukono, citrinos, obuolių ir gintaro (Sheng, He, 2006).

Atsižvelgiant į tai, kad azotas, fosforas ir kalis yra pagrindiniai makroelementai, lemiantys augalų augimą ir derlingumą, jų prieinamumas dirvožemyje yra ribotas (Gray, Smith, 2005; Devau et al., 2009). Daugelis probiotinių mikroorganizmų, ypač priklausantys PGPM grupei, geba efektyviai fiksuoti atmosferinį azotą, tirpinti netirpias fosforo ir kalio formas bei skatinti šių elementų pasisavinimą. Todėl probiotikų įtraukimas į žemės ūkio praktikas ne tik padeda sumažinti priklausomybę nuo sintetinių trąšų, bet ir gerina maisto medžiagų panaudojimo efektyvumą, palaiko dirvožemio būklę bei prisideda prie tvaraus, aplinką tausojančio ūkininkavimo modelio plėtros. Taigi, mikroorganizmų gebėjimas tirpinti ir mobilizuoti svarbiausius augalų mitybos elementus yra vienas iš pagrindinių argumentų, kodėl probiotikai turėtų būti integruojami į šiuolaikines žemdirbystės sistemas.

1.5. Augalų reakcija į probiotikus

Nuo seniausių laikų augalai atlieka esminį vaidmenį tenkinant gyvų organizmų, ypač žmonių, pagrindinius poreikius – aprūpinant maistu bei gydomosiomis priemonėmis. Šis funkcionalumas susijęs su augaluose natūraliai sintetinamais biologiškai aktyviais junginiais, vadinamais metabolitais, kurie lemia ne tik augalų gyvybines funkcijas, bet ir jų naudą žmogaus sveikatai bei pritaikymą pramonėje (Bhaskar et al., 2022). Augalai, reaguodami į išorinį mikroorganizmų poveikį, aktyvuoja kompleksinius morfologinius ir biocheminius procesus (Nejat, Mantri, 2017). Viena iš pagrindinių augalų reakcijų yra įvairių cheminių junginių – įskaitant fenolinių junginių, fitohormonų, baltymų ir antioksidantų sintezė, stiprinanti augalo gyvybines funkcijas (Zaynab et al, 2018; Bhaskar et al., 2022). Augalų medžiagų apykaita yra glaudžiai susijusi su PGPM metabolizmu ir daro vienas kitam reikšmingą poveikį (Fagard et al., 2014). Augalų pirminiai metabolitai atlieka ne tik struktūrines ar energetines funkcijas, bet taip pat veikia kaip signalinės molekulės (Kachroo, Robin, 2013).

Metabolinių junginių sintezė vyksta intensyvios augimo fazės metu, kai augalas turi pakankamai maisto medžiagų iš aplinkos. Daugelis tokių junginių yra naudojami kaip žymenys ir gali būti pirminiais (PM) arba antriniais metabolitais (AM). Priešingai nei pirminiai metabolitai, dalyvaujantys pagrindiniuose medžiagų apykaitos keliuose, gyvybiškai svarbiuose išgyvenimui, AM nėra būtini augimui ir gyvybei, tačiau jie atlieka svarbų apsauginį vaidmenį (Delgoda, Murray, 2017; Hussein, El-Anssary, 2018). Šiuo metu yra išskirta ir identifikuota apie du šimtai tūkstančių skirtingų AM (Kessler, Kalske, 2018). Juos galima klasifikuoti pagal cheminę struktūrą ir / arba biosintezės būdus (De Filippis, 2016; Hussein, El-Anssary, 2018; Ashraf et al., 2018). AM klasifikacija apima tris pagrindines grupes: terpenoidus, fenolius (turintys vieną ar daugiau hidroksilintų aromatinių žiedų) ir alkaloidus (nebaltyminiai azoto turintys junginiai, biosintetinami iš aminorūgščių, pavyzdžiui, tirozino). Kartu šios grupės sudaro apie 90 % visų AM (Ambrosini et al., 2016).

Tiek pirminis, tiek antrinis metabolizmas daro reikšmingą įtaką augalų augimui bei produktyvumui (Gupta et al., 2013). Nuolatinis energijos tiekimas yra būtinas norint užtikrinti veiksmingą gynybos reakciją (Bednarek, Osbourn, 2010). Tačiau mikroorganizmai gali manipuliuoti augalo metaboliniais procesais, ypač esant maistinių medžiagų trūkumui, taip padidindami savo mitybos poreikių tenkinimą (Arnaud et al., 2010).

1.5.1.Monosacharidų kaupimasis

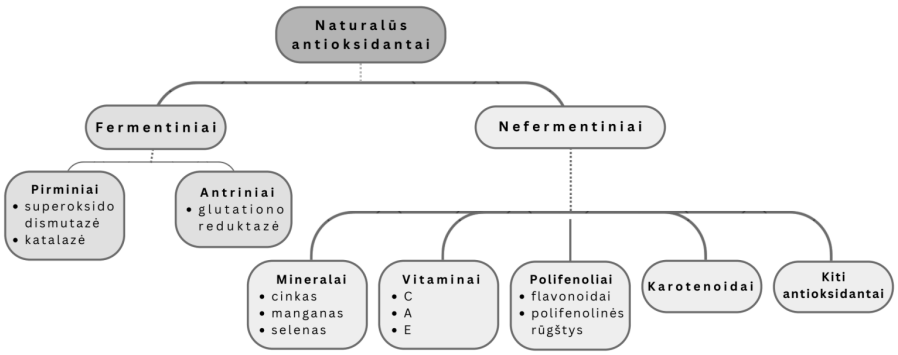
Monosacharidai yra angliavandeniai nesihidrolizuojantys į paprastesnius šio tipo junginius. Angliavandeniai yra ne tik svarbi maistinė medžiaga, energijos šaltinis, bet ir suteikia augalui saldų skonį ir tekstūros ypatybes (Northolt et al., 2004; Yamada et al., 2011). Monosacharidai yra sintetinami augalo lapuose fotosintezės metu ir naudojami augimui bei gyvybės palaikymui. Jų perteklius yra kaupiamas šaknyse, kad būtų panaudotas antraisiais augimo metais. Pirmiausia pradedama kaupti fruktozė bei gliukozė, vėliau šie monosacharidai jungiasi į sacharozę. Cukrų kiekis šaknyse dažniausiai didėja iki 60-90 dienų po sėjos, tuomet stabilizuojasi ir sudaro 6-12% šaknies sausosios masės. Aukšta aplinkos temperatūra bei sausas klimatas turi įtakos monosacharidų kaupimuisi (Pereira et al., 2020).

PGPM turi gebėjimą padidinti fotosintezės efektyvumą, nes padidina maisto medžiagų, ypač azoto, fosforo ir kalio, prieinamumą. Skatindami sveikesnį ir tvirtesnį šaknų sistemos augimą, PGPM pagerina augalo gebėjimą įsisavinti šias maisto medžiagas, kurios yra labai svarbios chlorofilo sintezei ir bendram fotosintezės pajėgumui (Patil, 2010). Intensyvesnė fotosintezė

lemia didesnę gliukozės gamybą, o tai prisideda prie geresnio augalų augimo ir didesnės monosacharidų koncentracijos (Pereira et al., 2020).

1.5.2. Antioksidantų kaupimasis

Antioksidantai yra junginiai, neleidžiantys susidaryti ROS, bei gebantys neutralizuoti jau susidariusius. Dėl šios savybės antioksidantai yra svarbūs saugant organizmą nuo oksidacinio streso bei jo sukeliamų pažeidimų. Augalai natūraliai sintetina įvairius antioksidantus – tiek fermentinius (pavyzdžiui superoksido dismutazė), tiek nefermentinius, tokius kaip fenoliniai junginiai, askorbatas, vitaminas C ir karotinoidai (2 pav.) – kurie padeda palaikyti redukcijos-oksidacijos reakcijos potencialą ir apsaugoti augalo ląsteles nuo žalingo ROS poveikio (Apel, Hirt, 2004; Yancey, 2005; Ahmad et al., 2010; Das, Roychoudhury, 2014; Hasanuzzaman et al., 2020). Šių molekulių kaupimas yra esminė apsaugos strategija augalų atsake į abiotinį ir biotinį stresą.



2 pav. Natūralių antioksidantų klasifikavimas (pagal Canadanovic-Brunet et al., 2011).

Figure 2. Classification of Natural Antioxidants according to (Canadanovic-Brunet et al., 2011).

Nustatyta, kad PGPM, kolonizuodami augalų šaknų sistemą, ne tik skatina augimą, bet ir aktyvuoja augalų antioksidacinę gynybą (Das, Mukherjee, 2021). Tai gali vykti per kelis mechanizmus: bakterijos stimuliuoja fitohormonų (pavyzdžiui., auksinų, salicilo rūgšties) gamybą, aktyvina sisteminį atsparumą (ISR – angl. *Induced Systemic Resistance*) ir skatina signalinių molekulių (pvz., H_2O_2 ar NO) išsiskyrimą, kurios, savo ruožtu, indukuoja antioksidantų biosintezę augalo audiniuose (Vessey, 2003; Bhardwaj et al., 2014; Sigh, 2024). Dėl šios sąveikos augalai pradeda

intensyviau sintetinti tokias medžiagas kaip fenoliniai junginiai, glutationas, prolinas ir askorbatas, kurie padeda neutralizuoti ROS perteklių ir mažina oksidacinį stresą. Tokiu būdu probiotikai ne tik padeda augalams augti, bet ir stiprina jų fiziologinį atsparumą nepalankioms aplinkos sąlygoms (Hussain et al., 2016; Hasanuzzaman et al., 2020).

1.5.3. Askorbo rūgšties kaupimasis

Vitaminas C (askorbo rūgšties L-enantiomeras) savo struktūroje turi 4–OH grupes, kurios lemia junginio chelatinį aktyvumą ir gebėjimą neutralizuoti ROS (Brewer, 2011; Hussain et al., 2016). Augaluose vitamino C kiekis didžiausias iki vaisiaus formavimosi stadijos, koncentracija priklauso nuo ląstelių augimo, ląstelėms pradėjus dalintis vitamo C sumažėja iki 90% (Ferreyra et al., 2007). Šiuo metu vis labiau domimasi askorbo rūgšties kiekio didinimu (Gavelienė et al., 2021; Mockevičiūtė et al., 2022), siekiant ne tik pagerinti vaisių kokybę, bet ir išauginti derlių, kuris būtų atsparesnis stresui (Fenech et al., 2019).

Probiotikai gali gaminti fitohormonus, pavyzdžiui, giberelinus, kurie skatina askorbo rūgšties gamybą augaluose (Singh, 2024). Įrodyta, kad inokuliavimas PGPM padidina bendrą augalų antioksidacinį pajėgumą, įskaitant didesnę askorbo rūgšties koncentraciją (Das, Mukherjee, 2021), o jos padidėjimas gali būti ypač naudingas augalams, patiriantiems aplinkos stresą, pavyzdžiui, sausrą ar patogenų ataką, nes padidėja augalo atsparumas stresui (Hussain et al., 2016; Hasanuzzaman et al., 2020; Sigh, 2024).

1.5.4. Fenolinių junginių kaupimas

Fenoliniai junginiai yra plačiausiai augaluose aptinkami antriniai metabolitai apimantys paprastus fenolius, fenolines rūgštis, kumarinus, flavonoidus, stilbenus, taninus, ligninus ir lignanus (Bothe et al., 1992). Jų kaupimas didėja veikiant įvairiems biotiniams ir abiotiniams veiksniams (Cheynier, 2012). Augalų fenoliai paprastai dalyvauja apsisaugant nuo ultravioletinės spinduliuotės arba patogenų, parazitų ir plėšrūnų agresijos, taip pat prisideda prie augalų spalvos. Jie paplitę visuose augalų organuose, todėl yra neatsiejama žmogaus mitybos dalis. Jie yra augalinio maisto (vaisių, daržovių, grūdų, alyvuogių, ankštinių augalų, šokolado ir kt.) ir gėrimų (arbatos, kavos, alaus, vyno ir kt.) sudedamosios dalys, iš dalies lemiančios bendras augalinio maisto organoleptines savybes (Dai, Mumper, 2010). Mokslininkai ir maisto produktų gamintojai vis labiau domisi polifenoliais dėl jų stiprių antioksidacinių savybių, jų gausos maiste ir patikimo poveikio

įvairių su oksidaciniu stresu susijusių ligų prevencijai (Manach et al., 2004; Iqbal, 2023).

Argentinos ir Vokietijos (Palermo et al., 2025) mokslininkų grupė savo tyrime parodė, kad PGPM sustiprina *PAL* (fenilalanino amoniakliazės) genų raišką: PGPM skatina *PAL* genų, ypač *MtPAL2*, *MtPAL3* ir *MtPAL4*, raišką. Iš jų *MtPAL3* labiausiai reagavo į augalo inokuliaciją su PGPM, o tai rodo, kad šis genas gali būti naudojamas kaip žymuo PGPM ir augalų sąveikai vertinti. Po inokuliacijos PGPM padidėjo *PAL* fermento aktyvumas. Šis fermentas atlieka svarbų vaidmenį pradiniame fenilpropanoidų kelio etape, kurio metu gaminami įvairūs fenoliniai junginiai. Bendras sustiprėjusios genų raiškos ir padidėjusio fermentų aktyvumo poveikis lėmė didesnį visų fenolinių junginių kaupimąsi augalo audiniuose.

1.5.5. Antocianinų kaupimas

Antocianinai – tai flavonoidų grupei priklausantys plačiai paplitę augalų pigmentai, kurie yra kaupiami ląstelės vakuolėje. Žiedlapiams, vaisiams, kai kuriais atvejais lapams jie suteikia raudonus, purpurinius, mėlynus atspalvius (Hopkins, Hüner, 2004). Gausiausia šių junginių koncentracija aptinkama uogų luobelėse (Olas, 2018). Sintetinami kaip antriniai metabolitai, antocianinai atlieka svarbias funkcijas. Lemdami augalo ryškias spalvas jie pritraukia apdulkintojus bei sėklų išnešiotojus, taip pat pasižymi antimikrobiniu poveikiu ir dideliu antioksidaciniu aktyvumu, dėl lapo audinių apsaugos nuo UV spinduliuotės pažaidų (Hopkins, Hüner, 2004).

Šių pigmentų sintezę stimuliuoja regimoji ir ultravioletinė šviesos, žema temperatūra bei azoto ir fosforo deficito sukeltas fiziologinis stresas (Hopkins, Hüner, 2004). Jų koncentracija auga uogoms nokstant – didžiausias kiekis nustatomas brandos stadijoje, uogoms pernokus antocianinų koncentracija mažėja (Rubinskienė et al., 2008; Krüger et al., 2012). Dėl lengvo išskyrimo ir pigmentacijos naudojami kaip natūrali alternatyva sintetiniams dažams maisto pramonėje, taip pat atlieka konservanto funkciją (Rodriguez-Amaya, 2016; Santos-Sánchez et al., 2017). Kosmetikos pramonėje taikomi kaip saugi alternatyva sintetetiniams antioksidantams (Chan et al., 2010; Soto et al., 2015; Westfall, 2015). Be antioksidantinio aktyvumo antocianinai pasižymi ir kitais mechanizmais, gerinančiais žmogaus sveikatą: jie gali daryti įtaką kancerogenezės procesui, reguliuoti proliferaciją, padeda sumažinti neurodegeneratyvinių ligų susirgimo tikimybę, veikia uždegiminius procesus bei mažina gliukozės koncentraciją kraujyje (Yousuf et al., 2016).

Probiotikai gali daryti didelę įtaką antocianinų kaupimuisi augaluose. Mokslininkai Li ir Ahammed (Li, Ahammed, 2023) nustatė, kad augalų

inokuliavimas PGPM padidina antocianinų sintezę, ypač reaguojant į aplinkos stresą ar patogenų ataką. PGPM gali skatinti antocianinų gamybą moduliuodamos augalų augimo reguliatorius, tokius kaip auksinai ir citokininai, kurie daro įtaką flavonoidinių junginių, įskaitant antocianinus, biosintezei (Dhawi, 2023). Be to, dėl PGPM sukelto intensyvesnio šaknų vystymosi ir maistinių medžiagų įsisavinimo augalas gali gauti reikiamų pirmtakų ir energijos antocianinų biosintezei sustiprinti (Malgioglio et al., 2022). PGPM taip pat gali sumažinti oksidacinio streso lygį augaluose, skatindami antocianinų kaupimąsi, kuris yra bendros augalo gynybos strategijos dalis (Li, Ahammed, 2023).

Pirminiai ir antriniai metabolitai atlieka esminį vaidmenį augalų augime, vystymesi ir atsake į aplinkos veiksnius. Metabolitų nagrinėjimas augaluose yra itin svarbūs siekiant suprasti, kaip probiotikai veikia ne tik augimo parametrus, bet ir biocheminius mechanizmus, susijusius su augalo būkle, atsparumu stresui bei kokybiniais rodikliais. Metabolitų analizė leidžia identifikuoti fiziologinius procesus, kuriuos aktyvina mikroorganizmų sąveika su augalu, ir padeda įvertinti probiotikų poveikį kaip tvarų alternatyvų metodą žemės ūkyje. Todėl augalų metabolitų tyrimai po poveikio probiotikais yra neatsiejama modernios augalų fiziologijos ir aplinkotyros dalis, suteikianti vertingų įžvalgų apie mikrobiologinių preparatų taikymo galimybes tiek produktyvumo, tiek augalų kokybės ir atsparumo aspektu.

1.6. Dirvos agrocheminės savybės ir probiotikų poveikis jų kitimui

Dirvos agrocheminės savybės – tai cheminės dirvos savybės, turinčios tiesioginę įtaką augalų mitybai, derlingumui bei produktyvumui. Šios savybės lemia, kiek ir kokių maisto medžiagų yra dirvoje, bei kaip lengvai jos prieinamos augalams. Svarbiausi agrocheminiai komponentai – humusas, bendras azotas, fosforas, huminės rūgštys ir organinės medžiagos (Plett at al., 2020). Jie yra svarbūs ne tik kaip medžiagų šaltiniai augalų audinių struktūrų vystymuisi, bet ir aktyviai dalyvauja augalų metabolizme. Humusas sudaro apie 80-85 % visų organinių medžiagų dirvoje. Jis gerina dirvos struktūrą ir vandens bei oro apykaitą, yra svarbus mikroorganizmų bei augalų mitybos šaltinis. Lietuvoje humuso kiekis skirtinguose šalies regionuose svyruoja nuo 1,5 iki 2,76 % (Staugaitis et al., 2009). Azotas yra pagrindinis augalų mitybos elementas. Didžioji jo dalis (0,07-0,37 %) dirvoje yra organinės formos ir jo daugiausia kaupiasi organiniame junginyje – humuse. Augalai gali įsisavinti tik mineralinį azotą – amonio (NH_4^+) ir nitrato (NO_3^-) jonus, kuriuos mikroorganizmai išskiria skaidydami organines medžiagas (Gregory et al., 2016). Pagal N kiekį ariamoji dirva skirstoma į keturias grupes: mažo (iki 0,2

%), vidutinio (0,21-0,3 %), pakankamo (0,31-0,4 %) ir didelio (daugiau kaip 0,4 %) N kiekio (Kaš et al., 2016).

Fosforas yra reikalingas daugelio gyvybiškai svarbių augalų procesų komponentas. Fosforo kiekis dirvožemyje yra palyginus pastovus ir jo kiekis taip greitai ir lengvai (kaip, pavyzdžiui, azotas) nekinta. Tačiau, dėl didelio pastovumo ir mažo tirpstamumo fosforas augalams dažnai tampa trūkstamu elementu (Ma et al., 2021). Bendras fosforo kiekis dirvožemyje gali svyruoti nuo 112 iki 600 mg/kg (Tian et al., 2021). Huminės rūgštys, pagrindinė humuso sudedamoji dalis, lemia humuso savybes natūralioje aplinkoje (Nardi et al., 2021). Organinė anglis – vienas pagrindinių dirvos kokybės, derlingumo ir ekologinio stabilumo rodiklių. Anglies kaupimas dirvožemyje padeda mažinti degradaciją ir gerina augalų mitybos sąlygas (Lange et al., 2015). Anglies akumuliavimas dirvožemyje ilgaamžėse formose ne tik palaiko ir didina organinės medžiagos kiekį, bet yra perspektyvus būdas reguliuoti dirvos degradaciją. Net ir nedidelis organinės anglies kiekio padidėjimas gali paveikti dirvos derlingumą (Lange et al., 2015). Taigi dirvos "sveikatos" palaikymas yra būtinas ekosistemų funkcionavimui ir gamtos apsaugai (Lal, 2016). Deja, cheminių trąšų naudojimas augalininkystės reikmėms lėmė pasaulinę dirvos, vandens ir oro taršą. Apie trečdalis visos ariamos žemės pasaulyje yra paveikta degradacijos (Pimental et al., 1995), o FAO duomenimis (2015), pasėlių derlius dėl dirvos erozijos gali sumažėti net iki 50 %. Taikant naujausias daug sąnaudų reikalaujančias ūkininkavimo sistemas ir technologijas, cheminių trąšų (sudarytų iš azoto, fosforo ir/arba kalio) naudojimas buvo per didelis, kad būtų patenkinti augalų maistinių medžiagų poreikiai ir padidintas žemės ūkio produktyvumas visame pasaulyje (Montgomery, Biklé, 2021). Lietuvoje taip pat stebimas dirvos kokybės blogėjimas: apie 20 % Vidurio Lietuvos ir net 74 % Rytų Lietuvos dirvų pasižymi mažu arba labai mažu humuso kiekiu (LAMMC, 2014). Europos aplinkos agentūros duomenimis 60-70 % ES šalių dirvų būklė yra nepatenkinama (2030 m. ES strategija, 2021). Mokslininkai, nagrinėjantys dirvą ir jos savybes žvelgia per organinių medžiagų susidarymo ir funkcionavimo mechanizmo prizmę t.y. gamtoje nenutrūkstamai vyksta dirvodariniai procesai, kuriuos lemia mikroorganizmų veiklos (Lal, 2016). Yra pabrėžiama, kad dirvos kokybę lemia mikroorganizmų veikla – ypač šaknų zonoje, kur jie išskiria aktyvias medžiagas, tirpdančias mineralus ir paversdami juos augalams prieinamomis formomis (Wani et al., 2016; Franche et al., 2009; Bhattacharyya, Jha, 2012). Žinoma, kad naudojant biostimuliatorius, huminių rūgščių kiekis ir savybės kinta (Hungria et al., 2009). Probiotikai, kurių sudėtyje yra mikroorganizmų, gali būti perspektyvi

alternatyva dirvos struktūrai ir kokybei gerinti, išlaikant augalų produktyvumą (Hamid et al., 2021).

Šiuo metu aktyviai kuriami komerciniai probiotikai, galintys paveikti dirvos agrocheminę sudėtį. Nors jų veiksmingumas daugelyje žemės ūkio augalų jau įrodytas, dar trūksta tyrimų apie jų įtaką šakniavaisių ir uoginių augalų derliui bei bioaktyviųjų junginių kaupimuisi (Jiménez-Gómez et al., 2017). Probiotikų taikymas dirvos kokybės gerinimui yra inovatyvi, aplinką tausojanti technologija, padedanti skatinti augalų augimą ir didinti jų maistinę vertę.

2. Medžiagos ir metodai

2.1. Probiotikais apdorotų augalų veislių charakteristika

Morka (*Daucus carota* L.) – šakniavaisinis salierinių (*Apiaceae*) šeimos augalas, kilęs iš laukinės morkos (Muhammad et al., 2017). Dėl plataus pritaikymo ir didelio derliaus potencialo ji patenka tarp populiariausių daržovių pasaulyje (Dawid et al., 2015). Morkos vertinamos dėl jose esančių biologiškai aktyvių medžiagų: ß-karoteno, poliacetilenų, askorbo rūgšties, ląstelienos bei fenolinių junginių, turinčių antioksidacinių savybių (Ahmad et al., 2010; Ikram et al., 2024). Tyrime naudota veislė „Nipomo“, priklausanti vėlyvam, derlingam „Nantes“ tipo hibridui. Šios veislės šakniavaisiai yra cilindriški, intensyvios oranžinės spalvos, pasižymi sultingumu, geromis skoninėmis savybėmis ir tinka ilgam sandėliavimui bei mechanizuotam derliaus nuėmimui, todėl yra plačiai auginami Lietuvos ūkiuose (Venckus, 2014). Vidutinė morkų sudėtis: 86 % vandens, 10,6 g angliavandenių, 0,9 g baltymų, 0,2 g riebalų, 8285 µg ß-karotino, bei mikroelementų – Ca, Fe, P (Sharma et al., 2011).

Braškė (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) – *Rosaceae* šeimos uoginis augalas, vertinamas dėl skoninių savybių bei antioksidacinio potencialo (Mockevičiūtė et al., 2022). Vaisiai vartojami švieži arba perdirbti – džemų, sulčių pavidalu (Aaby et al., 2012). Naudota veislė „Deluxe”, kuri Lietuvoje yra plačiai auginama. Ji pasižymi pakankamu derlingumu, gera vaisių kokybe ir atsparumu transportavimui, todėl tinka tiek šviežiam vartojimui, tiek perdirbimui, kas yra svarbu atliekant bandymus su probiotiniais preparatais. Braškėse gausu vitamino C (10–80 mg/100 g), polifenolių, skaidulų, pektino ir mineralų, o vandens kiekis siekia apie 80 % (Tulipani et al., 2008; Giamperi et al., 2012). Sudėtiniai rodikliai priklauso nuo veislės, sunokimo lygio ir auginimo sąlygų (Capocasa et al., 2008; Giampieri et al., 2012). Ekologiškai išaugintos braškės pasižymi didesniu antioksidaciniu aktyvumu (Olsson et al., 2004; Jin et al., 2011; Crecente-Campo et al., 2012).

Juodasis serbentas (*Ribes nigrum* L.) – *Grossulariaceae* šeimos krūmas, plačiai auginamas Šiaurės Europoje dėl savo maistingų uogų, kurios yra laikomos “supervaisiais” (Lister et al., 2002; Stanys et al., 2019; Yang et al., 2019; Jurcaga, 2022). Dėl greito gedimo juodojo serbento uogos dažniausiai vartojamos perdirbtos sulčių, uogienės pavidalu ir taip pat gali būti naudojamos, kaip žaliava pigmentams (Mäkilä et al., 2014; Basegmez et al., 2017). Naudota veislė „Joniniai”, plačiai auginama Lietuvoje. Ji gerai prisitaikiusi prie vietinių agroklimatinių sąlygų, pasižymi pastovia kokybe, pakankamu derlingumu ir stabilia cheminės sudėties kompozicija, todėl

užtikrina tyrimų rezultatų pakartojamumą. Uogose gausu antocianinų, flavonolių, proantocianidinų ir kitų polifenolių (500–1342 mg/100 g) (Moyer et al., 2002; Bakowska-Barczak, Kolodziejczyk, 2011). Taip pat jos turi didesnį kalcio, fosforo ir kalio kiekį nei kitos uogos (Nile, Park, 2014). 2024 m. pasaulinė juodųjų serbentų produkcija siekė 68 850 t, iš jų 2 660 t – ekologiniuose ūkiuose (International Blackcurrant Association, 2025).

Bandymams pasirinkti augalai – morka, braškė ir juodasis serbentas – yra ekonomiškai svarbūs, plačiai auginami tiek ekologiniuose, tiek neekologiniuose ūkiuose. Visi trys pasižymi dideliu bioaktyvių junginių kiekiu, o jų šaknų sistema aktyviai sąveikauja su rizosferos mikroorganizmais. Šie augalai yra tinkami modeliai tiriant probiotinių preparatų poveikį augalų fiziologijai bei kokybei.

2.2. Tyrime naudoti probiotikai

Šiame tyrime buvo vertinamas dviejų komercinių probiotikų, sukurtų pagal efektyviųjų mikroorganizmų (EM) koncepciją, poveikis augalų augimui ir fiziologiniams rodikliams. Nors gamintojai deklaruoja, kad šie preparatai gerina dirvos mikrobiologinę sudėtį, struktūrą bei skatina augalų augimą, tačiau moksliškai pagrįstų ir eksperimentais patvirtintų duomenų apie jų veiksmingumą, ypač taikant šakniavaisiniams ir uoginiams augalams, yra nedaug.

“ProbioHumus” (Baltic Probiotics, Latvija) – tai koncentruotas skystas mikroorganizmų mišinys, skirtas dirvožemio mikrobiotos aktyvinimui bei augalų augimo skatinimui. Šio preparato sudėtis pagrįsta įvairių funkcinių grupių mikroorganizmais, kurie sąveikauja su augalų šaknų zona (rizosfera), kurdami palankias sąlygas tiek dirvožemio biologiniams procesams, tiek augalų fiziologiniams poreikiams. Viena pagrindinių „ProbioHumus” sudedamųjų dalių – pieno rūgšties bakterijos (gentys *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Lactococcus*). Šie mikroorganizmai gamina organines rūgštis (pvz., pieno rūgštį), vandenilio peroksidą bei specifinius antimikrobinius baltymus – bakteriocinus, kurie slopina patogeninių mikroorganizmų dauginimąsi rizosferoje. Tokiu būdu jos veikia kaip natūrali augalų apsaugos priemonė, stiprina augalų imuninį atsaką ir sumažina ligų paplitimą. Kita svarbi grupė – mielės (*Saccharomyces cerevisiae*) ir *Bifidobacterium* genties bakterijos (*B. animalis*, *B. bifidum*, *B. longum*), kurios dalyvauja organinių medžiagų fermentacijoje, skatina dirvožemio humifikaciją ir pagerina mineralinių maisto medžiagų mobilizaciją. Jos taip pat prisideda prie mikrobinės fermentinės veiklos aktyvumo, kuris yra svarbus tiek organinių

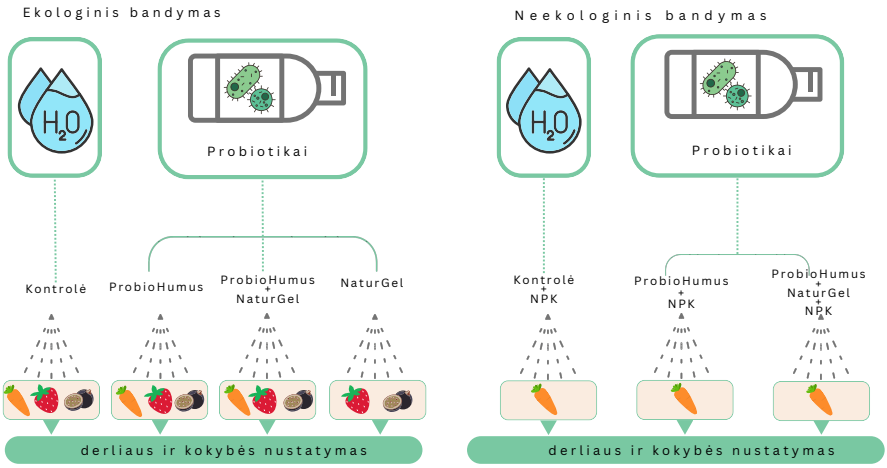
likučių skaidymui, tiek maisto medžiagų prieinamumui augalams. *Bacillus subtilis* – viena iš geriausiai ištirtų augalų augimą skatinančių mikroorganizmų, pasižymi keliomis svarbiomis funkcijomis: ji sintetina auksinus (augalų augimo hormonus), išskiria antibakterines medžiagas bei skatina stabilios mikrobinės rizosferos formavimąsi. Ši bakterija padeda augalams efektyviau įsisavinti maisto medžiagas bei prisideda prie jų atsparumo stresui didinimo. *Rhodopseudomonas palustris* ir *R. sphaeroides*. mikroorganizmai pasižymi gebėjimu fiksuoti azotą bei organinių junginių skaidymu. Jie gerina augalų mitybą, skatina simbiotinius ryšius rizosferoje ir gali veiksmingai palaikyti augalų augimą net ir mažo derlingumo dirvožemiuose.

„NaturGel“ yra kompleksinis probiotinis ir biostimuliacinis preparatas, kurio sudėtyje yra ne tik mikroorganizmai, bet ir svarbios organinės (fulvo ir huminės rūgštys)**,** mineralinės (makro- ir mikroelementai) bei biologiškai aktyvios medžiagos (vitaminai, fermentai, aminorūgštys). “NaturGel” sudėtyje esančios *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* bakterijos yra azotą fiksuojančios, kurios prisideda prie biologinio azoto fiksavimo proceso, mažindamos priklausomybę nuo sintetinių azoto trąšų. *Bacillus* genties bakterijos padeda mobilizuoti fosforą iš netirpių junginių, o *Trichoderma* genties grybai pasižymi antagonizmu prieš augalų patogenus bei stimuliuoja šaknų augimą per augimo hormonų (auksinų, giberelinų) sintezę. Fulvo ir huminės rūgštys gerina dirvožemio struktūrą, skatina mikroorganizmų aktyvumą, padidina jonų mainų pajėgumą ir skatina maisto medžiagų pasisavinimą per šaknis. Vitaminai (B grupė, E, A, karotinoidai) dalyvauja augalų medžiagų apykaitoje ir padeda palaikyti metabolinį aktyvumą streso sąlygomis. Makro- (N, P, K) ir mikroelementai (Fe, Mg, Mn, Zn, Cu) tiesiogiai papildo augalų mitybą bei veikia kaip kofermentai fermentų sistemoms, reikalingoms augimui ir apsaugai nuo oksidacinio streso.

2.3. Tyrimų objektai ir apdorojimo variantai

2.3.1. Morkų auginimas ir mėginių ėmimas

Morkos buvo auginamos kontroliuojamomis laboratorinėmis sąlygomis ir mažų laukelių metodu bei ūkininkų laukuose. Probiotikai “ProbioHumus” ir “NaturGel” buvo naudojami siekiant pagerinti morkų augimą, produktyvumą ir kokybę. Eksperimentas buvo atliktas taikant du skirtingus auginimo metodus – ekologinį ir neekologinį (3 pav.). Ekologiniame bandyme buvo naudojami probiotikai “ProbioHumus” ir “NaturGel”, neekologiniame – tirtų probiotikų derinys su mineralinėmis azoto, fosforo ir kalio trąšomis (N_{115}, P_{40} ir K_{152} kg/ha).



3 pav. Apibendrinta tyrimų schema.

Figure 3. Summary of the research design.

2.3.2. Veikliosios probiotikų koncentracijos nustatymas

Siekiant nustatyti veikliąją tirtųjų probiotikų koncentraciją, kuri pagerintų augalų augimą, kaip modelinis augalas buvo auginamos morkos. Morkų pasirinkimas šio tyrimo kontekste buvo pagrįstas jų trumpesniu auginimo laikotarpiu. Skirtingai nuo braškių ar juodųjų serbentų, kuriems reikalingi ilgesni vegetacijos ciklai, morkos yra vienmečiai augalai, nereikalaujantys ramybės laikotarpio ir galintys būti auginami kelis kartus per metus kontroliuojamomis sąlygomis. Be to, šie šakniavaisiai buvo pasirinkti kaip tinkamesnis modelinis objektas lyginant su uoginiais augalais dėl to, nes morkų pH yra artimesnis neutraliam (6-6,5), kas nulemia stabilesnį probiotikų gyvibingumą.

Morkų sėklos buvo sėjamos į auginimo indus su durpių substratu ir auginamos Climacell augalų auginimo kameroje (Medcenter Einrichtangen GmbH), esant pastoviai 24 °C temperatūrai, 60 mol m^2/s apšviestumui, 16/8 val. diena/naktis fotoperiodui ir 65 % drėgmei. Kiekvieną eksperimentinį vienetą sudarė 14 sėklų. Auginimo indai be probiotikų buvo kontroliniai, purškiami vandeniu. Tiriant probiotikų poveikį buvo naudojami šie apdorojimo būdai: 1) kontrolinis; 2) “ProbioHumus” 1 ml/100 ml; 3) “ProbioHumus” 2 ml/100 ml; 4) “ProbioHumus” 4 ml/100 ml; 5) “NaturGel” 1 ml/100 ml; 6) “NaturGel” 2 ml/100 ml; 7) “NaturGel” 4 ml/100 ml; 8) “ProbioHumus” 1 ml/100 ml + “NaturGel” 1 ml/100 ml; 9) “ProbioHumus” 2 ml/100 ml + “NaturGel” 2 ml/100 ml; 10) “ProbioHumus” 4 ml/100 ml + “NaturGel” 4 ml/100 ml. Augalų lapai buvo nupurkšti tirtų preparatų tirpalais

4-9 lapų tarpsnyje (BBCH 14-19) po 10 ml kiekvienam auginimo indui. Morkų derlius buvo surinktas po 72 auginimo dienų nuo auginimo pradžios ir iš karto išmatuoti morfometriniai parametrai. Aprašomosios statistikos rezultatai buvo gauti įvertinus 30 šakniavaisių iš 3 biologinių pakartojimų kiekvienam poveikio variantui.

2.3.3. Mažųjų laukelių metodas

Mažųjų laukelių bandymai buvo atlikti 2019 m. VMTI Gamtos tyrimų centro Lauko bandymų stotyje (54°77′ Š ir 25°29′ R) lengvai glėjiškuose rudžemiuose, 3 pakartojimais atsitiktinės atrankos būdu. Pagrindiniai ariamojo dirvos sluoksnio agrocheminiai parametrai buvo šie: pH 7,0-7,3, N_{min} 1,5-4,51 kg/ha, P_2O_5 248-250 mg/ha ir K_2O 214,0-214,6 mg/kg. Probiotinių preparatų tyrimams buvo įrengti 1 m^2 plotai kiekvienam bandymui: 1) kontrolinis; 2) "ProbioHumus" 2 ml/100 ml; ir 3) "ProbioHumus" ir "NaturGel" mišinys ("ProbioHumus + NaturGel") 2 ml/100 ml + 2 ml/100 ml. Kiekvienas laukelis buvo nupurkštas tirtais probiotikais prieš sėją ir BBCH 14-19 tarpsnyje. Ekologiniuose laukeliuose buvo naudojami tik probiotikai, neekologiniuose – probiotikai kartu su mineralinėmis trąšomis N_{115}, P_{40} ir K_{152} kg/ha. Buvo nustatyti šakniavaisių (po 30 iš kiekvieno tirto varianto) morfometriniai parametrai (žalia ir sausa masė, ilgis ir skersmuo) techninės brandos tarpsniu. Aprašomosios statistikos rezultatai buvo gauti įvertinus 30 šakniavaisių atrinktų voko (naudota X trajektorija, kad reprezentuotų visą lauką, mėginiai buvo kompozitiniai) principu kiekvienam poveikio variantui.

2.3.4. Morkų auginimas ūkininkų laukuose ir mėginių ėmimas

Morkos buvo auginamižos 2021 metais ūkininkų laukuose ekologiniame ir neekologiniame ūkiuose Pasvalio rajone, Lietuvoje, 56°12′ Š ir 24°25′44 R, tipiškuose glėjiškuose smėlžemiuose. Pagrindiniai ariamojo dirvos sluoksnio agrocheminiai parametrai ekologiniame ūkyje buvo šie: pH 7,0-7,3, N_{min} 2,3-8,42 kg/ha, P_2O_5 109-166 mg/ha, K_2O 97,0-177 mg/kg, o neekologiniame ūkyje – pH 7,0-7,3, N_{min} 3,1-18,2 kg/ha, P_2O_5 248-250 mg/ha ir K_2O 114,0-224,6 mg/kg.

Probiotikų poveikiui nustatyti buvo įrengti 1 ha laukai kiekvienam bandymo variantui ir nupurkšti šia seka: prieš sėją (birželio 1 dieną) ir BBCH 18-19 tarpsniu (liepos 21 dieną) (1 lentelė). Laukai apdoroti tokiais būdais: ekologiniai laukai – 1) kontrolinis; 2) "ProbioHumus" 2 l/ha; ir 3) "ProbioHumus + NaturGel" 2 l + 2 l/ha, o neekologiniai – naudojant tokį patį kiekį preparatų kartu su mineralinėmis trąšomis N_{115}, P_{40} ir K_{152} kg/ha (3 pav.).

1 lentelė. Tiriamų objektų apdorojimo būdai ir data

Table 1. Treatment methods and date for the investigated objects

Objektas - Object	Bandymo variantas - Trial version		Data - Date
	ekologinis - organic	neekologinis - non-organic	
	Apdorojimo būdas - Treatment method		
Morkos Carrots	Kontrolė - Control	Kontrolė + $N_{115}P_{40}K_{152}$	2021 06-01; 07-21.
	ProbioHumus (2 l/ha)	ProbioHumus (2 l/ha) + $N_{115}P_{40}K_{152}$	
	ProbioHumus + NaturGel (2 + 2 l/ha)	ProbioHumus + NaturGel (2 + 2 l/ha) + $N_{115}P_{40}K_{152}$	
Braškės Strawberries	Kontrolė - Control		2018 08-16; 2019 04-29.
	ProbioHumus (2 l/ha)		
	NaturGel (2 l/ha)		
	ProbioHumus + NaturGel (2 + 2 l/ha)		
Juodieji serbentai Blackcurrant	Kontrolė Control		2020 03-31; 05-04.
	ProbioHumus (2 l/ha)		
	NaturGel (2 l/ha)		
	ProbioHumus + NaturGel (2 + 2 l/ha)		
Dirva Soil	Kontrolė Control	Kontrolė + $N_{115}P_{40}K_{152}$	2019 09; 2020 09; 2021 04.
	ProbioHumus (2 l/ha)	ProbioHumus (2 l/ha) + $N_{115}P_{40}K_{152}$	
	ProbioHumus + NaturGel (2 + 2 l/ha)	ProbioHumus + NaturGel (2 + 2 l/ha) + $N_{115}P_{40}K_{152}$	

Šakniavaisių žalia ir sausa masės, skersmuo ir ilgis buvo matuojami techninės brandos tarpsniu. Iš kiekvieno bandymo varianto atsitiktinai atrinktas 20 kg derliaus mėginys voko principu (naudota X trajektorija, kad reprezentuotų visą lauką, mėginiai buvo kompozitiniai). Aprašomosios statistikos rezultatai buvo gauti įvertinus bent 30 šakniavaisių kiekvienam poveikio variantui. Kiekvieno bandymo lauko derlius buvo nuimtas atskirai. Po nuėmimo šakniavaisiai pasverti, nustatytas bendrasis morkų derlius, o pagal gautus duomenis apskaičiuotas derlingumas (t/ha).

Tolimesnei analizei nevalgomosios dalys buvo pašalintos, o morkų šakniavaisių mėginiai atrinkti atsitiktinai (5 kg) susmulkinti naudojant homogenizatorių. Biocheminiams parametrams nustatyti pusė homogenizuotų mėginių iš karto buvo užšaldyti -80 °C temperatūroje, o kita mėginių dalis buvo 24 val. džiovinta džiovinimo kameroje 105 °C temperatūroje ir homogenizuota iki miltelių.

2.3.5. Braškių auginimas ir mėginių ėmimas

Braškių augalai buvo auginami ekologinio ūkio laukuose Biržų rajone, Lietuvoje, 56°05′ Š 24°41′ R, glėjiškuose rudžemiuose. Ūkio ariamos dirvos sluoksnio pagrindiniai agrocheminiai parametrai buvo šie: pH 6,8–7,1, N_{min} 14,38–18,95 mg/kg, P_2O_5 459,2–505,6 mg/kg, K_2O 125,3–214,1 mg/kg. Braškių daigai buvo pasodinti eilėmis 2018 metų balandžio–gegužės mėnesiais, apie 36 000 augalų hektare. Probiotikų poveikiui nustatyti buvo įrengti 1 ha laukai kiekvienam bandymo variantui ir nupurkšti šia seka: 1) kontrolinis; 2) “ProbioHumus” 2 l/ha; ir 3) “ProbioHumus + NaturGel” 2 l + 2 l/ha 4) “Naturgel” 2 l/ha (3 pav.). Augalai buvo apdoroti probiotikais du

kartus: BBCH 91–92 tarpsniu (2018 m. rugpjūčio 16 dieną) ir BBCH 13–15 tarpsniu (2019 m. balandžio 29 dieną) (1 lentelė). Vaisiai mėginiams paimti 2019 m. birželio mėnesį.

Kiekvienam variantui panašaus dydžio ir vienodos brandos vaisių mėginiai buvo paimti atsitiktine tvarka voko principu (naudota X trajektorija, kad reprezentuotų visą lauką, mėginiai buvo kompozitiniai) iš 40 skirtingų augalų skirtingose lauko vietose. Šviežiai paimtų vaisių žalia ir sausa masės buvo išmatuotos ir pasvertos. Iš kiekvieno bandymo varianto atsitiktinai atrinktas 5 kg derliaus mėginys. Aprašomosios statistikos rezultatai buvo gauti įvertinus 30 augalų braškių vaisių kiekvienam poveikio variantui. Kiekvieno bandymo lauko derlius buvo nuimtas atskirai. Po nuėmimo braškių vaisiai pasverti, nustatytas bendrasis derlius, o pagal gautus duomenis apskaičiuotas derlingumas (t/ha).

2.3.6. Juodųjų serbentų auginimas ir mėginių ėmimas

Juodųjų serbentų augalai buvo auginami polaukio sąlygomis ekologiniame komerciniame ūkyje, Pasvalio rajone, Lietuvoje (54°38′ Š 23°56′ R). priesmėlyje. Ūkio ariamos dirvos sluoksnio pagrindiniai agrocheminiai parametrai buvo šie: pH 6,5–7,2, N_{min} 19,65–27,64 mg/kg, P_2O_5 402,3–554,5 mg/kg, K_2O 173,0–200,22 mg/kg. Probiotikų poveikiui nustatyti buvo įrengti 1 ha laukai kiekvienam bandymo variantui ir nupurkšti šia seka: 1) kontrolinis; 2) “ProbioHumus” 2 l/ha; ir 3) “ProbioHumus + NaturGel” 2 l + 2 l/ha 4) “Naturgel” 2 l/ha (3 pav.). Juodųjų serbentų augalai buvo apdoroti du kartus: ūglių vystymosi pradžioje (BBCH 31−33) (kovo 31 dieną, 2020 metais) ir kai išsiskleidė pirmieji žiedpumpuriai (BBCH 56−57) (gegužės 04 dieną, 2020 metais) (1 lentelė). Uogos skintos 2020 m. liepos mėn. Uogų mėginiai buvo panašaus dydžio ir vienodai subrendę pagal paviršiaus spalvą ir atsitiktinai paimti iš skirtingų augalų voko principu (naudota X trajektorija, kad reprezentuotų visą lauką, mėginiai buvo kompozitiniai).

Pilnai sunokusios uogos buvo pasvertos, išmatuotos. Morfometriniai matavimai buvo atliekami imant po 1000 uogų iš kiekvieno bandymo varianto pilno sunokimo stadijoje. Iš surinktos kiekvieno varianto uogų masės atsitiktinės atrankos būdu buvo atrinkta 5 kg uogų ir homogenizuota, po to iš karto užšaldytos ir laikytos -80 °C temperatūroje tolimesnei bendram fenolių kieko analizei. Taip pat uogos buvo džiovinamos 60 °C temp. džiovinimo kameroje 5 dienas, išmatuota sausa masė ir nustatytas monosacharidų kiekis. Kiekvieno bandymo lauko derlius buvo nuimtas atskirai. Po nuėmimo uogos pasvertos, nustatytas bendrasis derlius, o pagal gautus duomenis apskaičiuotas derlingumas (t/ha).

2.3.7. Dirvos apdorojimas probiotikais

Siekiant įvertinti probiotikų poveikį dirvožemio kokybei, buvo atlikta agrocheminė dirvos analizė. Tirtų laukų dirva buvo apdorota probiotikais tris kartus: (1) 2019 m. rudenį prieš sėjant žieminius kviečius, (2) 2020 m. rudenį po kviečių derliaus nuėmimo ir (3) 2021 m. pavasarį prieš sėjant morkas. Probiotikų tyrimams buvo įrengti 1 ha laukai kiekvienam bandymui: ekologiniai 1) kontrolinis; 2) "ProbioHumus" 2 l/ha; ir 3) "ProbioHumus" + NaturGel" mišinys 2 l + 2 l/ha, o neekologiniai – naudojant tokį patį kiekį preparatų kartu su mineralinėmis trąšomis N_{115}, P_{40} ir K_{152} kg/ha. 2019 ir 2021 metais dirva paimta analizei. Dirvos cheminę sudėtį nustatė Aplinkos vadybos ir audito instituto laboratorija.

2.4. Kiekybinė monosacharidų analizė

Monosacharidų kiekis morkose nustatomas spektrofotometrinės analizės metodu. Monosacharidų ekstrakcija atliekama 5 mg sausos medžiagos užpilant 5 ml pakaitintu 80 % etilo alkoholiu. Mėginiai išmaišomi ir centrifuguojami 20 min. 3000 aps./min. greičiu (MPW-351 R, Lenkija). Tuomet automatine pipete į švarius mėgintuvėlius nusiurbiamas supernatantas. Kaip dažas naudojamas orcinolis (Kerr et al., 1985**)**. Jis ištirpinamas 20 % sieros rūgštyje, kad būtų gautas 2 % tirpalas. Mėginiai analizei ruošiami paimant 1 ml supernatanto, 0,2 ml paruošto orcinolio tirpalo ir 2,8 ml 60 % sieros rūgšties. Tirpalai gerai išmaišomi stikline lazdele ir kaitinami vandens vonelėje 80 °C temperatūroje 30 min. Tuomet mėgintuvėliai dedami į ledo vonelę, atšaldomi iki 10-11 °C temperatūros ir matuojami spektrofotometru (Analytik Jena SPECORD® 210 PLUS, Germany), esant 425 nm bangos ilgiui. Mėginys kontrolei ruošiamas analogiškai, 1 ml supernatanto pakeičiant 1 ml 80 % etanoliu.

Monosacharidų kiekis morkose, paveiktose skirtingomis probiotikų kompozicijomis, apskaičiuojamas pagal standartinę gliukozės (0,1 ml/100 ml) kalibracinę kreivę.

2.5. Bendro karotinoidų kiekio įvertinimas

Bendro karotinoidų kiekio analizė morkose atlikta N,N-dimetilformamido ekstraktuose užpilant 0,05 g žalios masės. Bandymai buvo atlikti naudojant 3 pakartojimus iš kiekvieno varianto. Ekstrahavimas truko 4 dienas 4 °C temperatūroje. Ekstrakto sugertis matuota spektrofotometriškai prie 480 nm, 647 nm ir 664 nm bangų ilgio. Karotinoidų kiekis apskaičiuojamas pagal formulę (Wellburn, 1994):

$C = [1000 \times A_{480} – 0,89 \times (11,65 \times A_{664} – 2,69 \times A_{647}) – 52,0 \times 2 (20,8 \times A_{647} – 4,53 \times A_{664})]/245$

Karotenoidų kiekis viename šviežios masės vienete buvo apskaičiuotas pagal šią formulę:

$P = ((C \times V) \times$ praskiedimų kartai) / $M \times 1000$;

Kur A – absorbcija; C – koncentracija, mg/l; M – žalia masė, g; P – pigmentų kiekis, mg/g žalios masės; V – pigmento ekstrakto tūris, ml.

2.6. Antocianinų kiekio įvertinimas

Nustatant bendrą antocianinų kiekį braškių vaisių ir juodųjų serbentų uogų ekstraktuose, buvo panaudotas diferencinis pH metodas (Wrolstad et al., 2005; Sutharut, Sudarat, 2012).

Paruošiami 0,025 M kalio chlorido (pH = 1,0) ir 0,4 M natrio acetato (pH = 4,5) 1 M druskos rūgštimi parūgštinti buferiai (Fluka Analytical, Vokietija). Buferiai maišomi su augaliniu ekstraktu 1:4 santykiu ir laikomi 30 min., + 25 °C temperatūroje, tamsoje. Gauti pavyzdžiai matuojami spektrofotometru esant 520 nm ir 700 nm bangų ilgiui.

Apskaičiuojamas sugerties dydis pagal formulę:

$A = (A_{520} – A_{700})$ pH 1,0 – $(A_{520} – A_{700})$ pH 4,5

A– didžiausia sugerties reikšmė, esant nurodytam bangos ilgiui.

Apskaičiuojama antocianinų koncentracija pagal formulę:

$$(\text{mg/l}) = \frac{A\text{M}\times\text{W}\times\text{DF}\times 10^3}{\varepsilon\times l}$$

A – sugerties dydis;

MW – cianidin-3-glikozido molekulinė masė;

DF – skiedimų skaičius;

ε – cianidin-3-glikozido ekstinkcijos koficientas;

l – kiuvetės storis, cm.

2.7. Bendro fenolių kiekio įvertinimas

Bendras fenolinių junginių kiekis šakniavaisiniuouose bei uoginiuose augaluose nustatomas naudojant Folin-Ciocalteu (FC) reagentą (Anisimovienė et al., 2013).

Šakniavaisių bei uogų mėginiai buvo ekstrahuoti porceliano grūstuvėje su piestele 90 % vandeniniu metanoliu, parūgštintu 0,1 N druskos rūgštimi (HCl) (Fluka Analytical, Vokietija) santykiu 1:10 ir maišant magnetiniu maišytuvu 30 min. Užsandarintas ekstraktas maišomas 16 valandų tamsoje 4 °C temperatūroje magnetiniu maišytuvu, o po to nuosėdos pašalintos vandens vakuuminiu siurbliu, naudojant 0,2 µm membraninį filtrą (Whatman). FC

reagentas (Sigma-Aldrich, JAV) 10 kartų praskiedžiamas distiliuotu vandeniu. Tuomet paruošiamas 7,5 % Na_2CO_3 vandeninis tirpalas. Analizei tinkami mėginiai ruošiami paimant 1 ml augalinio metanolinio ekstrakto, kuris sumaišomas su 5 ml darbiniu FC reagentu ir 4 ml 7,5 % natrio karbonato tirpalu. FC reagentas turėtų būti įdedamas prieš natrio karbonato tirpalą, kad fenoliai nesioksiduotų ir nesusidarytų nuosėdos. Kontrolinis tirpalas ruošiamas analogiškai augalinį ekstraktą pakeitus 50 % metanoliu.

Paruošti mėginiai išmaišomi ir paliekami 30 min. kambario temperatūroje, tamsoje. Mėginiai matuojami spektrofotometru, esant 760 nm bangos ilgiui. Bendro fenolinių junginių kiekio įvertinimui ruošiami standartiniai galo rūgšties 10, 20, 40, 60, 80, 100 µg/ml koncentracijos tirpalai metanolyje. Bendras fenolinių junginių kiekis išreiškiamas galo rūgšties ekvivalentu (GRE) gramui augalinės medžiagos ir apskaičiuojamas pagal formulę (Viškelis, Bobinaitė, 2007; Siddiqui et al., 2017):

$$\mathrm{GRE} = \frac{\mathrm{c} \cdot \mathrm{V}}{\mathrm{m}}, \mathrm{mg/g}$$

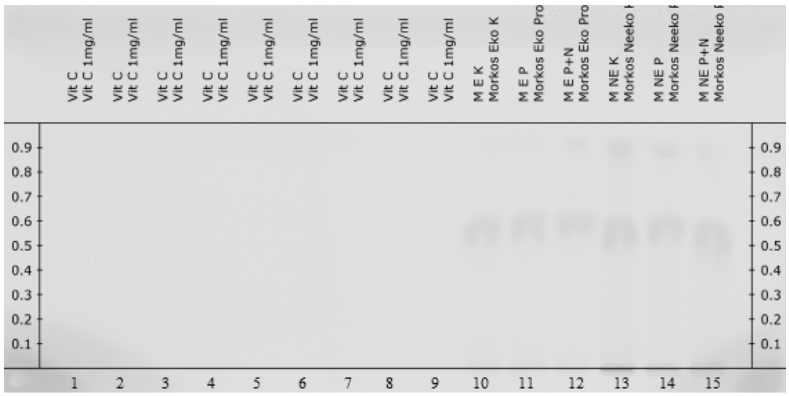
c – fenolinių junginių kiekis nustatytas pagal kalibracinę kreivę, mg/ml;
V – ekstrakto tūris, ml;
m – augalinio eksrakto svoris, g.

2.8. Askorbo rūgšties kiekio įvertinimas

Šakniavaisinių ir uoginių augalų vitamino C kiekis buvo matuojamas HPTLC metodu (didelio efektyvumo plonasluoksnė chromatografija (angl. *High performance thin layer chromotography*) pagal Chakraborthy (2009) sukurtą metodiką. Didelio efektyvumo plonasluoksnės chromatografijos metu naudojamos stacionari, mobili bei dujinė fazės. Mėginiai ruošiami naudojant užšaldytus susmulkintus augalus. 5 g augalo homogenizuojama grūstuvėje su piestele, užpilama 7,5 ml 50 % metanoliu Rotisolv (Carl Roth, Vokietija) ir laikoma 24 val. 4 °C temperatūroje. Paruošti mėginiai filtruojami metanoliu sudrėkintu filtriniu popieriumi ir centrifuguojami 15 min. 2000 aps./min. Supernatantas nupilamas į švarius mėgintuvėlius ir naudojamas analizei. Standartui paruošiamas 1 mg/ml askorbo rūgšties tirpalas 50 % metanolyje. Vitamino C analizės metu mėginiai užpurškiami ant plokštelės siauromis juostomis po 15 µl (CAMAG, 2019).

Kalibracinei kreivei sudaryti, kompiuterinėje programoje nustatoma, kad 1 mg/ml standartinis askorbo rūgšties tirpalas būtų užnešamas po 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 ir 0,9 µL ant chromatografinės plokštelės (4 pav). Kompiuterinės programinės įrangos „Vision CATS" pagalba, nubraižoma kalibracinė kreivė ir nustatoma tiesinė regresijos lygtis, pagal kurią apskaičiuojami vitamino C kiekiai mėginiuose.

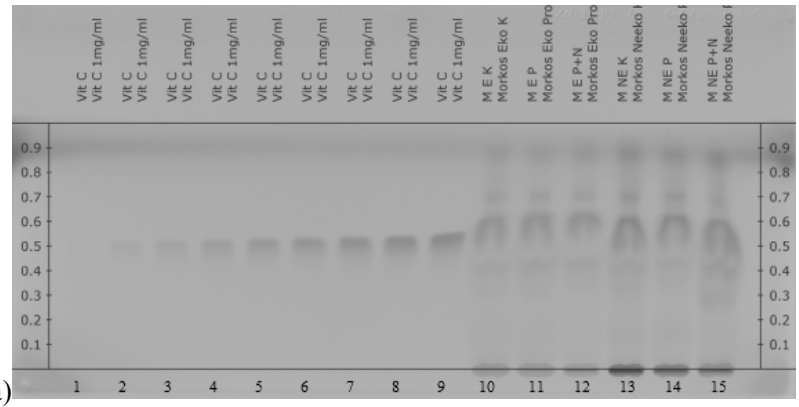
Plokštelė su užneštais mėginiais yra perkeliama į plokštelių kildinimui skirtą automatinę izokratinę sistemą. Kaip mobili fazė naudojamas etanolio ir 10 % acto rūgšties tirpalas, paruošiamas santykiu 9,5:0,5.
Vizualinis chromatografinės plokštelės įvertinimas atliekamas regimajame ir ultravioletiniame spektruose (5 a) ir b) pav.) (Camag, 2019).



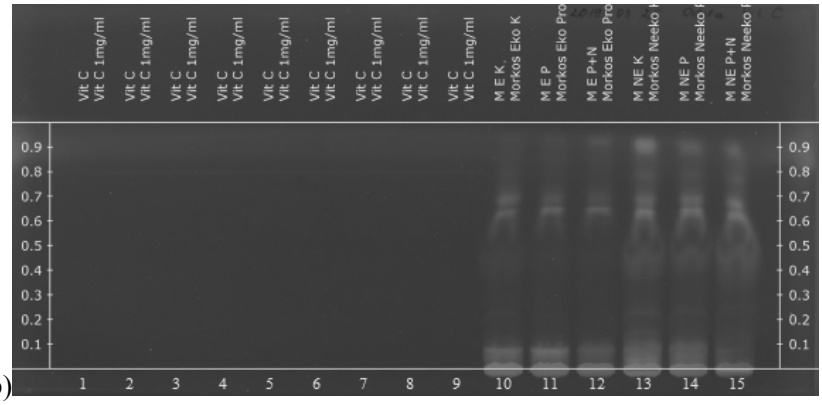
4 pav. Chromatografinės plokštelės kompiuterinis vaizdas regimajame spektre po mėginių užnešimo. 1-9 takeliai – vitamino C standartas, 10-12 morkų mėginiai iš ekologinio ūkio, 13-15 – neekologinio ūkio.

Figure 4. Computer-generated image of the chromatographic plate under visible light after sample application. Tracks 1–9: vitamin C standards; tracks 10–12: carrot samples from the organic farm; tracks 13–15: carrot samples from the non-organic farm.

(a)



(b)



5 pav. Chromatografinės plokštelės kompiuterinis vaizdas ultravioletiniame spektre po mėginių užnešimo, kai bangos ilgis 254 nm (a) ir 366 nm (b). 1-9 takeliai – vitamino C standartas, 10-12 morkų mėginiai iš ekologinio ūkio, 13-15 – neekologinio ūkio.

Figure 5. Computer-generated image of the chromatographic plate under ultraviolet light after sample application, at wavelengths 254 nm (a) and 366 nm (b). Tracks 1–9: vitamin C standards; tracks 10–12: carrot samples from the organic farm; tracks 13–15: carrot samples from the non-organic farm.

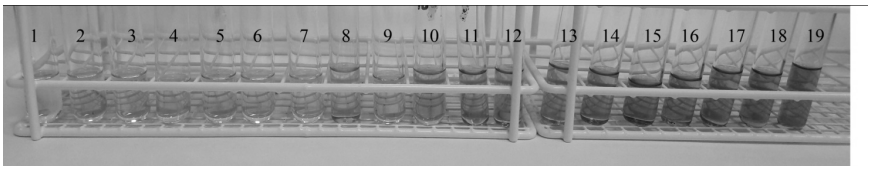
Klasikinės densitometrinės analizės metu chromatogramos takeliai nuskaitomi monochromatine šviesa, kurios intervalas gali būti pasirenkamas tarp 190 nm ir 900 nm. Tokiu būdu intervalą galima pasirinkti atsižvelgiant į analitės savybes bei jos aptikimo ribas (Camag, 2019). Vitamino C analizės metu intervalas buvo pasirinktas tarp 200 nm ir 370 nm. Visi reagentai buvo analitinės HPTLC kokybės iš Merck (Vokietija), o standartai buvo iš Sigma Chemical Co. (JAV).

2.9. Antioksidacinio aktyvumo įvertinimas

Antioksidantinis aktyvumas šakniavaisiuose ir uoguose nustatomas spektrofotometriškai pagal DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil-hidratas) radikalų surišimo metodą (Brand-Williams et al., 1995; Coklar, Akbulut, 2017). Tyrimo metu stebimas laisvojo radikalo gebėjimas prisijungti vandenilio atomą arba elektroną iš augalinio ekstrakto, tirpalo spalvai kintant iš violetinės į gelsvą (Canadanovic-Brunet et al., 2011).

Tiriamoji medžiaga ruošiama 5 g augalinės žaliavos užpilant 7,5 ml 90 % metanoliu parūgštintu 0,1 N HCl tirpalu ir laikoma 12 val. 4 °C temperatūroje, medžiagos ir terpės santykiu 1:10. Nuosėdos buvo pašalintos vandens vakuuminiu siurbliu, naudojant 0,2 µm membraninį filtrą parūgštintu

metanolio tirpalu. Šviežiai paruoštas 6,5 × 10^{-5} M DPPH (Fluka Analytical, Vokietija) ir metanolio tirpalas buvo maišomas magnetiniu maišytuvu 3 valandas 4 °C temperatūroje tamsoje. Augalų ekstraktai buvo sumaišyti su paruoštu DPPH tirpalu santykiu 1:20. Atitinkamai buvo paruoštas kontrolinis tirpalas metanolio pagrindu. Tirpalai buvo inkubuojami 30 minučių 25 °C temperatūroje tamsoje. Mėginiai analizei ruošiami paimant 3 ml DPPH tirpalo, 75 µl augalinio ekstrakto ir 75 µl parūgštinto metanolio tirpalo. Kontrolinis tirpalas ruošiamas analogiškai, augalinį ekstraktą pakeitus 90 % metanoliu. Paruošti mėginiai laikomi 30 min., 25 °C temperatūroje, tamsoje. Šviesos sugertis matuojama, esant 515 nm bangos ilgiui. Gauti rezultatai lyginti su butilinto hidroksitolueno (BHT) kalibracine kreive (6 pav.).



6 pav. Didėjant BHT, DPPH tolygiai šviesėja. Skaičiais nuo 1 iki 19 pažymėta koncentracija nuosekliai mažėjanti nuo 1000 µl/ml iki 10 µl/ml.

Figure 6. Increasing BHT concentration causes gradual DPPH discoloration. Concentrations are marked numerically from 1 to 19, decreasing sequentially from 1000 µl/ml to 10 µl/ml.

Augalinių ekstraktų antioksidacinis aktyvumas apskaičiuojamas pagal formulę ir išreiškiamas DPPH inaktyvinimo procentais (Sasikumar et al., 2009; Shahidi, Zhong 2015):

$$DPPH_{\text{inaktyvinimo\%}} = \frac{DPPH_{T0} - DPPH_{Ti}}{DPPH_{T0}} \times 100\%;$$

$DPPH_{T0}$ – kontrolės absorbcijos dydis (T0 = 0 min);
$DPPH_{Ti}$ – mėginio su augaliniu ekstraktu absorbcijos dydis (Ti = 30 min).

2.10. Statistinė duomenų analizė

Pritaikius aprašomosios statistikos metodus, gauti rezultatai buvo pateikti kaip aritmetiniai vidurkiai su standartiniais nuokrypiais (vidurkis ± SD). Duomenų pasiskirstymo normalumui įvertinti taikytas Šapiro ir Vilko testas (angl. *Shapiro–Wilk test*) (Raudonius, 2017). Nustatyta, kad dauguma duomenų buvo normaliai pasiskirstę. Norint įvertinti statistiškai reikšmingus skirtumus tarp dviejų veiksnių grupių, buvo taikytas dvikryptės dispersinės analizės (angl. two-way ANOVA) metodas. Statistiškai reikšmingi skirtumai tarp atskirų faktoriaus grupių porų buvo nustatyti taikant daugkartinio palyginimo analizę (angl. *post hoc*), naudojant Tukey HSD testą. Tais atvejais, kai duomenys neatitiko normalumo prielaidų, statistiškai reikšmingi skirtumai

tarp grupių medianų buvo vertinti Kruskalo ir Voliso H testu (angl. *Kruskal–Wallis H-test*). Grupėms palyginti poromis buvo taikytas Dunno z testas (angl. *Dunn's z-test*). Statistiniai skirtumai laikyti reikšmingais, kai $p < 0,05$. Statistinė duomenų analizė atlikta naudojant R Studio programinę įrangą, grafikų ir lentelių braižymui naudota Microsoft Excel programa.

3. Rezultatai

3.1. Probiotikų poveikis morkų šakniavaisiams

3.1.1. Veikliosios probiotikų koncentracijos parinkimas

Siekiant nustatyti veikliąją tirtųjų probiotikų koncentraciją iš viso išanalizuota 30 morkų šakniavaisių, užaugintų laboratorinėmis sąlygomis, kiekvienam poveikio variantui (7 pav.). Laboratoriniai tyrimai parodė, kad veikliausia probiotikų koncentracija yra 2% (2 lentelė), kas leidžia daryti prielaidą, jog ši koncentracija sudarė optimalias sąlygas probiotikų aktyvumui ir stabilumui.



7 pav. Morkos užaugintos kontroliuojamomis laboratorinėmis sąlygomis po "ProbioHumus" ir "NaturGel" preparatų poveikio. (a) Kontrolė; (b) "ProbioHumus" 2 ml/100 ml; (c) "NaturGel" 2 ml/100 ml; (d) "ProbioHumus" 2 ml/100 ml + "NaturGel" 2 ml/100 ml.

Figure 7. Carrots grown under controlled laboratory conditions treated with "ProbioHumus" and "NaturGel" preparations. (a) Control; (b) "ProbioHumus" 2 ml/100 ml; (c) "NaturGel" 2 ml/100 ml; (d) "ProbioHumus" 2 ml/100 ml + "NaturGel" 2 ml/100 ml.

2 lentelė. Probiotikų poveikis morkų šakniavaisių, auginamų kontroliuojamomis laboratorinėmis sąlygomis, morfometriniams parametrams. Pateiktos vertės yra trisdešimties šakniavaisių vidurkis su standartiniu nuokrypiu. Kiekvienos koncentracijos vidurkiai, pažymėti skirtingomis mažosiomis raidėmis, rodo statistiškai reikšmingą skirtumą lyginant su kontrole pagal daugakrtinio lyginimo Tukio HSD analizę ($p < 0,05$).

Table 2. Effect of probiotics on morphometric parameters of carrot rootcrops grown under controlled laboratory conditions. The presented values are the mean ± standard deviation of thirty root vegetables. The means of each concentration, marked with different lowercase letters, indicate a statistically significant difference compared to control according to Tukey's HSD multiple comparison analysis ($p < 0.05$).

Bandymo variantas Trial Version	Vidutinė masė (g) Average Mass (g)		Vidutinis ilgis (cm) Average Length (cm)	Vidutinis skersmuo (cm) Average Diameter (cm)
1ml/100ml	Žalia - Fresh	Sausa - Dry		
Kontrolė - Control	3,57 ± 0,32^{b}	0,31 ± 0,02^{b}	3,19 ± 0,30^{b}	1,31 ± 0,12^{b}
NaturGel	3,48 ± 0,27^{b}	0,33 ± 0,03^{b}	3,19 ± 0,39^{b}	1,29 ± 0,08^{b}
ProbioHumus	3,67 ± 0,19^{a}	0,35 ± 0,03^{b}	3,91 ± 0,36^{a}	1,40 ± 0,11^{a}
ProbioHumus + NaturGel	4,13 ± 0,20^{a}	0,40 ± 0,02^{a}	4,38 ± 0,42^{a}	1,73 ± 0,15^{a}
2ml/100ml				
NaturGel	3,74 ± 0,32^{b}	0,32 ± 0,02^{b}	4,61 ± 0,40^{a}	1,42 ± 0,12^{a}
ProbioHumus	3,96 ± 0,23^{a}	0,43 ± 0,02^{a}	5,75 ± 0,53^{a}	1,82 ± 0,18^{a}
ProbioHumus + NaturGel	4,87 ± 0,43^{a}	0,51 ± 0,03^{a}	6,38 ± 0,40^{a}	2,12 ± 0,16^{a}
4ml/100ml				
NaturGel	3,54 ± 0,32^{c}	0,31 ± 0,02^{b}	4,12 ± 0,25^{b}	1,39 ± 0,12^{b}
ProbioHumus	4,08 ± 0,36^{a}	0,45 ± 0,05^{a}	5,82 ± 0,61^{a}	1,85 ± 0,21^{a}
ProbioHumus + NaturGel	4,75 ± 0,35^{a}	0,49 ± 0,04^{a}	6,25 ± 0,58^{a}	2,03 ± 0,17^{a}

Nustatyta, kad probiotikai “ProbioHumus” ir “ProbioHumus + Naturgel” mišinys padidina morkų tiek žaliąją, tiek sausąją masę, lyginant su probiotikais neapdorotais augalais. Vidutinė vienos morkos žalia masė buvo didžiausia po poveikio “ProbioHumus + NaturGel” ir “ProbioHumus” probiotiku. Šakniavaisio žalia masė padidėjo 38 % ($p < 0,01$) ir 36 % ($p < 0,01$) atitinkamai lyginant su kontrole. Morkos šakniavaisio ilgis po apdorojimo “ProbioHumus” ir “ProbioHumus + NaturGel” padidėjo beveik dvigubai 80 % ($p < 0,01$) ir 98 % ($p < 0,01$) atitinkamai. Didžiausi morfometriniai parametrai buvo morkų apdorotų probiotikų mišiniu palyginus su kontrole.

3.1.2. Probiotikų poveikis morkų, užaugintų mažų laukelių metodu, morfometriniams parametrams

Mažų laukelių bandymų metu buvo įvertintas probiotikų “ProbioHumus” ir “ProbioHumus + NaturGel” poveikis morkų augimui tiek ekologinėmis, tiek neekologinėmis sąlygomis.

Ekologiniuose laukeliuose teigiamas poveikis buvo gautas naudojant “ProbioHumus” + “NaturGel” – šakniavaisių žalia masė padidėjo 13 % ($p < 0,01$). Iš 3 lentelėje pateiktų rezultatų akivaizdu, kad atitinkamai padidėjus morkų ilgiui ir/arba skersmeniui, padidėjo morkų svoris. Abiejų probiotikų mišinys skatino sausųjų medžiagų kaupimąsi. Neekologinėmis sąlygomis

augintų morkų biometriniai matavimai parodė, kad didžiausia vienos morkos masė gauta iš laukelių, paveiktų "ProbioHumus" ir "ProbioHumus" + "NaturGel" – šakniavaisio svoris padidėjo vidutiniškai 6-8 % ($p < 0,01$), palyginus su kontrole.

3 lentelė. Probiotikų poveikis morkų, užaugintų mažuose laukeliuose, morfometriniams parametrams. Pateiktos vertės – trisdešimties šakniavaisių vidurkiai su standartiniu nuokrypiu. To paties stulpelio vidurkiai, pažymėti skirtingomis mažosiomis raidėmis, rodo statistiškai reikšmingą skirtumą lyginant su kontrole, nustatytą taikant daugkartinio lyginimo Tukey HSD analizę ($p < 0,05$). *Pastaba*: Ekologinio bandymo varianto žaliosios masės duomenys įvertinti taikant Kruskal–Wallis kriterijų, po kurio atliktas post hoc Dunno testas ($p < 0,05$).

Table 3. Effect of probiotics on morphometric parameters of carrots grown in small field plots. The presented values are means of thirty root vegetables with standard deviation. Means within the same column marked with different lowercase letters indicate statistically significant differences compared to control according to Tukey's HSD multiple comparison test ($p < 0,05$). *Note*: Fresh weight data of the organic trial variant, due to non-normal distribution, were evaluated using the Kruskal–Wallis test, followed by a post hoc Dunn's test ($p < 0,05$).

Bandymo variantas Trial Version	Vigutinė masė (g) Average mass (g)		Vidutinis ilgis (cm) Average Length (cm)	Vidutinis skersmuo (cm) Average Diameter (cm)
ekologinis - organic	Žalia - Fresh	Sausa - Dry		
Kontrolė - Control	$99,45 \pm 10,67^{b}$	$11,30 \pm 0,96^{b}$	$15,21 \pm 1,27^{b}$	$1,31 \pm 0,12^{b}$
ProbioHumus	$93,53 \pm 8,16^{a}$	$10,51 \pm 0,96^{a}$	$17,33 \pm 2,12^{a}$	$1,40 \pm 0,11^{a}$
ProbioHumus + NaturGel	$113,00 \pm 9,35^{a}$	$11,73 \pm 0,89^{a}$	$18,25 \pm 1,89^{a}$	$1,73 \pm 0,15^{a}$
neekologinis - non-organic				
Kontrolė - Control	$126,51 \pm 7,34^{b}$	$12,99 \pm 0,59^{b}$	$17,58 \pm 1,73^{b}$	$3,19 \pm 0,2^{b}$
ProbioHumus	$136,29 \pm 9,86^{a}$	$13,87 \pm 0,76^{a}$	$15,98 \pm 1,89^{a}$	$3,86 \pm 0,33^{a}$
ProbioHumus + NaturGel	$134,66 \pm 10,22^{a}$	$13,78 \pm 0,82^{a}$	$18,18 \pm 1,48^{a}$	$3,51 \pm 0,25^{a}$

Apibendrinant, tiek ekologinėmis, tiek neekologinėmis sąlygomis naudoti probiotikai turėjo statistiškai patikimą ($p < 0,05$) teigiamą poveikį morkų augimui ir biomasės kaupimuisi, o "ProbioHumus + NaturGel" mišinys, kaip ir laboratorinėmis sąlygomis užaugintoms morkoms, pasirodė kaip ypač efektyvus derinys.

3.1.3. Probiotikų poveikis morkų, užaugintų ūkininkų laukuose, morfometriniams parametrams

Nustatyta, kad tiek ekologiniuose, tiek neekologiniuose laukuose užaugintų morkų vieno šakniavaisio vidutinė žalia masė buvo didžiausia po

apdorojimo “ProbioHumus” probiotikais – padidėjimas siekė 20 % ir 22 % ($p < 0,01$), atitinkamai, lyginant su kontrole (4 lentelė).

4 lentelė. Probiotikų naudojimo poveikis morkų, užaugintų ūkininkų laukuose, morfometriniams parametrams. Pateiktos vertės yra trisdešimties šakniavaisių vidurkis su standartiniu nuokrypiu. Vieno stulpelio vidurkiai, pažymėti skirtingomis mažosiomis raidėmis rodo statistiškai reikšmingą skirtumą lyginant su kontrole pagal daugkartinio lyginimo Tukio HSD analizę ($p < 0,05$).

Table 4. Effect of probiotic application on morphometric parameters of carrots grown in farmers' fields. The presented values are the mean ± standard deviation of thirty root vegetables. Means within a single column marked with different lowercase letters indicate a statistically significant difference compared with control according to Tukey's HSD multiple comparison test ($p < 0.05$).

Bandymo variantas Trial Version	Vigutinė masė (g) Average mass (g)		Vidutinis ilgis (cm) Average Length (cm)	Vidutinis skersmuo (cm) Average Diameter (cm)
ekologinis - organic	Žalia - Fresh	Sausa - Dry		
Kontrolė - Control	80,90 ± 2,30^{b}	8,97 ± 0,04^{b}	17,13 ± 0,2^{b}	2,66 ± 0,1^{b}
ProbioHumus	97,08 ± 5,55^{a}	11,08 ± 0,03^{a}	17,64 ± 0,1^{a}	2,69 ± 0,1^{b}
ProbioHumus + NaturGel	87,77 ± 3,02^{a}	9,65 ± 0,03^{a}	18,10 ± 0,25^{a}	2,78 ± 0,1^{a}
neekologinis - non organic				
Kontrolė - Control	95,04 ± 2,26^{b}	14,00 ± 0,09^{c}	15,10 ± 0,49^{b}	2,90 ± 0,12^{b}
ProbioHumus	115,60 ± 3,02^{a}	15,50± 0,05^{a}	17,35 ± 0,53^{a}	2,88 ± 0,28^{b}
ProbioHumus + NaturGel	99,33 ± 5,93^{a}	14,41 ± 0,06^{a}	18,44 ± 0,25^{a}	2,61 ± 0,10^{a}

Didžiausias šakniavaisių skersmuo ir sausųjų medžiagų vidutinė masė buvo po apdorojimo “ProbioHumus” probiotikais neekologiniame ūkyje. Didžiausias morkų vidutinis ilgis buvo po apdorojimo “ProbioHumus + NaturGel” neekologiniame ūkyje (21%, lyginant su kontroliniu ($p < 0,01$)). Didžiausia vidutinė sausa masė nustatyta morkų šakniavaisiuose, augusiuose neekologiniame ūkyje su “ProbioHumus” probiotiku. Ekologiniuose laukuose vidutinis derlius siekė nuo 16,31 t/ha iki 18,52 t/ha, o neekologiniuose – nuo 20,1 t/ha iki 22,64 t/ha. Didžiausias derlius abiejuose bandymuose buvo gautas naudojant “ProbioHumus” probiotikus. Lyginant neekologinių ir ekologinių morkų derlių, skirtumas sudarė vidutiniškai apie 17–23 %.

Ūkininkų laukuose užaugintos morkos tiek ekologinės, tiek neekologinės, po poveikio probiotikais pasižymėjo didesniais morfometriniais parametrais, kas rodo probiotikų potencialą padidinti šakniavaisių masę bei derlių. Aktyviausia veikla pasižymėjo “ProbioHumus” probiotikai.

Skyriaus 3.1. įžvalga: Morkos, apdorotos probiotikais, buvo auginamos trimis skirtingais metodais – laboratorinėmis sąlygomis, mažuose laukeliuose

bei ūkininkų laukuose. Tyrimo rezultatai parodė, kad probiotikų aktyvumas skyrėsi priklausomai nuo aplinkos, o tai leidžia įvertinti jų veiksmingumą skirtinguose augimo kontekstuose.

Laboratoriniai tyrimai buvo atliekami standartizuotoje aplinkoje, kur sąlygos yra pilnai kontroliuojamos – naudojamas dirvožemis, kuriame nėra konkurencinės mikrofloros, pastovi temperatūra ir drėgmė. Šių tyrimų privalumas yra tai, kad galima tiksliai įvertinti probiotikų poveikį be pašalinių veiksnių. Tačiau tokios sąlygos neatspindi tikrų agroekosistemų, todėl probiotikų poveikis gali būti ne iki galo tikslus.

Mažųjų laukelių bandymai buvo vykdomi lauko sąlygomis, tačiau vis dar esant galimybei kontroliuoti dirvožemio tipą, tręšimą, laistymą ir pH. Tokiose sąlygose atsiranda tam tikra mikroorganizmų konkurencija, tačiau ji vis dar ne tokia įvairi kaip ūkiuose. Tai, kad skirtumas tarp probiotikų poveikio laboratorijoje ir mažuosiuose laukeliuose buvo nežymus, galima paaiškinti tuo, kad abiem atvejais buvo išlaikytas aukštas sąlygų kontroliavimo lygis. Šiuo bandymu galima tiksliau modeliuoti lauko aplinką ir įvertinti probiotikų poveikį.

Ūkininkų laukuose rezultatai skyrėsi – aktyviausiai veikė probiotikas “ProbioHumus”. Skirtumas galėjo būti dėl to, kad ūkiuose neįmanoma pilnai kontroliuoti aplinkos sąlygų: dirvožemio struktūros, pH, drėgmės, patogenų paplitimo ir klimato sąlygų. Tokia aplinka pasižymi didele mikroorganizmų įvairove, todėl probiotikai turi prisitaikyti ir konkuruoti su esama mikroflora. Šie bandymai - tai galutinis etapas, parodantis tikrąjį probiotikų veiksmingumą ūkininkavimo praktikoje.

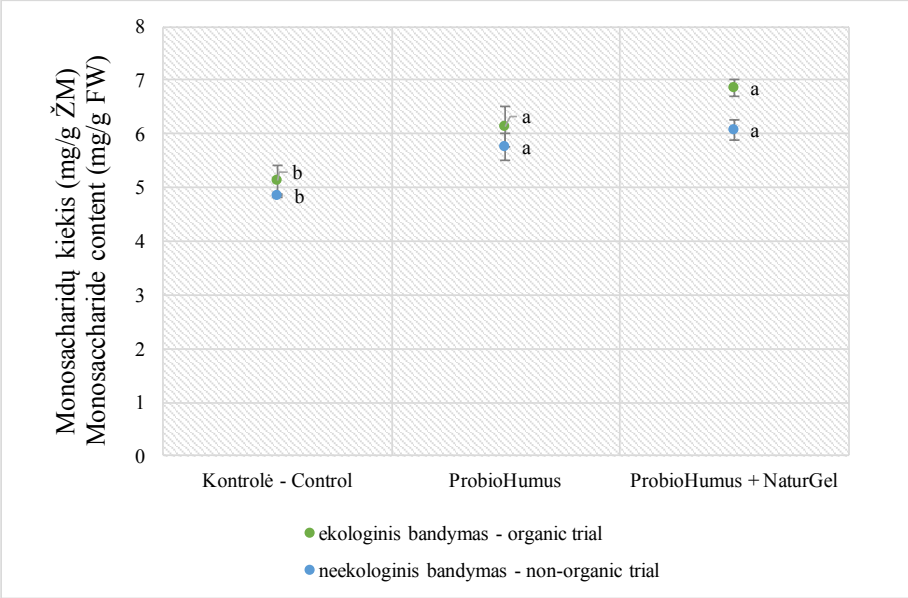
Apibendrinant, kuo aplinka artimesnė ūkininkavimo sąlygoms, tuo daugiau veiksnių daro įtaką probiotikų veikimui. Todėl tiriamųjų priemonių efektyvumui įvertinti būtina naudoti skirtingus bandymo etapus, nes tik taip galima gauti visapusišką vaizdą apie jų potencialą praktikoje.

3.2. Probiotikų poveikis morkų šakniavaisių biocheminei sudečiai

3.2.1. Probiotikų poveikis monosacharidų kaupimuisi morkų šakniavaisiuose

Morkų šakniavaisių monosacharidų kiekybinė analizė parodė, kad morkos, užaugintos ekologiniame ūkyje tiek be poveikio, tiek po poveikio probiotikais pasižymėjo didesniu monosacharidų kieku (8 pav.). Didžiausias jų kiekis buvo aptiktas ekologiškai užaugintose morkose paveiktose “ProbioHumus + NaturGel” – padidėjimas siekė 32 % ($p < 0,05$), o po poveikio “ProbioHumus” padidėjo 18 % ($p < 0,05$) lyginant su kontroliniu bandymu. Neekologinio ūkio morkų monosacharidų kiekis taip pat padidėjo

paveikus tiek “ProbioHumus” 19 % ($p < 0,05$), tiek probiotikų mišiniu – 25 % ($p < 0,05$) lyginant su kontrole.



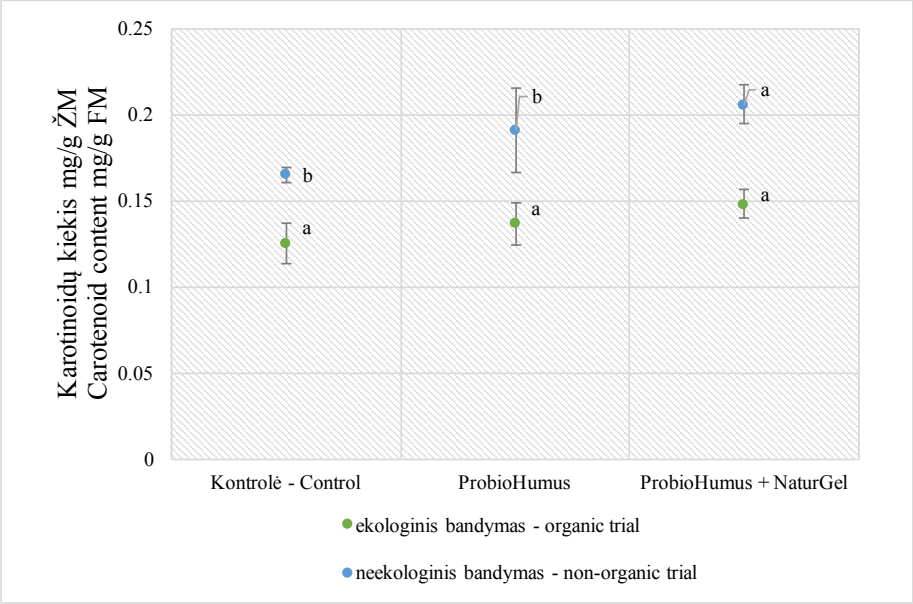
8 pav. “ProbioHumus” ir “NaturGel” poveikis morkų šakniavaisių monosacharidų kiekiui iš ekologinių ir neekologinių ūkių. Pateiktos vertės yra trijų biologinių pakartojimų vidurkis su standartiniu nuokrypiu. Skirtingų spalvų žymeklių mažosios raidės rodo statistiškai reikšmingą skirtumą lyginant su kontrole pagal daugkartinio lyginimo Tukio HSD analizę ($p < 0,05$).

Figure 8. Effect of “ProbioHumus” and “NaturGel” on the monosaccharide content in carrot roots from organic and conventional farms. The values presented are the means of three biological replicates with standard deviation. Lowercase letters on markers of different colors indicate statistically significant differences compared to the control, according to Tukey’s HSD multiple comparison test ($p < 0.05$).

Didesnį monosacharidų kiekį ekologiniame bandyme galėjo lemti esama dirvos aktyvi mikroflora, o probiotikai, veikdami sinergistiškai, dar labiau suaktyvino veiklą, pagerindami maistinių medžiagų pasisavinimą ir paskatindami metabolinius procesus, tokius, kaip pavyzdžiui fotosintezė, kas galėji padidinti angliavandenių kaupimąsi šaknyse.

3.2.2. Probiotikų poveikis karotinoidų kiekiui morkų šakniavaisiuose

Didžiausias karotinoidų pigmentų kiekis (0,21 mg/g) nustatytas morkose, augintose neekologiniame ūkyje ir apdorotose probiotikų mišiniu ($p < 0,05$). Nors po "ProbioHumus" probiotikų poveikio karotinoidų kiekis viršijo kontrolinių augalų lygį, skirtumas nebuvo statistiškai reikšmingas dėl didelės duomenų sklaidos (9 pav.).



9 pav. "ProbioHumus" ir "NaturGel" poveikis morkų šakniavaisių karotinoidų kiekiui iš ekologinių ir neekologinių ūkių. Pateiktos vertės yra trijų biologinių pakartojimų vidurkis su standartiniu nuokrypiu. Skirtingų spalvų žymeklių mažosios raidės rodo statistiškai reikšmingą skirtumą lyginant su kontrole pagal Kruskal–Wallis kriterijų, po kurio atliktas post hoc Dunno testas ($p < 0,05$).

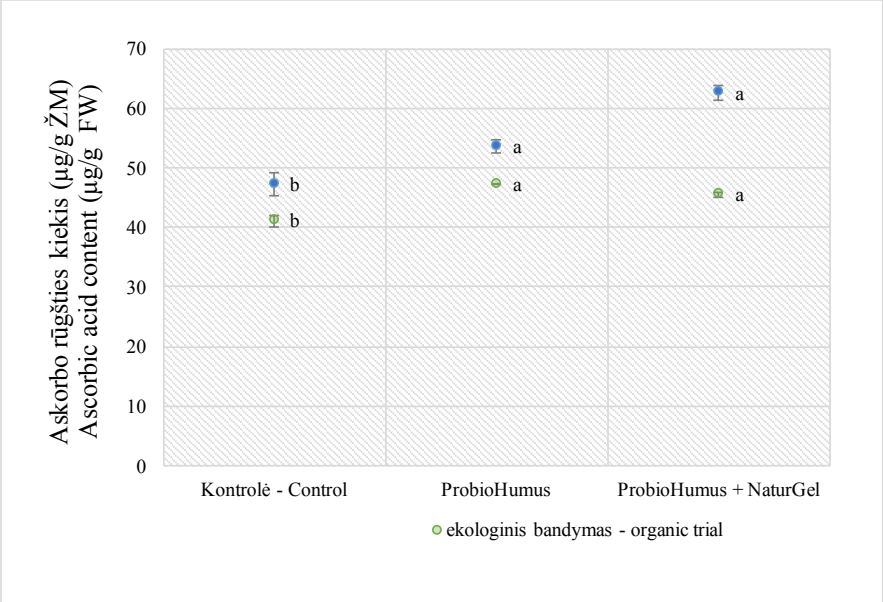
Figure 9. Effect of "ProbioHumus" and "NaturGel" on carotenoid content in carrot root crops from organic and non-organic farms. The values presented are the means of three biological replicates with standard deviation. Lowercase letters on markers of different colors indicate statistically significant differences compared to the control, according to Tukey's HSD multiple comparison test ($p < 0.05$).

Ekologinio ūkio sąlygomis probiotikų mišinys paskatino karotinoidų kaupimąsi, tačiau poveikis nebuvo statistiškai reikšmingas, palyginus su kontrole. Tai gali būti siejama su aktyvia dirvožemio mikrobiota ekologiškuose laukuose, kuri natūraliai palaiko augalų metabolizmą ir

antioksidantų, įskaitant karotinoidus, sintezę. Tuo tarpu neekologinėse sąlygose, kur dėl intensyvios žemdirbystės dirvožemio biologinis aktyvumas mažesnis, probiotikai gali užimti laisvą mikrobiomo nišą, suaktyvinti antioksidacines sistemas ir skatinti karotenoidų sintezę. Šie rezultatai leidžia teigti, kad probiotikų poveikis karotenoidų kaupimuisi yra ryškesnis esant mažesniam natūraliam mikrobiologiniam aktyvumui dirvoje.

3.2.3. Probiotikų poveikis askorbo rūgšties kaupimuisi morkų šakniavaisiuose

HPTLC analizė parodė, kad neekologiniuose laukuose užaugintos morkos tiek kontrolinės, tiek paveiktos tirtais probiotikais, pasižymėjo didesniu askorbo rūgšties kiekiu. Didžiausias askorbo rūgšties kiekis buvo nustatytas morkose paveiktose “ProbioHumus + NaturGel” – koncentracija padidėjo 32 % ($p < 0,05$) palyginus su kontrole, o po poveikio “ProbioHumus” padidėjo 13 % ($p < 0,05$) (10 pav.).



10 pav. “ProbioHumus” ir “NaturGel” poveikis morkų šakniavaisių askorbo rūgšties kiekiui. Pateiktos vertės yra trijų biologinių pakartojimų vidurkis su standartiniu nuokrypiu. Skirtingų spalvų žymeklių mažosios raidės rodo statistiškai reikšmingą skirtumą lyginant su kontrole pagal daugkartinio lyginimo Tukio HSD analizę ($p < 0,05$).

Figure 10. The effect of “ProbioHumus” and “NaturGel” on the ascorbic acid content in carrot roots. The values presented are the means of three biological replicates with standard deviation. Lowercase letters on markers of different

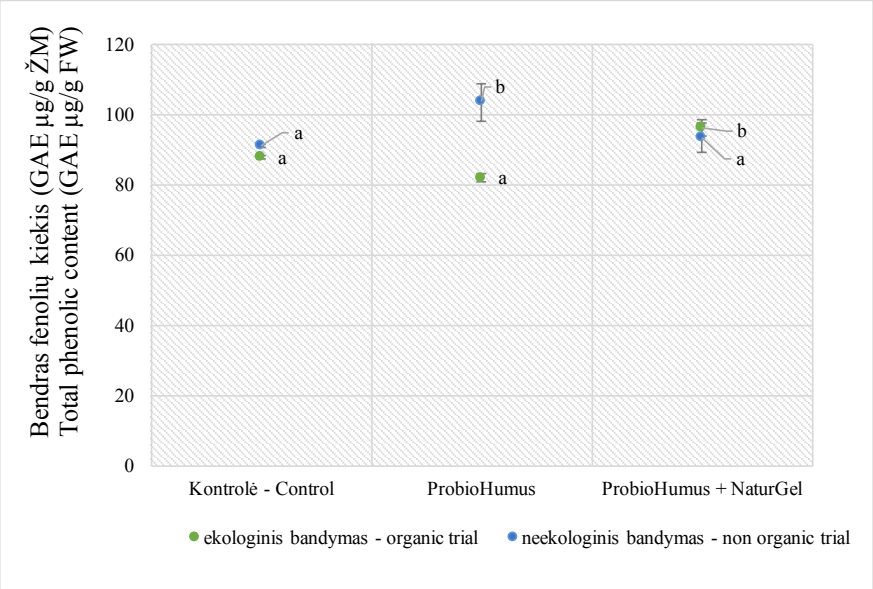
colors indicate statistically significant differences compared to the control, according to Tukey's HSD multiple comparison test ($p < 0.05$).

Nors askorbo rūgšties kiekis ekologiniame ūkyje buvo mažesnis, lyginant su neekologiniu, tačiau jis taip pat pasižymėjo reikšmingu skirtumu lyginant su kontrolinėmis morkomis. Ekologiškų morkų didžiausias šios rūgšties kiekis buvo po poveikio "ProbioHumus" – 14 % ($p < 0,05$), o po poveikio probiotikų mišiniu padidėjo 10 % ($p < 0,05$).

Vitamino C, kaip svarbaus antioksidanto, atsakingo už augalo gynybinę reakciją, kiekio padidėjimą, tiek ekologiškai, tiek neekologiškai užaugintose morkose, galima būtų sieti su probiotikų sukeliamu augalų atsaku į stresą aktyvavimą. Ekologiniuose laukuose vitamino C kiekis nustatytas mažesnis nei neekologiniuose, greičiausiai dėl mažesnio maistinių medžiagų kiekio ir intensyvesnės biologinės įvairovės dirvožemyje, kas lemia lėtesnį augalų augimą ir mažesnį oksidacinį stresą. Be to, ekologinėse sąlygose auginami augalai gauna mažiau sintetinių trąšų, todėl jų metabolizmas yra lėtesnis, o antioksidantų sintezė natūraliai būna žemesnė nei intensyvioje neekologinėje žemdirbystėje, kur augalai patiria didesnį stresą ir aktyviau gamina apsaugines medžiagas, įskaitant vitaminą C.

3.2.4. Probiotikų poveikis bendram fenolių kiekiui morkų šakniavaisiuose

Spektrofotometrinė fenolių koncentracijos analizė parodė, kad kontrolinių morkų, užaugintų tiek ekologinėmis, tiek neekologinėmis sąlygomis, fenolių koncentracija buvo panaši ir siekė apie 9 mg/100 g (11 pav.).



11 pav. “ProbioHumus” ir “NaturGel” poveikis morkų šakniavaisių bendram fenolių kiekiui. Pateiktos vertės yra trijų biologinių pakartojimų vidurkis su standartiniu nuokrypiu. Skirtingų spalvų žymeklių mažosios raidės rodo statistiškai reikšmingą skirtumą lyginant su kontrole pagal daugkartinio lyginimo Tukio HSD analizę ($p < 0,05$).

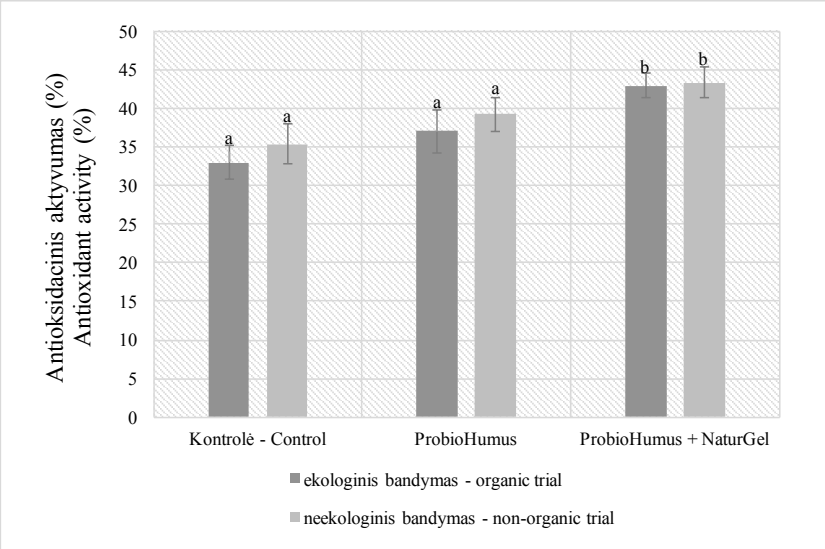
Figure 11. Effect of “ProbioHumus” and “NaturGel” on total phenolic content in carrot root crops. The values presented are the means of three biological replicates with standard deviation. Lowercase letters on markers of different colors indicate statistically significant differences compared to the control, according to Tukey’s HSD multiple comparison test ($p < 0.05$).

Probiotikas “ProbioHumus” turėjo skirtingą poveikį fenolių kaupimuisi: ekologiniuose laukuose šis probiotikas reikšmingai sumažino fenolių kiekį 7 % ($p < 0,01$), o neekologiniuose laukuose – padidino 13 % ($p < 0,05$), palyginus su kontroliniais augalais. Po poveikio probiotikų mišiniu, fenolių koncentracija padidėjo ekologinėse morkose 13 % ($p < 0,01$), o neekologinėse – prilygo kontrolei ($p > 0,05$).

Ekologiniame bandyme, apdorojus morkas probiotiku “ProbioHumus”, bendras fenolių kiekis statistiškai reikšmingai sumažejo lyginant su kontrolinėmis morkomis, o neekologiniame bandyme fenolių kiekis atvirkščiai – padidėjo. Toks skirtumas gali būti susijęs su skirtinga dirvožemio mikrobiologine aplinka ir augalų reakcija į probiotikų poveikį. Ekologiniuose laukuose, kur dirvožemis yra biologiniu požiūriu aktyvus ir mikroorganizmų įvairovė didelė, vieno probiotiko įvedimas gali sutrikdyti natūralų mikrofloros balansą arba konkuruoti su jau ten esančiomis bakterijomis, todėl augalų atsakas – fenolių gamyba – galėjo sumažėti kaip adaptacinė reakcija. Tuo tarpu neekologiniuose laukuose, kur mikrobiologinė įvairovė dažnai yra mažesnė dėl intensyvesnio žemės ūkio praktikos, “ProbioHumus” suveikė kaip stimulas augalų gynybinėms reakcijoms, skatinant fenolių sintezę. O po šakniavaisių apdorojimo probiotikų mišiniu pastebėjome kitą tendenciją, ekologiniame bandyme fenolių kiekis padidėjo, o neekologiniame liko panašus į kontrolinį. Tai rodo, kad mišinio veikimas ekologinėje aplinkoje gali būti sinerginis – skirtingi probiotikai papildė vienas kitą, nesutrikdydami mikrofloros pusiausvyros ir efektyviau skatindami augalų metabolizmą bei fenolių gamybą. Neekologiniuose laukuose fenolių gamyba galėjo būti jau maksimaliai stimuliuota tiek aplinkos, tiek vieno probiotiko poveikio, todėl papildomas mišinys nesukėlė reikšmingo pokyčio.

3.2.5. Probiotikų poveikis morkų šakniavaisių antioksidaciniam aktyvumui

Žalios morkų masės antioksidacinis aktyvumas buvo įvertintas DPPH analizės metodu. Tyrimų rezultatai parodė (12 pav.), kad ekologiniame ūkyje kontrolinio bandymo antioksidacinis aktyvumas siekė 32,97 %, probiotikų mišinys padidino antioksidantinį aktyvumą iki 42,99 % ($p < 0,01$). Neekologiniame ūkyje "ProbioHumus" + "NaturGel", padidino morkų antioksidacinį aktyvumą iki 43,3 % ($p < 0,01$). Tuo tarpu "ProbioHumus" probiotikais apdorotos morkos pasižymėjo didesniu antioksidaciniu aktyvumu už kontrolę, tačiau statistiškai reikšmingo skirtumo nepastebėta ($p > 0,05$).



12 pav. Probiotikų poveikis morkų šakniavaisių, užaugintų ūkininkų laukuose, antioksidaciniam aktyvumui. Pateiktos vertės yra trijų biologinių pakartojimų vidurkis su standartiniu nuokrypiu. Skirtingų spalvų stulpelių mažosios raidės rodo statistiškai reikšmingą skirtumą lyginant su kontrole pagal daugkartinio lyginimo Tukio HSD analizę ($p < 0,05$).

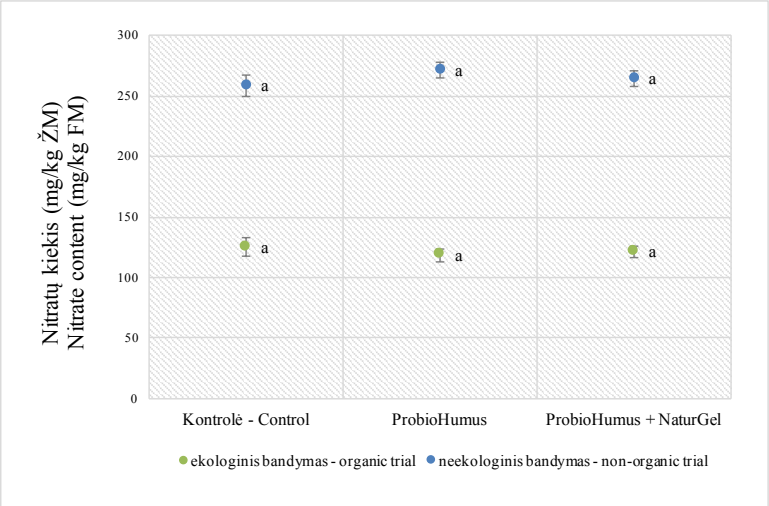
Figure 12. The effect of probiotics on the antioxidant activity of carrot root crops grown in farmers' fields. The values presented are the means of three biological replicates with standard deviation. Lowercase letters on bars of different colors indicate statistically significant differences compared to control according to Tukey's HSD multiple comparison analysis ($p < 0,05$).

Kontrolinės morkos pasižymėjo mažiausiu antioksidaciniu aktyvumu, o po apdorojimo probiotiku "ProbioHumus" antioksidantų kiekis buvo didesnis, tačiau reikšmingo skirtumo nuo kontrolės nenustatyta ($p > 0,05$). Naudojant probiotikų mišinį antioksidacinis aktyvumas buvo didžiausias ir statistiškai

reikšmingai skyrėsi nuo kontrolės ($p < 0,05$). Galimai tai galėjo vykti dėl abiejų probiotikų sinergistinių ryšių – jie papildė vienas kito poveikį, stiprindami augalo gynybines reakcijas ir skatindami didesnę antioksidantų sintezę. Mišinys galėjo efektyviau stimuliuoti augalo metabolizmą ir suaktyvinti įvairias apsaugines sistemas.

3.2.6. Probiotikų poveikis nitratų kiekiui morkų šakniavaisiuose

Visuose ekologinių bandymų variantuose nustatytas dvigubai mažesnis nitratų kiekis lyginant su neekologiniais (13 pav.). Ekologinio ūkio morkų šakniavaisiuose susikaupė apie 121,63 mg/kg, o neekologinio – apie 264,80 mg/kg nitratų. Tirti probiotikai neturėjo įtakos nitratų kaupimuisi morkose ($p < 0,05$).



13 pav. “ProbioHumus” ir “NaturGel” poveikis morkų šakniavaisių nitratų kiekiui. Pateiktos vertės yra trijų biologinių pakartojimų vidurkis su standartiniu nuokrypiu. Skirtingų spalvų žymeklių mažosios raidės rodo statistiškai reikšmingą skirtumą lyginant su kontrole pagal daugkartinio lyginimo Tukio HSD analizę ($p < 0,05$).

Figure 13. Effect of “ProbioHumus” and “NaturGel” on nitrate content in carrot root crops. The values presented are the means of three biological replicates with standard deviation. Lowercase letters on markers of different colors indicate statistically significant differences compared to the control, according to Tukey’s HSD multiple comparison test ($p < 0.05$).

Skirtumą tarp ekologiškai ir neekologiškai užaugintų morkų nitratų kiekio galima būtų pagrįsti skirtingomis auginimo praktikomis. Ekologiniuose ūkiuose nenaudojamos sintetinės trąšos, o dirvožemio mikrobiologinė

įvairovė ir biologiniai procesai natūraliai reguliuoja azoto apykaitą, mažindami nitratų kaupimą augaluose. Be to, ekologinės sąlygos lemia lėtesnį augalų augimą ir natūralesnį medžiagų apykaitos tempą, kas taip pat prisideda prie mažesnio nitratų kaupimosi. Probiotikų apdorojimas, nors ir teigiamai veikia augalų augimą bei streso toleranciją, neturėjo reikšmingo poveikio nitratų kiekiui. Tai rodo, kad probiotikai tiesiogiai nepaveikė azoto transformacijos procesų dirvožemyje ir augaluose, o butent šiame tyrime naudoti probiotikai neparodė efektyvumo šiuo aspektu.

3.3. Probiotikų poveikis uoginių augalų derliaus kokybei

3.3.1. Probiotikų poveikis braškių vaisių morfometriniams parametrams

Probiotikai “ProbioHumus” ir “NaturGel”, naudojami tiek atskirai, tiek kartu, reikšmingai padidino žalių ir sausų braškių vaisių masę, palyginus su kontroline grupe (5 lentelė). Didžiausią įtaką vaisių formavimuisi turėjo “ProbioHumus”, braškių žalia masė padidėjo 42 % ($p < 0,05$). Naudojant “ProbioHumus” + “NaturGel” ir “NaturGel” žalia uogų masė padidėjo 37 % ($p < 0,05$) ir 23 % ($p < 0,05$) atitinkamai, lyginant su kontroline grupe. Visi naudoti probiotikai padidino tiek uogų skersmenį tiek ilgį. Didžiausiu aktyvumu, kuris paveikė uogų ilgį išsiskyrė “NaturGel”, o skersmenį “ProbioHumus” ir “NaturGel” mišinys. Tyrimo duomenimis, vidutinis braškių vaisių derlius siekė nuo 1,4 t/ha iki 2,09 t/ha. Didžiausias derlius buvo gautas naudojant “ProbioHumus”.

5 lentelė. Probiotikų poveikis braškių, užaugintų ekologiniuose laukuose, morfometriniams parametrams. Pateiktos vertės yra trisdešimties augalų uogų vidurkis su standartiniu nuokrypiu. Skirtingų stulpelių mažosios raidės rodo statistiškai reikšmingą skirtumą lyginant su kontrole pagal daugkartinio lyginimo Tukio HSD analizę ($p < 0,05$).

Table 5. The effect of probiotics on the morphometric parameters of strawberries grown in organic fields. The values presented are the means of thirty plants berries with standard deviation. Lowercase letters in different columns indicate statistically significant differences compared to control according to Tukey’s HSD multiple comparison analysis ($p < 0,05$).

Bandymo variantas Trial Version	Vidutinė masė Average Mass		Vidutinis ilgis (cm) Average Length (cm)	Vidutinis skersmuo (cm) Average diameter (cm)
	Žalia - Fresh (g)	Sausa - Dry (%)		
Kontrolė - Control	$5,90 \pm 0,06^{a}$	$12,75 \pm 0,45^{a}$	$2,18 \pm 0,03^{a}$	$2,31 \pm 0,02^{a}$
NaturGel	$7,23 \pm 0,10^{b}$	$13,77 \pm 0,54^{b}$	$2,54 \pm 0,45^{b}$	$2,56 \pm 0,03^{a}$
ProbioHumus	$8,39 \pm 0,26^{b}$	$14,13 \pm 0,66^{b}$	$2,31 \pm 0,45^{c}$	$2,45 \pm 0,04^{a}$
ProbioHumus + NaturGel	$8,10 \pm 0,12^{b}$	$13,47 \pm 0,53^{b}$	$2,43 \pm 0,03^{b}$	$2,60 \pm 0,04^{a}$

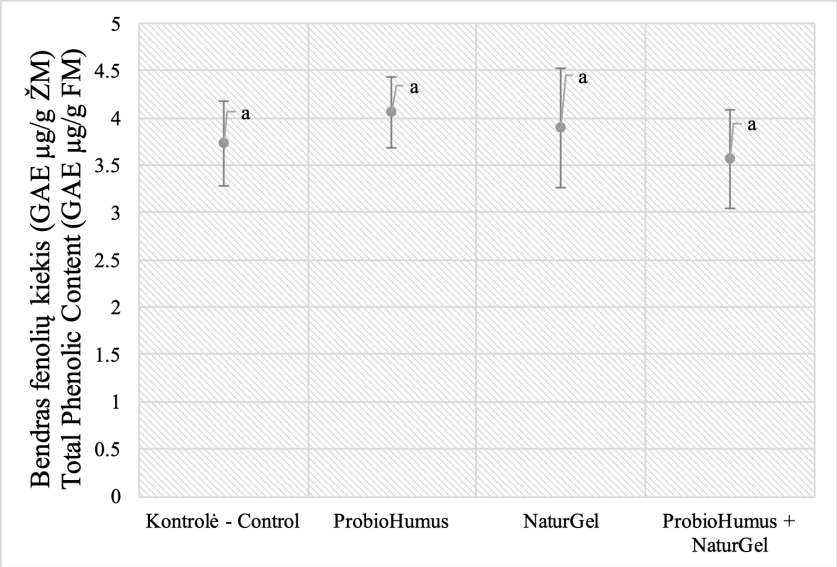
Remiantis gautais rezultatais, probiotikai turėjo teigiamą poveikį braškių augimui ir derliui. Visi naudoti preparatai – “ProbioHumus”, “NaturGel” ir jų mišinys – reikšmingai padidino tiek vaisių žalią ir sausąją masę, tiek jų biometrius rodiklius, palyginti su kontroline grupe. Didžiausią poveikį, kaip ir morkose, turėjo “ProbioHumus”, kuris paskatino ne tik žaliąją masę, bet ir derlių. Tikėtina, kad toks poveikis susijęs su probiotikų gebėjimu gerinti dirvožemio mikrobiologinę struktūrą, skatinti šaknų sistemos vystymąsi ir mikroelementų pasisavinimą. “ProbioHumus” pasižymi intensyvesniu poveikiu dirvožemio mikroflorai ir augalų metabolizmui,

Skyriaus 3.3.1. įžvalga: Apibendrinant, probiotikų naudojimas gali būti efektyvi priemonė braškių derliaus ir kokybės didinimui ekologiniuose ūkiuose, kur nėra naudojamos sintetinės trąšos, skatinančios augimą.

3.4. Probiotikų poveikis braškių vaisių biocheminei sudėčiai

3.4.1. Probiotikų poveikis bendram fenolių kiekiui braškių vaisiuose

Atlikus bendrą fenolių kiekio įvertinimą braškių uogose Folin-Ciocalteu metodu nustatyta, kad probiotikais apdorotų braškių augalų vaisių bendras fenolių kiekis nepasižymėjo statistiškai reikšmingu skirtumu lyginant su kontrole ($p > 0,05$) (14 pav.).



14 pav. “ProbioHumus” ir “NaturGel” poveikis braškių vaisių uogų bendram fenolių kiekiui. Pateiktos vertės yra trijų biologinių pakartojimų vidurkis su standartiniu nuokrypiu (ANOVA, $p > 0,05$).

Figure 14. The effect of “ProbioHumus” and “NaturGel” on the phenolic content of strawberry fruits. The values presented are the means of three biological replicates with standard deviation (ANOVA, $p > 0,05$).

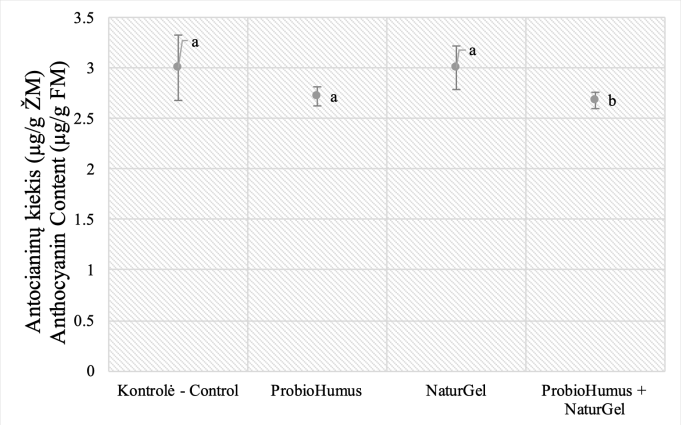
Toks rezultatas gali būti siejamas su tuo, kad braškės natūraliai pasižymi gana aukštu fenolinių junginių kiekiu, todėl papildomas stimuliavimas probiotikais nesukėlė reikšmingos gynybinės reakcijos. Be to, naudoti preparatai greičiausiai veikė augalo augimą ir derliaus formavimą, bet neaktyvino fenolių sintezės, kuri dažniausiai suintensyvėja augalui reaguojant į stresą ar patogenų ataką.

3.4.2. Probiotikų poveikis antocianinų kaupimuisi braškių vaisiuose

Siekiant įvertinti antocianinų kiekį braškėse buvo panaudotas pH diferencinis metodas. Rezultatai parodė, kad apdorojus braškes “ProbioHumus” ir “NaturGel” preparatais statistiškai reikšmingo poveikio antocianinų kaupimuisi nenustatyta. Po apdorojimo “ProbioHumus” + “NaturGel” antocianinų kiekis buvo 11 % maženis už kontrolę ($p = 0,05$) (15 pav.).

15 pav. Probiotinių preparatų “ProbioHumus” ir “NaturGel” poveikis antocianinų kiekiui braškių vaisiuose. Pateiktos vertės yra trijų biologinių pakartojimų vidurkis su standartiniu nuokrypiu. Mažosios raidės rodo statistiškai reikšmingą skirtumą lyginant su kontrole pagal daugkartinio lyginimo Tukio HSD analizę ($p < 0,05$).

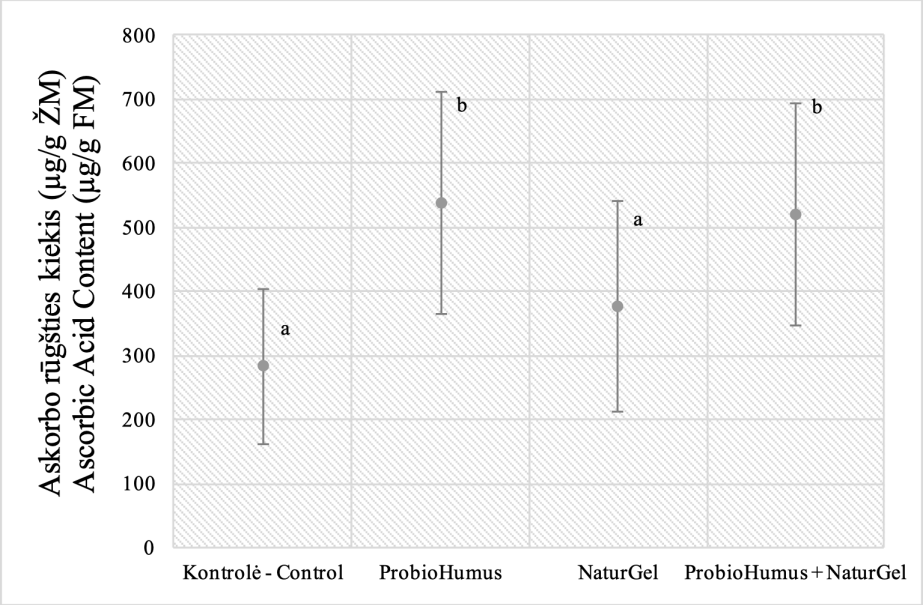
Figure 15. The effect of probiotic preparations “ProbioHumus” and “NaturGel” on the anthocyanin content in strawberry fruits. The values presented are the means of three biological replicates with standard deviation. Lowercase letters indicate statistically significant differences compared to control according to Tukey's HSD multiple comparison test ($p < 0,05$).



Gauti rezultatai rodo, kad braškių apdorojimas probiotikais neturėjo teigiamo poveikio antocianinų kaupimuisi braškėse. Priešingai – po mišinio panaudojimo jų kiekis net sumažėjo. Tai gali būti siejama su sumažėjusiu augalo patiriamu stresu – pagerėjus augimo sąlygoms, mažėja poreikis sintetinti apsauginius pigmentus, tokius kaip antocianinai.

3.4.3. Probiotikų poveikis askorbo rūgšties kiekiui braškių vaisiuose

Rezultatai parodė, jog tiek "ProbioHumus", tiek "ProbioHumus + NaturGel" mišinys, statistiškai reikšmingai padidino askorbo rūgšties kiekį braškėse ($p < 0,01$) (16 pav.). Didžiausias šios rūgšties kiekis nustatytas vaisiuose, surinktuose iš augalų, apdorotų preparatu "ProbioHumus" – padidėjimas buvo beveik dvigubas (31,44 – 84,60 mg/100 g uogų) lyginant su kontrole (13,56 – 40,1 mg/100 g uogų). Askorbo rūgšties kiekis braškių vaisiuose po apdorojimo "ProbioHumus + NaturGel" padidėjo 83% ($p < 0,05$), o po apdorojimo "NaturGel" – 32% ($p > 0,05$).



16 pav. "ProbioHumus" ir "NaturGel" poveikis askorbo rūgšties kiekiui braškių vaisiuose. Pateiktos vertės yra trijų biologinių pakartojimų vidurkis su standartiniu nuokrypiu. Mažosios raidės rodo statistiškai reikšmingą skirtumą lyginant su kontrole pagal daugkartinio lyginimo Tukio HSD analizę ($p < 0,05$).

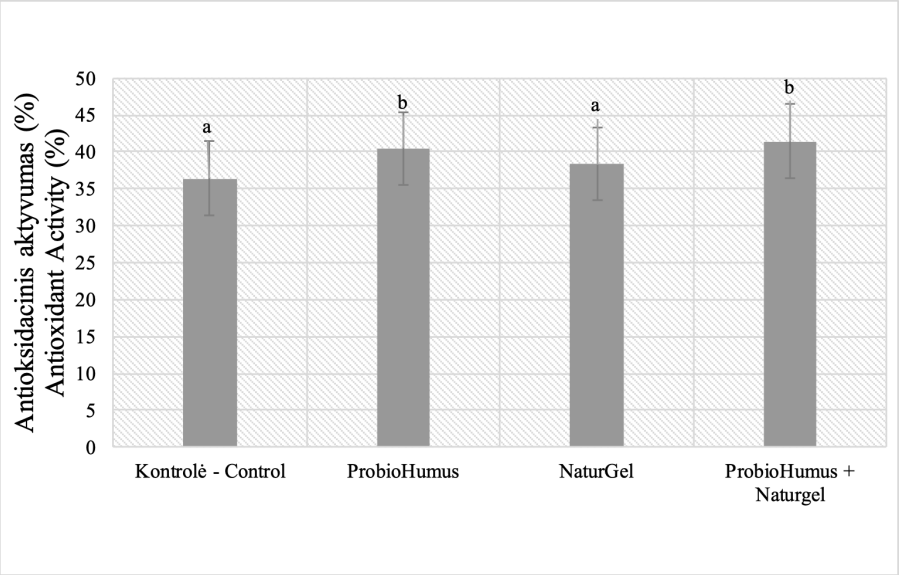
Figure 16. Effect of "ProbioHumus" and "NaturGel" on ascorbic acid content in strawberries. The values presented are the means of three biological replicates with standard deviation. Lowercase letters indicate statistically

significant differences compared to control according to Tukey's HSD multiple comparison test ($p < 0,05$).

Nustatyta, kad apdorojus braškes “ProbioHumus” bei “ProbioHumus + NaturGel” mišiniu, askorbo rūgšties kiekis vaisiuose padidėjo statistiškai reikšmingai, o didžiausias padidėjimas fiksuotas naudojant probiotiką “ProbioHumus”. Šį poveikį galima sieti su probiotikų gebėjimu aktyvinti augalo antioksidacinę sistemą, skatinti gynybinių junginių – tarp jų ir askorbo rūgšties – sintezę. Taip pat tikėtina, kad pagerėjus šaknų mitybai bei mikroelementų pasisavinimui, suaktyvėjo ir metaboliniai procesai, susiję su vitamino C biosinteze.

3.4.4. Probiotikų poveikis antioksidaciniam aktyvumui braškių vaisiuose

Šviežių braškių vaisių antioksidacinis aktyvumas po poveikio probiotikais “ProbioHumus” ir “NaturGel” buvo įvertintas DPPH metodu. Gauti rezultatai parodė, kad tirti preparatai reikšmingai padidino braškių antioksidacinį aktyvumą, lyginant su kontrole (17 pav.). Didžiausias antioksidacinio aktyvumas nustatytas braškių vaisiuose iš augalų, apdorotų probiotikų mišiniu – 41,41 % ($p < 0,01$). Taip pat pastebėti reikšmingi skirtumai tarp braškių augalų, apdorotų “ProbioHumus” – 40,46 % ($p < 0,01$) ir “NaturGel” – 38,37 % ($p < 0,05$), lyginant su kontroline grupe – 36,42 %.



17 pav. “ProbioHumus” ir “NaturGel” poveikis braškių vaisių antioksidaciniam aktyvumui. Pateiktos vertės yra trijų biologinių pakartojimų vidurkis su standartiniu nuokrypiu. Mažosios raidės rodo statistiškai

reikšmingą skirtumą pagal daugkartinio lyginimo Tukio HSD analizę ($p < 0,05$).

Figure 17. The effect of “ProbioHumus” and “NaturGel” on the antioxidant activity of strawberry fruits. The values presented are the means of three biological replicates with standard deviation. Lowercase letters indicate statistically significant differences according to Tukey's HSD multiple comparison test ($p < 0,05$).

Šie rezultatai leidžia teigti, kad probiotikai galėjo suaktyvinti natūralius augalo apsaugos mechanizmus bei paskatinti antioksidacinių junginių – ypač askorbo rūgšties – sintezę, o mišinio naudojimas sustiprino poveikį dėl galimo sinerginio veikimo.

Skyriaus 3.4. įžvalga: Nors po probiotikų taikymo braškėse reikšmingai padidėjo askorbo rūgšties kiekis, fenolių ir antocianinų koncentracija iš esmės nepakito arba net šiek tiek sumažėjo. Tai gali būti siejama su skirtingu šių junginių vaidmeniu augalo metabolizme. Askorbo rūgštis yra pirminis, greitai sintetinamas antioksidantas, aktyviai dalyvaujantis augalo redukcijos-oksidacijos reakcijoje ir atsake į fiziologinį stresą. Probiotikai galėjo stimuliuoti augalo medžiagų apykaitą bei aktyvuoti jo gynybinę sistemą, paskatindami vitamino C sintezę. Tuo tarpu fenoliai ir antocianinai dažniau kaupiasi kaip ilgalaikė gynybinė strategija, reaguojant į stipresnį stresą (pvz., kaip atsakas į patogenų puolimą, UV spinduliavimą ar maisto medžiagų trūkumą). Kadangi probiotikai pagerino augimo sąlygas ir sumažino oksidacinį stresą, poreikis kaupti šiuos antrinius metabolitus galėjo nepakisti arba sumažėti.

3.5. Probiotikų poveikis juodųjų serbentų uogų morfometriniams parametrams

Probiotikai “ProbioHumus” ir “NaturGel”, atskirai arba kartu, reikšmingai padidino žalią ir sausą juodųjų serbentų uogų masę, palyginus su kontrole (6 lentelė).

6 lentelė. “ProbioHumus” ir “NaturGel” naudojimo poveikis juodųjų serbentų uogoms, užaugintoms ekologiniuose ūkininkų laukuose, žaliai ir sausai masei. Pateiktos vertės yra 1000 (4 x 250 uogų) uogų masės vidurkis su standartiniu nuokrypiu. Vidurkiai, pažymėti skirtingomis mažosiomis raidėmis, rodo statistiškai reikšmingą skirtumą lyginant su kontrole tarp grupių pagal Tukey post-hoc palyginimo testą ($p < 0,05$).

Table 6. Effect of “ProbioHumus” and “NaturGel” application on fresh and dry mass of blackcurrant berries grown in organic farmers’ fields. The presented values are the mean ± standard deviation of the mass of 1000 berries (4 sets of 250 berries). Means marked with different lowercase letters indicate a statistically significant difference compared to control between groups according to Tukey's post-hoc comparison test ($p < 0,05$).

Bandymo variantas Trial Version	Vidutinė masė (g) Average Mass (g)	
	Žalia - Fresh	Sausa - Dry
Kontrolė - Control	$134,65 \pm 5,74^{a}$	$30,15 \pm 0,84^{a}$
ProbioHumus	$195,84 \pm 14,03^{b}$	$47,20 \pm 2,75^{b}$
NaturGel	$172,49 \pm 14,84^{b}$	$41,63 \pm 4,00^{b}$
ProbioHumus+NaturGel	$193,06 \pm 4,76^{b}$	$45,69 \pm 1,63^{b}$

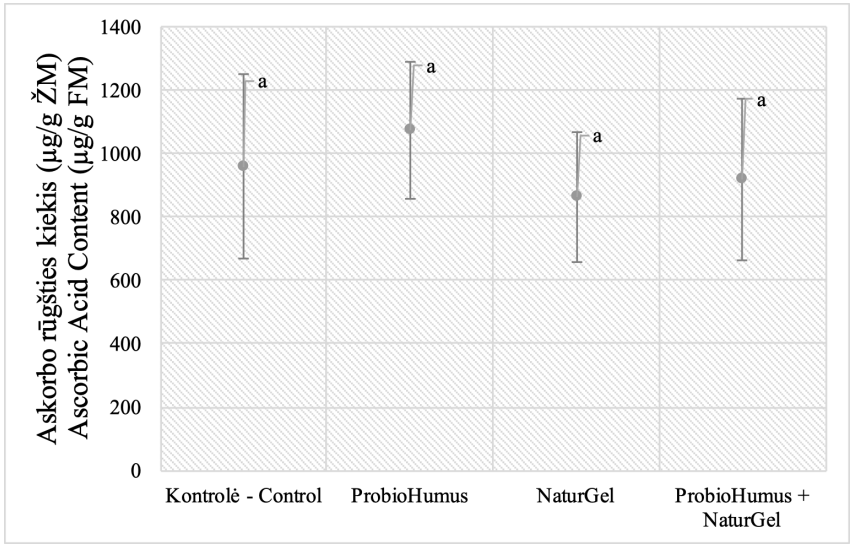
Didžiausią įtaką vaisių žaliai masei turėjo “ProbioHumus” bei probiotikų mišinys – ji padidėjo 45 % ($p < 0,05$) ir 43 % ($p < 0,05$) atitinkamai lyginant su kontrolinių uogų mase. Po poveikio “NaturGel” tirtų uogų žalia masė padidėjo 28 % ($p < 0,05$). Vidutinis juodųjų serbentų uogų derlius siekė nuo 2,74 t/ha iki 3,79 t/ha. Didžiausias derlius buvo gautas naudojant “ProbioHumus”.

3.5. skyriaus įžvalga: Tyrimo rezultatai rodo, kad juodųjų serbentų apdorojimas visais tirtais probiotikais reikšmingai padidino uogų žalią ir sausą masę bei derlių. Galima teigti, jog probiotikų poveikis augalų augimui ir derliaus formavimuisi yra susijęs su pagerėjusia mityba, šaknų sistema ir metabolizmo stimuliavimu. Didžiausi pokyčiai, kaip ir bandymuose su morkomis ir braškėmis, gauti naudojant “ProbioHumus”.

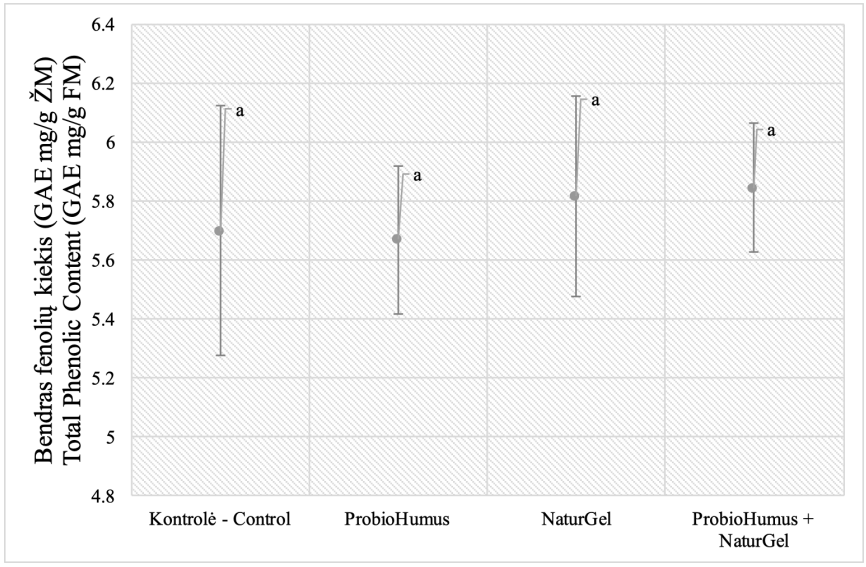
3.6. Probiotikų poveikis juodųjų serbentų uogų biocheminei sudėčiai

3.6.1. Probiotikų poveikis askorbo rūgšties ir bendram fenolių kiekiui juodųjų serbentų uogose

Tyrimo duomenys rodo, kad probiotikų „ProbioHumus“ ir „NaturGel“ naudojimas neturėjo statistiškai reikšmingos įtakos nei askorbo rūgšties, nei bendro fenolių kiekio pokyčiams juodųjų serbentų uogose ($p > 0,05$) (18 pav. (a); (b)).



(a)



(b)

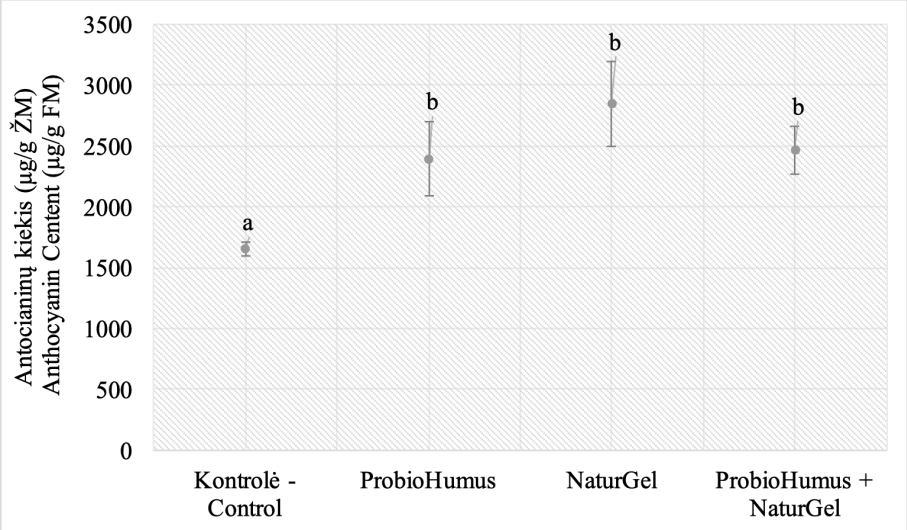
18 pav. “ProbioHumus” ir “NaturGel” poveikis juodųjų serbentų uogų a) askorbo rūgšties ir b) bendram fenolių kiekiui. Pateiktos vertės yra trijų biologinių pakartojimų vidurkiai su standartiniu nuokrypiu. Mažosios raidės rodo statistiškai reikšmingą skirtumą lyginant su kontrole pagal Kruskalio–Walliso kriterijų ($p < 0,05$).

Figure 18. The effect of “ProbioHumus” and “NaturGel” on black currant berries’ a) ascorbic acid and b) total phenolic content. The values presented are the means of three biological replicates with standard deviation. Lowercase letters indicate statistically significant differences compared to control according to the Kruskal–Wallis test ($p < 0,05$).

Nors probiotikų “ProbioHumus” ir “NaturGel” naudojimas turėjo teigiamos įtakos juodųjų serbentų derliui, jie neturėjo statistiškai reikšmingo poveikio askorbo rūgšties ir bendram fenolių kiekiui uogose. Tirti probiotikai galėjo nepaveikti šių antioksidantų kiekio dėl to, kad juodieji serbentai natūraliai kaupia daug askorbo rūgšties ir fenolių, todėl papildomas stimuliavimas šių medžiagų sintezei galėjo būti nereikšmingas.

3.6.2. Probiotikų poveikis antocianinų kiekiui juodųjų serbentų uogose

Antocianinų kiekio analizė juodųjų serbentų uogose parodė, kad apdorojimas tiek “ProbioHumus”, tiek “NaturGel” probiotikais, atskirai arba kartu, statistiškai reikšmingai padidina jų kiekį uogose, lyginant su kontrole ($p < 0,01$) (19 pav.).



19 pav. “ProbioHumus” ir “NaturGel” poveikis juodųjų serbentų uogų antocianinų kiekiui. Pateiktos vertės yra trijų biologinių pakartojimų vidurkis su standartiniu nuokrypiu. Skirtingomis mažosiomis raidėmis pažymėti vidurkiai reikšmingai skiriasi nuo kontrolės pagal Kruskalio–Walliso kriterijų, po kurio taikytas post-hoc Dunno testas ($p < 0,05$).

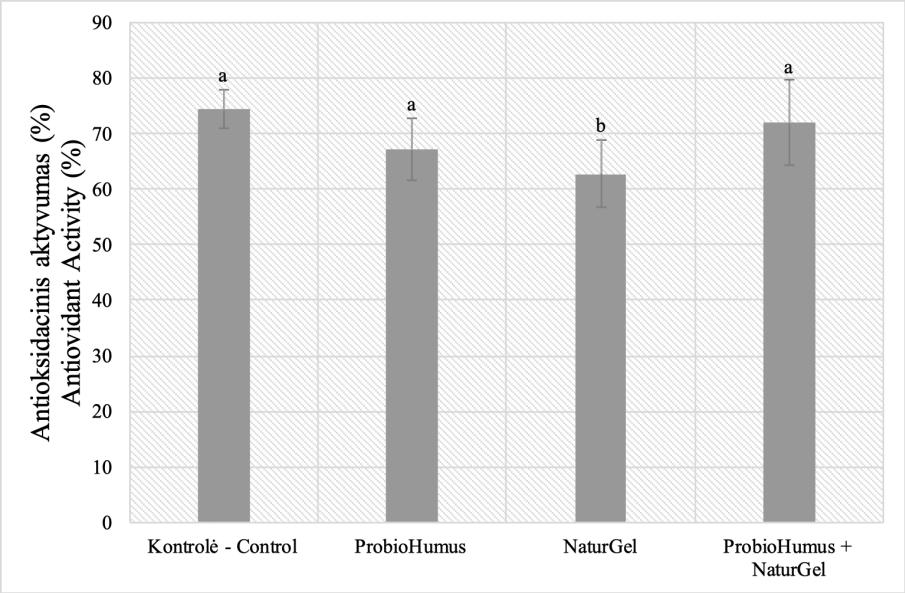
Figure 19. Effect of “ProbioHumus” and “NaturGel” on anthocyanin content in blackcurrant berries. The presented values are the mean ± standard deviation of three biological replicates. Means marked with different letters differ significantly compared to control according to the Kruskal–Wallis test, followed by Dunn’s post hoc test ($p < 0,05$).

Nors testuojamos grupės tarpusavyje neturėjo statistiškai reikšmingo skirtumo, didžiausias antocianinų kiekis buvo aptiktas “NaturGel” preparatu apdorotuose augaluose, padidėjimas siekė 72 % ($p < 0,05$), mažesnis kiekis buvo “ProbioHumus” probiotikais apdorotose uogose – 45 % ($p < 0,01$), o po apdorojimo probiotikų mišiniu antocianinų kiekis padidėjo 51 % ($p < 0,05$) lyginant su kontrole.

Augalų apdorojimas tirtais probiotikais reikšmingai padidino antocianinų kiekį juodųjų serbentų uogose, ypač “NaturGel, kas rodo šių probiotikų potencialą stiprinti uogų bioaktyviųjų spalvinių junginių gamybą ir pagerinti jų maistinę vertę.

3.6.3. Probiotikų poveikis juodųjų serbentų uogų antioksidaciniam aktyvumui

Juodųjų serbentų uogų antioksidacinis aktyvumas buvo įvertintas DPPH analizės metodu. Tyrimų rezultatai parodė, kad naudojami probiotikai nepaskatino antioksidacinio aktyvumo lyginant su kontroliniu bandymu (23 pav.).



20 pav. “ProbioHumus” ir “NaturGel” poveikis juodųjų serbentų uogų antioksidaciniam aktyvumui. Pateiktos vertės yra trijų biologinių pakartojimų vidurkis su standartiniu nuokrypiu. Skirtingomis mažosiomis raidėmis pažymėti vidurkiai reikšmingai skiriasi nuo kontrolės pagal Kruskalio–Walliso kriterijų, po kurio taikytas post-hoc Dunno testas ($p < 0,05$).

Figure 20. Effect of “ProbioHumus” and “NaturGel” on antioxidant activity in blackcurrant berries. The presented values are the mean ± standard deviation of three biological replicates. Means marked with different lowercase letters differ significantly compared to control according to the Kruskal–Wallis test, followed by Dunn’s post hoc test ($p < 0,05$).

Po poveikio probiotikų mišiniu jis sumažėjo 3 %, “ProbioHumus” – 10 %, po “NaturGel” – 16 %. “NaturGel” panaudojimas turėjo statistiškai reikšmingą poveikį antioksidacinio aktyvumo sumažėjimui ($p < 0,05$).
Nors probiotikai reikšmingai padidino antocianinų kiekį juodųjų serbentų uogose, bendras antioksidacinis aktyvumas nepakito arba net sumažėjo, nes askorbo rūgšties ir fenolių kiekis nesikeitė, o padidėjusi uogų masė galėjo išsklaidyti antioksidantų koncentraciją tūryje.

3.6. skyriaus įžvalga: Probiotikų poveikis juodųjų serbentų uogų masei ir antocianinų kiekiui ne visuomet koreliuoja su bendru antioksidaciniu aktyvumu, kuris priklauso nuo probiotikų sąveikos ir jų koncentracijos proporcijų.

3.7. Probiotikų poveikis dirvos agrocheminėms savybėms

Bandymo pradžioje, prieš tiriant probiotikų poveikį dirvos agrocheminėms savybėms, nitratinio azoto kiekis siekė 8,42 mg/kg ekologiniuose laukuose, o neekologiniuose – 16,96 mg/kg. Po dviejų metų laukų apdorojimo probiotikais “ProbioHumus” bei “ProbioHumus” ir “NaturGel” mišiniu šis parametras padidėjo ekologiniame ūkyje 61 % bei 81 % (7 lentelė), o neekologiniame ūkyje 50 % bei 22 %, atitinkamai, lyginant su kontrole. Po poveikio “ProbioHumus” bei “ProbioHumus + NaturGel” bendras azoto kiekis padidėjo 26 % ir 16 % ekologiniame ūkyje, 39 % ir 27 % neekologiniame ūkyje, atitinkamai, lyginant su kontrole. Organinės anglies kiekis dirvoje reikšmingai padidėjo po poveikio “ProbioHumus” probiotiku ekologiniame ūkyje, net 71 %, palyginus su kontrole. Taip pat šis parametras pakito ir neekologiniame ūkyje, jo kiekis padidėjo 26 % (8 lentelė).

7 lentelė. Probiotinių preparatų poveikis ekologinės dirvos agrocheminiams parametrams. Pateiktos vertės yra trijų biologinių pakartojimų vidurkis su standartiniu nuokrypiu. Skirtingų stulpelių mažosios raidės rodo statistiškai reikšmingą skirtumą lyginant su kontrole pagal daugkartinio lyginimo Tukio HSD analizę ($p < 0,05$).

Table 7. The effect of probiotic preparations on the agrochemical parameters of organic soil. The values presented are the means of three biological replicates with standard deviation. Different lowercase letters in the columns

indicate statistically significant differences compared to control according to Tukey's HSD multiple comparison test ($p < 0,05$).

Agrocheminiai rodikliai	Parametrai	I metai - I year	III metai - III year	
Agrochemical Indicators	Parameters	Kontrolė - Control	ProbioHumus	ProbioHumus+NaturGel
Nitratinis azotas - Nitrate Nitrogen	mg/kg	$8,42 \pm 0,30^{a}$	$13,56 \pm 0,61^{b}$	$15,29 \pm 0,54^{b}$
Amoniakinis azotas - Ammonia Nitrogen	mg/kg	<1	$1,43 \pm 0,11^{b}$	$3,02 \pm 0,04^{b}$
Bendras N - Total N	%	$0,115 \pm 0,24^{a}$	$0,146 \pm 0,10^{b}$	$0,134 \pm 0,12^{b}$
Bendras P - Total P	mg/kg	-	$383,00 \pm 10^{b}$	$421,0 \pm 11,5^{b}$
Huminės rūgštys - Humic Acids	%	$0,11 \pm 0,10^{a}$	$0,42 \pm 0,03^{b}$	$0,19 \pm 0,01^{a}$
Organinė anglis - Organic Carbon	%	$0,91 \pm 0,20^{a}$	$1,56 \pm 0,02^{b}$	$1,25 \pm 0,16^{a}$
Humusas - Humus	%	$1,66 \pm 0,02^{a}$	$2,68 \pm 0,10^{b}$	$2,16 \pm 0,02^{b}$

8 lentelė. Probiotikų poveikis neekologinės dirvos agrocheminiams parametrams. Pateiktos vertės yra trijų biologinių pakartojimų vidurkis su standartiniu nuokrypiu. Skirtingų stulpelių mažosios raidės rodo statistiškai reikšmingą skirtumą lyginant su kontrole pagal daugkartinio lyginimo Tukio HSD analizę ($p < 0,05$).

Table 8. The effect of probiotics on the agrochemical parameters of organic soil. The values presented are the means of three biological replicates with standard deviation. Different lowercase letters in the columns indicate statistically significant differences compared to control according to Tukey's HSD multiple comparison test ($p < 0,05$).

Agrocheminiai rodikliai	Parametrai	I metai - I year	III metai - III year	
Agrochemical Indicators	Parameters	Kontrolė - Control	ProbioHumus	ProbioHumus+NaturGel
Nitratinis azotas - Nitrate Nitrogen	mg/kg	$16,96 \pm 0,12^{c}$	$25,50 \pm 0,32^{a}$	$20,83 \pm 0,33^{b}$
Amoniakinis azotas - Ammonia Nitrogen	mg/kg	$1,24 \pm 0,13^{b}$	$2,53 \pm 0,22^{a}$	$2,49 \pm 0,12^{a}$
Bendras N - Total N	%	$0,128 \pm 0,05^{c}$	$0,179 \pm 0,02^{a}$	$0,163 \pm 0,07^{b}$
Bendras P - Total P	mg/kg	-	$431,00 \pm 11^{a}$	$365,00 \pm 14,00^{b}$
Huminės rūgštys - Humic Acids	%	$0,22 \pm 0,02^{b}$	$0,49 \pm 0,05^{a}$	$0,28 \pm 0,01^{b}$
Organinė anglis - Organic Carbon	%	$1,45 \pm 0,03^{b}$	$1,84 \pm 0,6^{a}$	$1,55 \pm 0,43^{a}$
Humusas - Humus	%	$2,50 \pm 0,21^{b}$	$3,17 \pm 0,21^{a}$	$2,68 \pm 0,12^{b}$

Remiantis gautais duomenimis, galima teigti, kad tirti probiotikai teigiamai veikė dirvos agrochemines savybes tiek ekologiniuose, tiek neekologiniuose ūkiuose. Ypač ryškus nitratinio azoto ir bendro azoto kiekio padidėjimas parodė, jog probiotikai skatina azoto junginių kaupimąsi, o organinės anglies kiekio reikšmingas padidėjimas, ypač ekologiniame ūkyje, rodo gerėjančią dirvožemio organinę būklę ir biologinį aktyvumą.

Viena iš aplinkai palankiausių biotechnologijų, galinčių padidinti augalų produktyvumą, yra probiotikai. Manoma, kad jie gali atlikti dvejopą funkciją – tapti alternatyva cheminėms trąšoms ir paskatinti biologiškai aktyvių junginių sintezę augaluose, skatindami antrinį metabolizmą, o tai padėtų išauginti funkcinius maisto produktus (Jiménez-Gómez, 2017; Albanchez et al., 2018; Thakur et al., 2019).

Žemės ūkio praktikos vis dažniau pereina prie tvaresnių ir aplinkai draugiškesnių sprendimų, reaguojant į augantį saugaus maisto poreikį bei didėjantį supratimą apie neigiamą perteklinio pesticidų ir trąšų naudojimo poveikį aplinkai ir žmonių sveikatai. Dėl šios priežasties intensyviai tiriamos augalų augimą skatinančios technologijos, ypač skirtos ekologiniam ūkininkavimui (Lesur-Dumoulin et al., 2017; Rahman et al., 2018; Scharma et al., 2018), kadangi ekologiškų daržovių derlius vis dar yra 13–34 % mažesnis nei gaunamas neekologiniuose ūkiuose (Seufert et al., 2012).

Per pastaruosius du dešimtmečius paaiškėjo, kad neekologinis ūkininkavimas ilgainiui nualina dirvožemį ir sukelia rimtų aplinkosaugos problemų. Tuo tarpu PGPM taikymas laikomas tvaria žemės ūkio praktika, padedančia didinti augalų derlingumą, gerinti vaisių ir daržovių kokybę bei palaikyti arba atkurti dirvos būklę (Caradonia et al., 2019; Khan et al., 2019; Rouphael et al., 2020).

Šiame darbe buvo tirtas komercinių probiotikų “ProbioHumus” ir “NaturGel” efektyvumas šakniavaisinių augalų derliui ir jo savybėms tiek ekologinėmis, tiek neekologinėmis sąlygomis ir uoginių augalų derliui ir jo savybėms ekologinėmis sąlygomis, siekiant nustatyti jų potencialą įvairiomis auginimo sąlygomis. Laboratoriniais tyrimais buvo nustatytos veikliosios šių preparatų koncentracijos, pasižyminčios biostimuliuojančiu poveikiu augalų augimui. Neekologiniame ūkyje probiotikai buvo naudojami kartu su įprastomis mineralinėmis NPK trąšomis, o ekologiniame – be sintetinių papildų, laikantis ekologinės gamybos principų. Rezultatai parodė, kad probiotikų naudojimas abiem atvejais turėjo teigiamą poveikį: padidėjo morkų, braškių ir juodųjų serbentų derlius, sustiprėjo augalų antioksidacinis aktyvumas bei dirvožemio agrocheminės savybės. Reikšmingas ekologinis poveikis buvo pastebėtas tiek ekologiškuose, tiek neekologiškuose augaluose – dirvožemis pasižymėjo didesniu mikrobiologiniu aktyvumu ir stabilesne struktūra, o augalai sukaupė daugiau biologiškai aktyvių junginių. Šie duomenys rodo, kad probiotikai gali tapti svarbia ekologinių technologijų dalimi, mažinančia priklausomybę nuo cheminių trąšų, ypač neekologiniuose

ūkiuose, kur jie galėtų padėti mažinti trąšų normas išlaikant produktyvumą. Toks požiūris prisideda prie žiedinės ekonomikos tikslų įgyvendinimo, dirvožemio degradacijos mažinimo ir bendro žemės ūkio tvarumo didinimo.

Morkos – tai svarbi šakniavaisinė daržovė, pasižyminti didele maistine verte bei turtinga natūraliais biologiškai aktyviais junginiais, teigiamai veikiančiais žmogaus sveikatą. Zhu su kolegomis (2024) atliko bandymus, kuriuose buvo naudojamas probiotinių bakterijų mišinys kartu su NPK trąšomis. Nustatyta, kad PGPM preparatu apdorotų morkų morfometriniai rodikliai reikšmingai pagerėjo, palyginus su kontrole, o papildomas NPK naudojimas dar labiau sustiprino šį efektą. Ankstesni tyrimai rodo, kad augalinės kilmės nemikrobiniai biostimuliatoriai taip pat gali skatinti morkų augimą, didindami biomasę ir keisdami šaknų cheminę sudėtį (Grabowska et al., 2012; Wszelaczynska et al., 2019; Bender et al., 2020). Pavyzdžiui, jūros dumblių ekstraktai, naudojami tiek ekologinėje, tiek neekologinėje žemdirbystėje, laikomi reikšmingais nemikrobiniais augaliniais biostimuliatoriais, kurie ne tik didina pasėlių produktyvumą, bet ir leidžia sumažinti sintetinių trąšų poreikį (Sharma et al., 2014; Carillo et al., 2020). Barone su kolegomis tyrimas parodė, kad mikrodumblių ekstraktai turi biostimuliuojantį poveikį burokėlių šakniavaisiams, susijusį su maisto medžiagų įsisavinimu, kuris gerina augalų augimą ir gyvybingumą (Barone et al., 2018). Šie duomenys atitinka ir mūsų gautus rezultatus. Probiotikai "ProbioHumus" ir "NaturGel" turėjo teigiamos įtakos morkų derliaus kokybei bei kiekybei tiek ekologiniuose, tiek neekologiniuose laukuose. Nors ekologiškai augintų morkų biomasė buvo 19 % mažesnė nei neekologiškai augintų, apdorojus tirtiais preparatais šakniavaisių vidutinė masė padidėjo atitinkamai 20 % ir 22 %, palyginus su kontrole. Vienas iš pagrindinių morkų kokybės rodiklių yra karotinoidų kiekis (Arscott, Tanumihardjo, 2010; Gajewski et al., 2010). Įrodyta, kad organinės trąšos gali padidinti β-karotinų kiekį (Minikayev, Gaffarova, 2020). Kalbant apie mikrobiologinių augalų biostimuliatorių poveikį produktų kokybės gerinimui, Chandrasekaran su bendraautoriais (Chandrasekaran et al., 2019) pranešė, kad *Bacillus subtilis* CBR05 inokuliacija reikšmingai padidino pomidorų karotinoidų kiekį. Mūsų tyrime didžiausias šių pigmentų kiekis aptiktas morkose, augintose neekologiniame ūkyje apdorotose "ProbioHumus" ir "NaturGel" mišiniu. Tuo tarpu ekologinėse sąlygose šie preparatai reikšmingos įtakos karotinoidų kiekiui neturėjo.

Pagal literatūros duomenis, kad ekologiškai užauginti vaisiai ir daržovės sukaupia daugiau cukrų, nei neekologiškai auginami, kuriuose naudotos NPK trąšos (Haglund et al., 1998; Singh et al., 2012). Norvegų mokslininkai, tirdami ekologiniuose ir chemines trąšas naudojančiuose ūkiuose išaugintų

morkų juslines savybes, nustatė, kad vienas svarbiausių veiksnių yra tręšimas. Morkos, išaugintos netręšiant ar tręšiant organinėmis trąšomis, turėjo daugiau cukrų, jų skonis ir aromatas buvo intensyvesni, o pH – mažesnis (Hogstad et al., 1997). Tačiau Bender su bendraautoriais (2020) teigia, kad ekologiniai šakniavaisiai ne visada pasižymi didesniu cukrų kiekiu (Bender et al., 2020). Mūsų tyrimų duomenimis ekologiškai užaugintose morkose aptiktas didesnis monosacharidų kiekis, o "ProbioHumus" ir "NaturGel" preparatai skatino jų kaupimąsi. Didžiausias kiekis nustatytas ekologiniame ūkyje užaugintose morkose, apdorotose "ProbioHumus + NaturGel" mišiniu. Askorbo rūgštis, nors morkose aptinkama palyginus nedideliais kiekiais, yra svarbus jų maistinės vertės rodiklis dėl stipraus biologinio aktyvumo. Atsižvelgiant į didelį neapdorotų morkų suvartojimo kiekį, šie šakniavaisiai gali būti svarbus askorbo rūgšties šaltinis (Wszelaczynska, Poberežny, 2011; Bender et al., 2020). Žinoma, jos kiekis priklauso nuo morkų veislės, nors negalima atmesti ir ūkininkavimo būdų įtakos. Mūsų tyrimo rezultatai parodė, kad askorbo rūgšties kiekis ekologiškai auginamose morkose padidėjo naudojant "ProbioHumus", o neekologinėse – taikant "ProbioHumus + NaturGel" mišinį. Šie rezultatai atitinka kitų autorių duomenis, rodančius, kad biostimuliatoriai gali skatinti vitamino C kaupimąsi augaluose (Przybysz et al., 2010; Kwiatkowski et al., 2013).

Morkos yra vienas turtingiausių augalinių fenolinių rūgščių šaltinių (Keser et al., 2020), jų kiekis morkose svyruoja nuo 50 iki 75 mg/100 g žalios masės (Leja et al, 2013; Dong et al., 2021; Oh, Brooks, 2025). Mūsų duomenimis, ekologiniame ūkyje "ProbioHumus + NaturGel" mišinys padidino bendrą fenolių kiekį morkose 10 %, o neekologinėse sąlygose "ProbioHumus" lėmė jų padidėjimą iki 15 %.

Pastarieji tyrimai rodo, kad probiotikai gali paveikti augalų pirminį ir antrinį metabolizmą, skatindami antioksidacinių junginių sintezę ir kaupimąsi (Colla et al., 2017; Rouphael et al., 2017). Pavyzdžiui, po PGPM inokuliacijos sojų augaluose buvo stebėtas padidėjęs flavonoidų ir izoflavonų kiekis, dėl kurio padidėjo antioksidacinis aktyvumas (Kiprovski et al., 2016). Mūsų tyrimo rezultatai parodė, kad "ProbioHumus" ir "NaturGel" mišinys reikšmingai padidino morkų antioksidacinį aktyvumą tiek ekologiniuose, tiek neekologiniuose ūkiuose.

Vidutinis nitratų kiekis įprastai auginamose morkose siekia 100–270 mg/kg (Karkleliene et al., 2009; Bender et al., 2020). Šakniavaisių nitratų kiekį lemia veislė, auginimo sąlygos ir taikomos technologijos (Wierzbowska et al., 2017; Scharma et al., 2018). Nors kai kuriuose šaltiniuose teigiama (Kwiatkowski et al., 2013; Smolen et al., 2014), kad probiotikai gali mažinti nitratų kiekį, kiti autoriai šios įtakos nenustatė (Poberežny et al., 2020). Mūsų

tyrimų duomenimis, nepriklausomai nuo naudoto preparato, ekologiškai augintose morkose nitratų kiekis buvo maždaug du kartus mažesnis nei neekologiškai augintose. Tuo pačiu nustatyta, kad probiotikai neturėjo statistiškai reikšmingos įtakos nitratų kaupimuisi.

Apibendrinant galima teigti, kad probiotikas "ProbioHumus" turėjo teigiamą poveikį morkų augimui, produktyvumo rodikliams bei derliui. Naudojant "ProbioHumus" kartu su "NaturGel", pastebėtas padidėjęs karotinoidų, monosacharidų, askorbo rūgšties ir fenolinių junginių kiekis, taip pat padidėjęs bendras antioksidacinis aktyvumas tiek ekologiniuose, tiek neekologiniuose ūkiuose užaugintų morkų šakniavaisiuose. Nors šie preparatai neturėjo reikšmingos įtakos nitratų kiekiui, ekologiniuose ūkiuose buvo stebėtas nežymus jų sumažėjimas. Gauti rezultatai leidžia daryti prielaidą, kad probiotikai gali būti tvaria alternatyva cheminėms trąšoms morkų auginime. Mūsų tyrimai rodo, kad ekologiškai užaugintų morkų derliaus kokybė kai kuriais atvejais gali pranokti neekologinio ūkininkavimo produkciją.

Be to, mikrobiologinių preparatų taikymas kartu su cheminėmis trąšomis gali prisidėti prie agrarinės aplinkosaugos vystymo, mažinant sintetinių trąšų naudojimo poreikį. Atsižvelgiant į tai, kad "ProbioHumus" ir "NaturGel" buvo veiksmingi net naudojant mažas dozes, jie gali būti rekomenduojami kaip aplinkai draugiškų auginimo technologijų dalis. Tolimesni išsamūs tyrimai apie probiotikų poveikį augalų augimui, vystymuisi ir derliaus kokybei padės gilinti supratimą apie šakniavaisių ir mikroorganizmų sąveikas bei suteiks ūkininkams naujų priemonių tvarios žemdirbystės plėtrai.

Braškių vaisiai vertinami ne tik dėl išskirtinių juslinių savybių – saldaus skonio, malonaus aromato ir švelnios tekstūros – bet ir dėl jų didelės biologinės vertės bei galimos naudos sveikatai. Dėl šių savybių braškės priskiriamos funkciniam maistui. Yra žinoma, kad mažesnių vaisių derlius – viena iš pagrindinių ekologinių ūkių problemų (Bona et al., 2015). Tačiau šios disertacijos duomenys rodo, kad ją galima spręsti pasitelkiant tirtus probiotikus. Mūsų rezultatai parodė, kad ekologiniame ūkyje taikant "ProbioHumus" ir "NaturGel" probiotikus pagerėjo braškių morfometriniai rodikliai ir kokybė. Braškės, paveiktos tirtais probiotikais, turėjo reikšmingai didesnę žalią vaisių masę – ji padidėjo 22–42 % palyginus su neapdorotais kontroliniais augalais. Kaip ir morkų bandymuose, didžiausia žalia masė ir sausųjų medžiagų kaupimasis fiksuotas po apdorojimo "ProbioHumus" probiotikais. Pagerėjęs vaisių augimas gali būti susijęs su efektyvesniu maisto medžiagų pasisavinimu ir / arba endogeninių fitohormonų kiekio pokyčiais bei kitais biologiniais mechanizmais (Lugtenberg, Kamilova, 2009; Spence et al., 2012; Islam, Hossain, 2012). Fenoliniai junginiai – tai augalų antriniai

metabolitai, pasižymintys didele struktūrine ir funkcine įvairove. Šių fitocheminių medžiagų teigiama įtaka sveikatai siejama su jų antioksidaciniu aktyvumu bei galimu vaidmeniu tam tikrų ligų prevencijoje (Haminiuk et al., 2012; Basu et al., 2014; Skrovankova et al., 2015). Braškės patenka tarp 100 maisto produktų ir gėrimų, kuriuose gausiausia polifenolių (Pérez-Jiménez et al., 2010), o jų vaisiuose identifikuota apie 40 skirtingų struktūrų ir funkcijų fenolinių junginių (Basu et al., 2014). Literatūroje nurodoma, kad polifenolių kiekis braškėse gali svyruoti nuo 99,4 iki 1441 mg GAE/100 g (Mandave et al., 2014; Chaves et al., 2017; Ganhão et al., 2019). Mūsų tyrime nustatyta, kad kontrolinių braškių vaisiuose bendras fenolinių junginių kiekis svyravo nuo 313 iki 438 mg GAE/100 g. Tai atitinka kitų tyrėjų nurodytus bendrus fenolinių junginių kiekius. Tyrimo rezultatai parodė, kad probiotiniais preparatais apdorotose braškėse fenolinių junginių kiekis iš esmės nesiskyrė nuo kontrolės. Vis dėlto kiti autoriai (Rahman et al., 2018) parodė, kad braškėse, apdorotose *Bacillus amylolequifaciens* Bchi1 ir *Paraburkholderia fungorum* BRRh-4 izoliatais, nustatytas gerokai didesnis bendrųjų fenolių kiekis, palyginus su neapdorota kontrole.

Viena iš svarbiausių braškių kokybės vertinimo savybių yra patraukli raudona spalva, kurią lemia antocianinai - vandenyje tirpių fenolinių junginių grupė, pasižyminti antioksidacinėmis savybėmis (Basu et al., 2014; Smeriglio et al., 2016; Chaves et al., 2017). Daugelio tyrimų duomenimis, antocianinų kiekis braškėse svyruoja nuo 2,09 iki 48 mg/100 g šviežios masės (Chaves et al, 2017; Ganhão et al., 2019), priklausomai nuo veislės ir vaisiaus brandos tarpsnio (Aaby et al., 2012; Chaves et al., 2017). Antocianinų kaupimąsi taip pat lemia auginimo sistema bei aplinkos veiksniai, tokie kaip temperatūra, šviesos intensyvumas ir dirvos sudėtis (Panico et al., 2009; Skrovankova et al., 2015). Mūsų tyrime nustatyta, kad kontrolinių braškių antocianinų kiekis svyravo nuo 26,15 iki 34,4 mg/100 g šviežios masės, kas atitinka kitų autorių pateikiamus duomenis.

Probiotikai “ProbioHumus” ir “NaturGel” nepadidino antocianinų kiekio braškių vaisiuose lyginant su kontrolinėmis braškėmis. Panašų poveikį stebėjo ir Ramos-Solano su bendraautoriais (2013) tyrime su gervuogėmis, kur probiotikų taikymas neturėjo įtakos antocianinų kiekiui (Ramos-Solano et al., 2013). Tačiau kitų autorių tyrimų duomenys rodo priešingas tendencijas – Lingua su bendraautoriais (2013) nustatė, kad antocianinų koncentracija padidėjo augaluose, inokuliuotuose mikorizinių grybų (*Glomus* sp.) ir augimą skatinančių bakterijų mišiniu (*Pseudomonas fluorescens*). Rahman su bendraautoriais (Rahman et al., 2018) taip pat nustatė reikšmingą antocianinų kiekio padidėjimą braškėse po apdorojimo *Bacillus amyloliquefaciens* Bchi1 ir *Paraburkholderia fungorum* BRRh-4 izoliatais. Antocianinų koncentracija

priklauso nuo jų sintezės ir skaidymo pusiausvyros, todėl sumažėjusį kiekį paaiškinti vienareikšmiškai sudėtinga. Šiuo metu literatūroje trūksta išsamių duomenų apie augalinių probiotikų įtaką antocianinų kiekiui braškių vaisiuose. Tačiau šios disertacijos rezultatai rodo, kad bendras antioksidacinis aktyvumas probiotikais apdorotuose augaluose koreliuoja su kitų stiprių antioksidantų, tokių kaip fenoliniai junginiai ir askorbo rūgštis, padidėjimu.

Askorbo rūgštis yra gyvybiškai svarbus žmogaus sveikatos komponentas, prisidedantis prie ligų prevencijos. Įrodyta, kad šios rūgšties koncentracija kraujo plazmoje glaudžiai susijusi su vaisių ir daržovių vartojimu (Olsson et al., 2006; Bermúdez-Oria et al., 2020). Askorbo rūgštis taip pat yra vienas svarbiausių braškių vaisių antioksidacinio potencialo komponentų (Giampieri et al., 2012; Flores-Félix et al., 2015; Bermúdez-Oria et al., 2020). Szeto su bendraautoriais (2002) parodė, kad iš 17 tirtų vaisių rūšių braškės pasižymėjo didžiausiu askorbo rūgšties kiekiu – didesniu nei kiviuose ar citrinose. Lyginant su kitomis uogomis, askorbato kiekis braškėse yra panašus kaip avietėse, bet apie 4 kartus didesnis nei mėlynėse (Skrovankova et al., 2015). Skirtingi autoriai nurodo skirtingus askorbato kiekius (nuo 5 iki 104 mg/100 g ŽM) braškių vaisiuose (Szeto et al., 2002; Olsson et al., 2004; Crecente-Campo et al., 2012; Skrovankova et al., 2015). Panašūs askorbo rūgšties kiekio intervalai (nuo 13,56 iki 79,78 mg/100 g) nustatyti ir mūsų tyrime. Rezultatai rodo, kad visi apdorojimo probiotikais būdai reikšmingai padidino askorbo rūgšties kiekį, palyginus su kontrole. Didžiausia koncentracija (31,4-72,5 mg/100 g) nustatyta braškėse, apdorotose “ProbioHumus”, kur vitamino C kiekis padvigubėjo, palyginus su kontrole (14,2-40,9 mg/100 g). Taip pat reikšmingai išaugo askorbo rūgšties kiekis naudojant “ProbioHumus” + “NaturGel” (27,5-79,7 mg/100 g) bei “NaturGel” (18,7-49,7 mg/100 g). Kai kurie autoriai (Pırlak, Köse, 2009; Esitken et al., 2010) nenustatė askorbo rūgšties kiekio pokyčių po braškių inokuliacijos *Pseudomonas* ar *Bacillus* padermėmis. Tuo tarpu kiti (Erturk et al., 2012; Flores-Félix et al., 2015; Bona et al., 2015) pateikia įrodymų apie reikšmingą vitamino C padidėjimą, ypač kai augalai buvo inokuliuoti *Paenibacillus polymyxa*, *Phyllobacterium endophyticum* ar mikoriziniais grybais kartu su augimą skatinančiomis bakterijomis.

Kaip rodo literatūros šaltiniai, braškių vaisiai pasižymi vienu didžiausių antioksidacinio aktyvumo rodiklių tarp vaisių ir daržovių (Wang, Lin, 2000; Sun et al., 2002; Proteggente et al., 2002). Šis aktyvumas gali svyruoti nuo 9,6 % iki 297 %, priklausomai nuo daugelio veiksnių (Capocasa et al., 2008; Panico et al., 2009; Mandave et al., 2014; Ganhão et al., 2019), įskaitant genotipą, vaisiaus nokimo laipsnį (Mandave et al., 2014), klimato sąlygas,

šviesos kiekį, drėkinimą, tręšimą bei auginimo metodus (Skrovankova et al., 2015).

Didžiausias antioksidacinis aktyvumas nustatytas probiotikų mišiniu apdorotuose braškių vaisiuose, jis padidėjo 13 % lyginant su kontrole, o po "ProbioHumus" poveikio – 11 %. "NaturGel" probiotiku apdorotų braškių antioksidacinis aktyvumas padidėjo 5 % lyginant su kontrole. Šie rezultatai atitinka kitų autorių duomenis. Rahman su bendraautoriais (2018) parodė, kad braškių augalai, apdoroti probiotinėmis bakterijomis *Bacillus amyloliquefaciens* ir *Paraburkholderia fungorum*, pasižymėjo gerokai didesniu bendru antioksidaciniu aktyvumu nei kontroliniai augalai. Tai leidžia teigti, kad probiotikų naudojimas gali inicijuoti augalų gynybines reakcijas, kartu paskatindamas antrinių metabolitų – antioksidantų – sintezę. Siekdami nustatyti, kurie junginiai daro didžiausią poveikį braškių antioksidaciniam aktyvumui, keli autoriai atliko išsamius tyrimus. Aaby su bendraautoriais (2007) nustatė, kad pagrindiniai antioksidantai braškėse yra askorbo rūgštis – 24 % ir antocianinai – 13 %. Tulipani su kolegomis (2008) pastebėjo tą pačią tendenciją: askorbo rūgštis sudarė daugiau kaip 30 %, antocianinai – 25-40 % viso braškių antioksidacinio aktyvumo.

Šiuo tyrimu parodėme, kad braškių augalus apdorojus "ProbioHumus", "NaturGel" probiotikais bei jų mišiniu, padidėjo ne tik vaisių augimas, bet ir antioksidantų, ypač askorbo rūgšties, kiekis, o vaisių antioksidacinis aktyvumas reikšmingai išaugo, palyginus su kontroliniais augalais. Taigi, apdorojimas šiais probiotikais sudarė palankesnes sąlygas užauginti kokybiškesnius braškių vaisius ekologinės žemdirbystės sąlygomis. Tai svarbus rezultatas tiek žemės ūkiui, tiek aplinkai bei žmonių sveikatai. Atsižvelgiant į tai, galima teigti, kad tirti probiotikai turi potencialo būti naudojami funkciniams vaisiams auginti tvaraus ekologinio ūkininkavimo sistemose.

Komerciškai svarbios juodųjų serbentų uogos pasižymi dideliu antioksidantų kiekiu ir efektyvia laisvųjų radikalų šalinimo geba. Pirmą kartą apie uoginių augalų augimo skatinimą įvairių rūšių bakterijomis pranešė Rahman su kolegomis (2018). Atlikę eksperimentą su probiotinėmis bakterijomis, gavo gerokai padidėjusį braškių vaisių derlių ir jų funkcines savybes. Panašūs rezultatai buvo gauti šios disertacijos tyrime: "ProbioHumus" ir "NaturGel" pagerino juodųjų serbentų uogų, užaugintų ekologiškomis sąlygomis, derlių ir kokybę.

Po šių preparatų panaudojimo reikšmingai ($p < 0,05$) padidėjo tiek juodųjų serbentų žalia masė, tiek derlius. "ProbioHumus" padidino šviežią uogų svorį 45 %, o derlius buvo 1,1 t/ha didesnis nei neapdorotų augalų.

Šie rezultatai sutampa su kitų tyrėjų atliktais eksperimentais su braškėmis, gervuogėmis ir avietėmis (Orhan et al., 2006; Ramos-Solano et al., 2013; García-Seco et al., 2015; Mukta et al., 2017; Rahman et al., 2018).

Juodųjų serbentų uogos yra ypač turtingas biologiškai aktyvių junginių šaltinis. Jose gausu cheminių junginių, kurie pasižymi antioksidacinėmis, antibakterinėmis dezinfekcinėmis savybėmis. Juoduosiuose serbentuose randami veiksmingiausi antioksidantai – jų ekstraktas yra antras pagal efektyvumą tarp devynių uogų ekstraktų, tirtų pagal laisvųjų radikalų šalinimo gebą (Amakura et al., 2000). Be to, serbentai turtingi askorbo rūgštimi, kuri prisideda prie jų aukšto antioksidacinio aktyvumo (Bishayee et al., 2011; Butnariu, 2014).

Juodųjų serbentų uogose nustatytas didelis fenolinių junginių kiekis – nuo 500 iki 1112 mg/100 g ŽM (Moyer et al., 2002). Lietuvos agroklimato sąlygomis jų koncentracija siekia nuo 400 iki > 900 mg/100 g, o šios disertacijos tyrime – 570-600 mg/100 g. Bendras fenolinių medžiagų kiekis nepadidėjo po "ProbioHumus", "NaturGel" ar jų mišinio taikymo, nors kitų autorių, pavyzdžiui Ramos-Solano ir bendraautorių ir Rahman ir bendraautorių (Ramos-Solano et al., 2013; Rahman et al., 2018), tyrimai su braškių vaisiais bei gervuogėmis tokią tendenciją turėjo.

Lietuvos ir užsienio mokslininkų atliktų tyrimų duomenimis, bendras antocianinų kiekis juodųjų serbentų uogose svyruoja nuo 214 iki 589 mg/100 g, t. y. 3-4 kartus daugiau nei raudonosiose avietėse ir braškėse (Slimestad, Solheim, 2002; Rubinskiene et al., 2005; Viskelis et al., 2012; Anisimovienė et al., 2013). Šios disertacijos duomenys rodo, kad probiotikais ("ProbioHumus" ir "NaturGel") apdorotose uogose reikšmingai padidėjo bendras antocianinų kiekis. Tyrimo rezultatai parodė, kad "NaturGel" probiotikas reikšmingai padidino antocianinų kaupimąsi juodųjų serbentų uogose – net 79 %. Taip pat reikšmingą poveikį turėjo "ProbioHumus" ir "NaturGel" mišinys, padidinęs antocianinų kiekį 51 %, o "ProbioHumus" padidino šį kiekį 45 %, palyginus su kontroliniais augalais.

Šie rezultatai sutampa su ankstesniais tyrimais, kuriuose braškės, auginamos sumažinto tręšimo sąlygomis ir inokuliuotos augimą skatinančiomis bakterijų padermėmis bei mikoriziniu grybu, pasižymėjo padidėjusiu antocianinų kiekiu (Bona et al., 2015; Todeschini et al., 2018; Rahman et al., 2018). Tuo tarpu tyrime su gervuogėmis, inokuliuotomis *Pseudomonas* genties bakterijomis, antocianinų kiekio pokyčių nenustatyta (Ramos-Solano et al., 2013). Remiantis šiuo tyrimu, augalų probiotikai gali būti efektyvi priemonė antocianinų kiekiui juodųjų serbentų uogose didinti.

Juodųjų serbentų uogos pasižymi labai dideliu askorbo rūgšties kiekiu –

nuo 100 iki 250 mg/100 g, o kai kurių laukinių porūšių (*Ribes nigrum* spp. *sibiricum*) uogose askorbo rūgšties kiekis gali siekti net 800 mg/100 g (Brennan, 2008; Rubinskienė, 2005; Viskelis et al., 2012; Skrovankova et al., 2015; Sharma, Singhvi, 2017; Okatan, 2020). Pagal skirtingų šalių rekomendacijas, vitamino C paros norma svyruoja nuo 40 iki 120 mg (Doseděl et al., 2021). Duomenų apie probiotikų poveikį askorbo rūgšties kiekiui juodųjų serbentų uogose kol kas nerasta. Tačiau žinoma, kad šios rūgšties kiekis priklauso nuo uogų nokimo stadijos – ji didžiausia brandos pradžioje ir siejama su intensyvėjančia uogų spalva (Viskelis et al., 2012; Vagiri et al., 2013). Askorbo rūgšties biosintezė serbentuose daugiausia vyksta ankstyvame uogų vystymosi etape (Hancock, 2007). Mūsų tyrime nustatyta, kad askorbo rūgšties kiekis neapdorotose juodųjų serbentų uogose buvo 92,34 mg/100 g, o "ProbioHumus" paveiktose uogose – padidėjo iki 124,45 mg/100 g. Visgi, dėl natūraliai aukšto askorbo rūgšties kiekio serbentuose, šis padidėjimas nebuvo statistiškai reikšmingas ($p > 0,05$). Šie duomenys atitinka kitų tyrėjų rezultatus, kurie parodė, kad augimą skatinančios bakterijos gali padidinti askorbo rūgšties kiekį braškėse (Pırlak, Köse, 2009; Erturk et al., 2012; Flores-Félix et al., 2015; Rahman et al., 2018; Okatan, 2020). Čia reikia pažymėti, kad juodųjų serbentų uogose askorbo rūgšties kiekis yra apie penkis kartus didesnis nei braškėse.

Juodieji serbentai dažnai vadinami „supervaisiais" dėl savo plataus spektro sveikatai naudingų savybių, susijusių su stipriu antioksidaciniu aktyvumu (Tabart et al., 2012; Allai et al., 2020). Viškelio ir kolegų (2012) tyrime, analizuojant 16 Lietuvoje auginamų juodųjų serbentų veislių, DPPH radikalų slopinimo aktyvumas svyravo nuo 71 % iki 94 %, o veislėje 'Joniniai' siekė 78 %. Mūsų tyrime nustatyta, kad antioksidacinis aktyvumas uogose svyravo nuo 63 iki 74 %, o naudoti probiotikai neturėjo reikšmingo poveikio bendram antioksidaciniam juodųjų serbentų uogų aktyvumui.

Tiek atskirai, tiek kartu naudoti probiotikai turėjo įtakos antocianinų koncentracijai, kuri kai kuriose uogose gali sudaryti iki 56 % visų fenolinių junginių. Tačiau manoma, kad antocianinų indėlis į bendrą antioksidacinį aktyvumą yra palyginus nedidelis (Medda et al., 2021). Mūsų tyrimo rezultatai patvirtino kitų autorių (Lister et al., 2002; Clark, Finn, 2014; García-Seco et al., 2015) išvadas, kad antioksidacinis aktyvumas labiausiai priklauso nuo fenolinių medžiagų ir askorbo rūgšties koncentracijos bet ne nuo antocianinų kiekio. Apibendrinant galima teigti, kad "ProbioHumus" ir "NaturGel" naudojimas leidžia ne tik padidinti uogų augimą ir derlių, bet ir lemia antocianinų kiekio padidėjimą. Atlikę eksperimentą su probiotikais, gavome gerokai padidėjusį juodųjų serbentų uogų derlių ir pagerėjusiomis

funkcinėmis savybėmis. Tai pirmasis tyrimas, kuriame probiotikai buvo vertinti ekologinio ūkininkavimo sąlygomis. Jie veikė efektyviai net ir labai mažomis dozėmis, todėl gali būti rekomenduojami kaip aplinkai draugiška technologija. Mūsų rezultatai rodo, kad naudoti augalų probiotikai gali būti skirti norint užauginti aukštos kokybės juodųjų serbentų produkciją, taip sumažinant poreikį naudoti brangias neorganines trąšas. Tai aplinkai palankus sprendimas, kuris gali būti naudingas tiek augintojams, tiek vartotojams.

Probiotikų poveikis dirvos agrocheminėms savybėms

Biologiškai aktyvių natūralių medžiagų ir probiotikų naudojimas ne tik gerina augalų biochemines savybes, bet ir gerina dirvą (De Pascale et al., 2017; Lin et al., 2019; Gamage et al., 2023). Moksliniai tyriai rodo, kad probiotikai pagerina augalų mitybą tirpindami bei mineralizuodami dirvos maisto medžiagas, ypač fosforą, vykdydami azoto fiksaciją, skatindami fitohormonų gamybą, slopindami patogenų veiklą ir didindami augalų atsparumą biotiniam bei abiotiniam stresui (Lingua et al., 2013; Jiménez-Gómez et al., 2017; Rahman et al., 2018). Tinkamam augalų vystymuisi itin svarbios kelios dirvos agrocheminės savybės, tokios kaip humusas, bendras azotas, augalams prieinamas fosforas, huminės rūgštys ir organinės medžiagos (Plett et al., 2020). Šie komponentai yra ne tik medžiagų šaltiniai augalų audinių formavimuisi, bet ir aktyviai dalyvauja augalų metabolizme. Azotas būtinas visiems augalų augimo procesams (Gregory et al., 2016).

Dirvos bandymų metu po probiotikų panaudojimo agrocheminės savybės, vertinant bendrąjį azotą, nepakito ir liko žemiausioje grupėje. Neekologinės dirvos amoniakinio azoto kiekis padidėjo po “ProbioHumus” ir “ProbioHumus + NaturGel” mišinio panaudojimo (atitinkamai 2,53 mg/kg ir 2,49 mg/kg, palyginus su kontrole – 1,24 mg/kg), o ištyrus ekologinę dirvą amoniakinio azoto kiekis nors ir sumažėjo, tačiau nitratų ir azoto kiekis po probiotikų apdorojimo rodė didėjimo tendenciją.

Probiotikai yra viena iš efektyvių valdymo praktikų, padedančių išlaikyti arba didinti fosforo kiekį ir pagerinti jo prieinamumą žemės ūkio dirvose. Fosforas yra esminė augalų gyvybinių procesų dalis – jo trūkumas sukelia prastą augalų augimą, lapų deformacijas ir patamsėjimą (Ma et al., 2021). Bendras fosforo kiekis dirvožemyje svyruoja nuo 112 iki 600 mg/kg (Tian et al., 2021), o mūsų laukuose P kiekis siekė 365-554 mg/kg.

Apie 80 % dirvožemyje esančio fosforo yra augalams neprieinamoje formoje. Mikroorganizmai atlieka svarbų vaidmenį perdirbant organines fosforo formas į augalams prieinamas (Pukalchik et al., 2019). Mūsų tyrimų rezultatai parodė, kad naudoti probiotikai reikšmingai padidino augalams prieinamo fosforo kiekį dirvoje – neekologinėje daugiausiai fosforo buvo po

“ProbioHumus” poveikio, o ekologinėje – po “ProbioHumus” ir “NaturGel” mišinio taikymo.

Tyrimai rodo, kad biostimuliatorių naudojimas gali keisti huminių rūgščių kiekį ir savybes (Bhatt et al., 2025). Mūsų duomenys parodė, kad po “ProbioHumus” panaudojimo humino rūgščių kiekis ekologiniame ūkyje padidėjo beveik keturgubai, o neekologiniame – dvigubai (žr. 7 ir 8 lenteles). Organinė anglis yra svarbus dirvos kokybės rodiklis, o net nedidelis jos padidėjimas didina dirvos aktyvumą ir derlingumo potencialą (Stockmann et al., 2015). Mūsų tyrime bendras organinės anglies kiekis ekologiniuose laukuose, apdorotuose “ProbioHumus”, išaugo 71 % palyginus su kontrole, o po “ProbioHumus” + “NaturGel” mišinio – 37 %. Neekologiniame ūkyje šie rodikliai buvo atitinkamai 26 % ir 6 %.

Mikroorganizmų veikla vaidina svarbų vaidmenį daugelyje dirvos procesų, įskaitant organinių medžiagų irimą ir humuso susidarymą. Apytiksliai 80–85 % dirvos organinių medžiagų sudaro humusas, kuris ne tik gerina dirvos struktūrą ir vandens sulaikymą, bet ir yra gyvybiškai svarbus mikroorganizmų bei augalų maistinių medžiagų šaltinis. Po probiotikų poveikio organinių medžiagų kiekiui tyrimai parodė įvairius rezultatus. Lietuvoje humuso kiekis regionuose svyruoja nuo 1,5 % iki 2,76 % (Staugaitis et al., 2009). Mūsų lauko bandymuose užfiksavome 1,66 % humuso neapdorotuose ekologiniuose, 2,5 % ekologiniuose, o po ProbioHumus panaudojimo – 2,68 % ir 3,17 % ekologiniuose bei neekologiniuose dirvose, atitinkamai.

Vadovaujantis mūsų atliktais tyrimais, galime daryti išvadą, kad siekiant padidinti maisto medžiagų biologinį prieinamumą ir sumažinti neigiamą poveikį aplinkai, svarbu naudoti mikroorganizmų pagrindu sukurtas technologijas. Probiotikai yra perspektyvi priemonė tvaraus žemės ūkio vystymui – jie didina augalų augimą ir derlių per tiesioginius mechanizmus, tokius kaip fitohormonų gamyba, azoto fiksacija, fosfatų ir kalio prieinamumas, amoniako gamyba, taip pat per netiesioginius mechanizmus, įskaitant bakterinių fermentų sintezę (Basu et al., 2014; Backer et al., 2018; Grover et al., 2021; Fiodor et al., 2023). Mikrobiologinės priemonės, kurių sudėtyje yra PGPM, gali padidinti augalininkystės produkciją 12–20 % (Pérez-Jaramillo et al., 2010; Glick, 2014; Shi et al., 2023), kas pabrėžia jų svarbą kaip tvaraus žemės ūkio įrankį.

IŠVADOS

1. Po augalų apdorojimo probiotikais reikšmingai padidėja šakniavaisinių ir uoginių augalų morfometriniai parametrai bei derlius. Didžiausi parametrai buvo gauti naudojant “ProbioHumus” probiotiką.
2. Nustatyta, kad probiotikai “ProbioHumus” ir “NaturGel” yra veiksmingi mažomis dozėmis ir juos galima rekomenduoti kuriant aplinką tausojančias technologijas.
3. Probiotikų taikymas teigiamai veikė šakniavaisių maistinę sudėtį – padidėjo monosacharidų ir antioksidantų kiekis, taip pat sustiprėjo bendras antioksidacinis aktyvumas. Nors antioksidantų sintezės suaktyvėjimas buvo stebimas tiek ekologiškai, tiek neekologiškai užaugintose morkose, ryškesnis teigiamas probiotikų poveikis pasireiškė neekologiniame bandyme.
4. Šakniavaisių, augusių ekologiniuose laukuose nitratų kiekis buvo apie du kartus mažesnis nei neekologiniuose. Tirtieji probiotikai neturėjo statistiškai reikšmingo poveikio nitratų kaupimuisi šakniavaisiuose.
5. Probiotikai padidino braškių vaisių ir juodųjų serbentų uogų antioksidacinį aktyvumą, pagerindami jų maistines savybes: braškėse askorbo rūgšties kiekis beveik padvigubėjo po poveikio “ProbioHumus”, o juoduosiuose serbentuose padidėjo antocianinų kiekis.
6. Sisteminis probiotikų naudojimas pagerino abiejų tipų ūkių dirvožemio agrochemines savybes: “ProbioHumus” padidino bendrąjį azotą 26 %, nitratinį azotą – 61 %, o organinės anglies kiekį – 71 % ekologinėmis sąlygomis, o neekologinėmis bendrąjį azotą – 39 %, nitratinį azotą – 50 %, organinės anglies kiekį – 26 %, tuo pagrįsdamas, kad yra tvari ir ekologiška praktika, padedanti atkurti ir palaikyti dirvožemio derlingumą.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Aaby, K.; Ekeberg, D.; Skrede, G. Characterization of phenolic compounds in strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) fruits by different HPLC detectors and contribution of individual compounds to total antioxidant capacity. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007, 55, 4395-4406. DOI: 10.1021/jf0702592

2. Aaby, K.; Mazur, S.; Nes, A.; Skrede, G. Phenolic compounds in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) fruits: Composition in 27 cultivars and changes during ripening. Food Chemistry. 2012, 132, 86-97. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.10.037.

3. Adedayo, A. A.; Babalola, O. O. Fungi That Promote Plant Growth in the Rhizosphere Boost Crop Growth. Journal of Fungi. 2023, 9, 239. DOI: 10.3390/jof9020239

4. Ahmad, M.; Nadeem, S. M.; Naveed, M.; Zahir, Z. A. Potassium-Solubilizing Bacteria and Their Application in Agriculture. Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture. Springer. 2016, DOI: 10.1007/978-81-322-2776-2_21

5. Ahmad, P.; Jaleel, C. A.; Salem, M. A.; Nabi, G.; Sharma, S. Roles of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in plants during abiotic stress. Critical Reviews in Biotechnology. 2010, 30, 161-75. DOI: 10.3109/07388550903524243. PMID: 20214435.

6. Allai, F. M.; Azad, Z. R.; Gul, K.; Dar, B. N.; Jabeen, A.; Majid, D. Black Currant. Antioxidants in Fruits: Properties and Health Benefits. 2020, 271-293. DOI: 10.1007/978-981-15-7285-2_14

7. Alori, E. T.; Glick, B. R.; Babalola, O. O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. Frontiers in Microbiology. 2017, 8, 971. DOI: 10.3389/fmicb.2017.00971

8. Amakura, Y.; Umino, Y.; Tsuji, S.; Tonogai, Y. Influence of Jam Processing on the Radical Scavenging Activity and Phenolic Content in Berries. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2000, 48, 6292-6297. DOI: 10.1021/jf000849z

9. Ambrosini, R.; de Souza, R.; Passaglia, L. M. P. Ecological role of bacterial inoculants and their potential impact on soil microbial diversity. Plant Soil. 2016, 400, 193-207. DOI: 10.1007/s11104-015-2727-7

10. Anisimovienė, N.; Jankauskienė, J.; Jodinskienė, M.; Bendokas, V.; Stanys, V.; Šikšnianas, T. Phenolics, Antioxidative Activity and Characterization of Anthocyanins in Berries of Blackcurrant Interspecific

Hybrids. Acta Biochimica Polonica. 2013, 60, 767-772. DOI: 10.18388/abp.2013_2055

11. Antoun, H.; Beauchamp, C. J.; Goussard, N. Chabot, R.; Lalande, R. Potential of *Rhizobium* and *Bradyrhizobium* species as plant growth promoting rhizobacteria on non-legumes: Effect on radishes (*Raphanus sativus* L.). Plant and Soil. 1998, 204, 57-67. DOI: 10.1023/A:1004326910584

12. Apel, K.; Hirt, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. Annual Review of Plant Biology. 2004, 55, 373-99. DOI: 10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701

13. Arscott, S. A.; Tanumihardjo, S. H. Carrots of many colors provide basic nutrition and bioavailable phytochemicals acting as a functional food. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2010, 9, 223-239. DOI: doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00103.x

14. Ashraf, M. A.; Iqbal, M.; Rasheed, R.; Hussain, I.; Riaz, M.; Arif, M. S. Environmental stress and secondary metabolites in plants: An overview. Plant Metabolites and Regulation under Environmental Stress. 2018, 153-167. DOI: doi.org/10.1016/B978-0-12-812689-9.00008-X

15. Backer, R.; Rokem, J. S.; Ilangumaran, G.; Lamont, J.; Praslickova, D.; Ricci, E.; Subramanian, S.; Smith, D. L. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Context, Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture. Frontiers in Plant Science. 2018, 9, 1473. DOI: 10.3389/fpls.2018.01473.

16. Bakki, M.; Banane, B.; Marhane, O.; Esmaeel, Q.; Hatimi, A.; Barka, E. A.; Azim, K.; Bouzgarne, B. Phosphate solubilizing *Pseudomonas* and *Bacillus* combined with rock phosphates promoting tomato growth and reducing bacterial canker disease. Frontiers in Microbiology. 2024, 15, 1289466. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1289466

17. Bakowska-Barczak, A. M.; Kolodziejczyk, P. P. Black currant polyphenols: Their storage stability and microencapsulation. Industrial Crops and Products. 2011, 34, 1301-1309, DOI: 10.1016/j.indcrop.2010.10.002

18. Bargaz, A.; Lyamlouli, K.; Chtouki, M.; Zeroual, Y.; Dhiba, D. Soil microbial resources for improving fertilizers efficiency in an integrated plant nutrient management system. Frontiers in Microbiology. 2018, 9, 1606. DOI: 10.3389/fmicb.2018.01606

19. Barone, V.; Baglieri, A.; Stevanato, P.; Broccanello, C.; Bertoldo, G.; Bertaggia, M.; Cagnin, M.; Pizzeghello, D.; Moliterni, V. M. C.; Mandolino, G. Root morphological and molecular responses induced by microalgae extracts in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Journal of Applied Phycology. 2018, 30, 1061-1071. DOI: 10.1007/s10811-017-1283-3

20. Basegmez, H. I. O.; Povilaitis, D.; Kitrytė, V.; Kraujalienė, V.; Šulniūtė, V.; Alasalvar, C.; Venskutonis, P. R. Biorefining of Blackcurrant Pomace into High-Value Functional Ingredients Using Supercritical CO_2, Pressurized Liquid and Enzyme Assisted Extractions. The Journal of Supercritical Fluids. 2017, 124, 10-19. DOI: 10.1016/j. supflu.2017.01.003.

21. Basu, A.; Nguyen, A.; Betts, N.; Lyons, T. J. Strawberry as a functional food: An evidence-based review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2014, 54, 790-806. DOI: 10.1080/10408398.2011.608174.

22. Bednarek, P.; Osbourn, A. Plant-microbe interactions: chemical diversity in plant defense. Science. 2009, 324, 746-748. DOI: 10.1126/science.1171661.

23. Bender, I.; Edesi, L.; Hiiesalu, I.; Ingver, A.; Kaart, T.; Kaldmäe, H.; Talve, T.; Tamm, I.; Luik, A. Organic Carrot (*Daucus carota* L.) Production Has an Advantage over Non-organic in Quantity as Well as in Quality. Agronomy. 2020, 10*,* 1420. DOI: 10.3390/agronomy10091420

24. Berendsen, R. L.; Pieterse, C. M.; Bakker, P. A. The rhizosphere microbiome and plant health. Trends in Plant Science. 2012, 17, 478-86. DOI: 10.1016/j.tplants.2012.04.001.

25. Bermúdez-Oria, A.; Bouchal, Y.; Fernández-Prior, Á.; Vioque, B.; Fernández-Bolaños, J. Strawberry Puree Functionalized with Natural Hydroxytyrosol: Effects on Vitamin C and Antioxidant Activity. Molecules. 2020, 25*,* 5829. DOI: 10.3390/molecules25245829

26. Bhaskar, R.; Xavier, L. S. E.; Udayakumaran, G.; Kumar, D. S.; Vankatesh, R.; Nagella, P. Biotic elicitors: a boon for the *in-vitro* production of plant secondary metabolites. Plant Cell Tissue and Organ Culture. 2022, 149, 7-24. DOI: 10.1007/s11240-021-02131-1

27. Bhatt, P.; Singh, V. S.; Kumar, S. Optimizing soil health: comparative effects of humic acid, PGPR, and RDF on soil properties and fertility. Ecological Questions. 2025, 36, 1-17. DOI: 10.12775/EQ.2025.007

28. Bhattacharyya, P.; Jha, D. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2012, 28, 1327-1350. DOI: 10.1007/s11274-011-0979-9

29. Bishayee, A.; Mbimba, T.; Thoppil, R. J.; Háznagy-Radnai, E.; Sipos, P.; Darvesh, A. S.; Folkesson, H. G.; Hohmann, J. Anthocyanin- rich Black Currant (*Ribes nigrum* L.) Extract Affords Chemoprevention Against Diethylnitrosamine-Induced Hepatocellular Carcinogenesis in Rats. *The* Journal of Nutritional Biochemistry. 2011, 22, 1035-1046. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2010.09.001

30. Bona, E.; Lingua, G.; Manassero, P.; Cantamessa, S.; Marsano, F.; Todeschini, V.; Copetta, A.; D'Agostino, G.; Massa, N.; Avidano, L.;

Gamalero, E.; Berta, G. AM fungi and PGP pseudomonads increase flowering, fruit production, and vitamin content in strawberry grown at low nitrogen and phosphorus levels. Mycorrhiza. 2015, 25, 181-93. DOI: 10.1007/s00572-014-0599-y

31. Bothe, H.; Korsgen, H.; Lehmacher, T.; Hundeshagen, B. Differential effects of *Azospirillum*, auxin and combined nitrogen on growth of the roots of wheat. Symbiosis. 1992, 13, 167-179. https://dalspaceb.library.dal.ca/server/api/core/bitstreams/2424767a-f576-44e3-957b-792c70843ac6/content

32. Brand-Williams, W.; Cuvelier, M. E.; Berset, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT - Food Science and Technology. 1995, 28, 25-30. DOI: 10.1016/S0023-6438(95)80008-5.

33. Brennan, R. Currants and Gooseberries. *Temperate Fruit Crop Breeding*. 2008, 177-196. DOI: 10.1007/978-1-4020-6907-9_6

34. Brewer, M. S. Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications. Comprehensive reviews in food science and food safety. 2011, 10, 221-247. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x

35. Broadley, M. R., White, P. J. Eats roots and leaves: Can edible horticultural crops address dietary calcium, magnesium and potassium deficiencies? Proceedings of the Nutrition Society. 2010, 69, 601-612. DOI: 10.1017/S0029665110001588

36. Butnariu, M. Detection of the Polyphenolic Components in *Ribes nigrum* L. Annals of Agricultural and Environmental Medicine. 2014, 21, 11-14. https://www.aaem.pl/Detection-of-the-polyphenolic-components-in-Ribes-nigrum-L-,72051,0,2.html

37. CAMAG Catalog. 2019. Instrumental Thin-Layer Chromatography, 1-48.

38. Canadanovic-Brunet, J. M.; Savatovic, S. S.; Cetkovic, G. S.; Vulic, J. J.; Djilas, S. M.; Markov, S. L.; Cvetkovic, D. D. Antioxidant and Antimicrobial Activities of Beet Root Pomace Extracts. Czech Journal of Food Science. 2011, 29, 575-585. DOI: 10.17221/210/2010-CJFS

39. Capocasa, F.; Diamanti, J.; Mezzetti, B.; Tulipani, S.; Battino, M. Breeding strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) to increase fruit nutritional quality. BioFactors. 2008, 34, 67-72. DOI: 10.1002/biof.5520340107

40. Caradonia, F.; Battaglia, V.; Righi, L.; Pascali, G.; La Torre A. Plant Biostimulant Regulatory Framework: Prospects in Europe and Current Situation at International Level. Journal of Plant Growth Regulation. 2019, 38, 438-448. DOI: 10.1007/s00344-018-9853-4

41. Carillo, P.; Ciarmiello, L. F.; Woodrow, P.; Corrado, G.; Chiaiese, P.; Rouphael, Y. Enhancing sustainability by improving plant salt tolerance through macro- and micro-algal biostimulants. Biology. 2020, 9, 253. DOI: 10.3390/biology9090253

42. Chakraborthy, G. Quantitative estimation of ascorbic acid by HPTLC indifferent varieties of amla. Journal of Young Pharmacists. 2009, 1, 82-85. DOI: 10.4103/0975-1483.51878

43. Chan, C. F.; Lien, C. Y.; Lai, Y. C.; Huang, C. L.; Liao, W. C. Influence of purple sweet potato extracts on the UV absorption properties of a cosmetic cream. Journal of cosmetic science. 2010, 61, 333-341. https://www.researchgate.net/publication/47403323_Influence_of_purple_sweet_potato_extracts_on_the_UV_absorption_properties_of_a_cosmetic_cream

44. Chandrasekaran, M.; Chun, S. C.; Oh, J. W.; Paramasivan, M.; Saini, R. K.; Sahayarayan, J. J. *Bacillus subtilis* CBR05 for tomato (*Solanum lycopersicum*) fruits in South Korea as a novel plant probiotic bacterium (PPB): Implications from total phenolics, flavonoids, and carotenoids content for fruit quality. Agronomy. 2019, 9, 838. DOI: 10.3390/agronomy9120838

45. Chaves, V. C.; Calvete, E.; Reginatto, F. H. Quality properties and antioxidant activity of seven strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) cultivars. Scientia Horticulturae. 2017, 225, 293-298. DOI: 10.1016/j.scienta.2017.07.013

46. Chen, X.; Miché, L.; Sachs, S.; Wang, Q.; Buschart, A.; Yang, H.; Vera Cruz, C. M.; Hurek, T.; Reinhold-Hurek, B. Rice responds to endophytic colonization which is independent of the common symbiotic signaling pathway. New Phytologist. 2015, 208, 531-543. DOI: 10.1111/nph.13458

47. Cheynier, V. Phenolic compounds: from plants to foods. Phytochemistry reviews. 2012, 11, 153-177. DOI: 10.1007/s11101-012-9242-8

48. Choudhary, D.K.; Johri, B.N. Interactions of *Bacillus* spp. and Plants—With special reference to induced systemic resistance (ISR). Microbiological Research. 2009, 164, 493-513. DOI: 10.1016/j.micres.2008.08.007

49. Coklar, H.; Akbulut, M. Anthocyanins and phenolic compounds of *Mahonia aquifolium* berries and their contributions to antioxidant activity. Journal of Functional Foods. 2017, 35, 166-174. DOI: 10.1016/j.jff.2017.05.037

50. Colla, G.; Cardarelli, M.; Bonini, P.; Rouphael, Y. Foliar applications of protein hydrolysate, plant and seaweed extracts increase yield but differentially modulate fruit quality of greenhouse tomato. *HortScience.* 2017, 52, 1214-1220. DOI: 10.21273/HORTSCI12200-17

51. Crecente-Campo, J.; Nunes-Damaceno, M.; Romero-Rodríguez, M. A.; Vázquez-Odériz, M. L. Color, anthocyanin pigment, ascorbic acid and total phenolic compound determination in organic versus non-organic strawberries (*Fragaria* × *ananassa* Duch, cv Selva). Journal of Food Composition and Analysis. 2012, 28, 23-30. DOI: 10.1016/j.jfca.2012.07.004

52. Cruz-Rus, E.; Amaya, I.; Sánchez-Sevilla, J. F.; Botella, M. A.; Valpuesta, V. Regulation of L-ascorbic acid content in strawberry fruits. Journal of Experimental Botany. 2011, 62, 4191-4201. DOI: 10.1093/jxb/err122

53. Dai, J.; Mumper, R. J. Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. Molecules. 2010, 15, 7313-7352. DOI: 10.3390/molecules15107313

54. Das, K.; Roychoudhury, A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. Frontiers in Environmental Science. 2014, 2, 53. DOI: 10.3389/fenvs.2014.00053

55. Das, S.; Mukherjee, A. Impact of Plant Growth-Promoting Microbes (PGPM) in Plant Disease Management by Inducing Non-enzymatic Antioxidants. Antioxidants in Plant-Microbe Interaction. Springer. 2021, 291-303. DOI: 10.1007/978-981-16-1350-0_13

56. Dawid, C.; Dunemann, F.; Schwab, W.; Nothnagel, T.; Hofmann, T. Bioactive C_{17} - Polyacetylenes in carrots (*Daucus carota* L.): Current knowledge and future perspectives. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 2015, 63, 9211-9222. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b04357

57. De Filippis, L. F. Plant secondary metabolites: From molecular biology to health products. Plant-environment Interaction: Responses and Approaches to Mitigate Stress. 2016, 263-299. DOI: 10.1002/9781119081005.ch15

58. De Pascale, S.; Rouphael, Y.; Colla, G. Plant biostimulants: Innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. European Journal of Horticultural Sciences. 2017, 82, 277-285. DOI: 10.17660/eJHS.2017/82.6.2

59. De Souza Vandenberghe, L. P.; Garcia, L. M. B.; Rodrigues, C.; Camara, M. C.; de Melo Pereira, G. V.; de Oliveira, J.; Soccol, C. R. Potential applications of plant probiotic microorganisms in agriculture and forestry. AIMS Microbiology. 2017, 3, 629-648. DOI: 10.3934/microbiol.2017.3.629.

60. Delgoda, R.; Murray, J. E. Evolutionary perspectives on the role of plant secondary metabolites. Pharmacognosy. Fundamentals, Applications and Strategies. Elsevier. 2017, 93-100. DOI: 10.1016/B978-0-12-802104-0.00007-X

61. Devau, N.; Cadre, E. L.; Hinsinger, P.; Jaillard, B.; Gérard, F. Soil pH controls the environmental availability of phosphorus: Experimental and mechanistic modelling approaches. Applied Geochemistry. 2009, 24, 2163-2174. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2009. 09.020

62. Dhawi F. The Role of Plant Growth-Promoting Microorganisms (PGPMs) and Their Feasibility in Hydroponics and Vertical Farming. Metabolites. 2023, 13, 247. DOI: 10.3390/metabo13020247.

63. Dong, R.; Yu, Q.; Liao, W.; Liu, S.; He, Z.; Hu, X.; Chen, Y.; Xie, J.; Nie, S.; Xie, M. Composition of bound polyphenols from carrot dietary fiber and its *in vivo* and *in vitro* antioxidant activity. Food Chemistry. 2021, 339, 127879. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127879

64. Doseděl, M.; Jirkovský, E.; Macáková, K.; Krčmová, L. K.; Javorská, L.; Pourová, J.; Mercolini, L.; Remião, F.; Nováková, L.; Mladěnka, P.; et al. Vitamin C – Sources, Physiological Role, Kinetics, Deficiency, Use, Toxicity, and Determination. Nutrients. 2021, 13, 615. DOI: 10.3390/nu13020615

65. du Jardin, P. Plants Biostimulants: Definition, Concept, Main Categories and Regulations. Scientia Horticultura. 2015, 196, 3-14. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.09.021

66. El-Taher, E. M.; El-Ghany, T. M.; Alawlaqi, A. M. M.; Ashour, M. S. Biosecurity for reducing ochratoxin A productivity and their impact on germination and ultrastructures of germinated wheat grains. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2012, 2, 135-151. https://office2.jmbfs.org/index.php/JMBFS/article/view/7193

67. Erturk, Y.; Ercisli, S.; Cakmakci, R. Yield and growth response of strawberry to plant growth-promoting rhizobacteria inoculation. Journal of Plant Nutrition. 2012, 35, 817-826. DOI: 10.1080/01904167.2012.663437

68. Esitken, A.; Yildiz, H. E.; Ercisli, S.; Donmez, M. F.; Turan, M.; Gunes, A. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. Scientia Horticulturae. 2010, 124, 1, 62-66. DOI: 10.1016/j.scienta.2009.12.012

69. Eskin, N.; Vessey, K.; Tian, L. Research progress and perspectives of nitrogen fixing bacterium, *Gluconacetobacter diazotrophics*, in monocot plants. International Journal of Agronomy. 2014, 1, 208383. DOI: 10.1155/2014/208383

70. European Parliament and Council of the European Union. Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003. Official Journal of

the European Union. L 170, 1-114. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1009

71. Eyhorn, F.; Muller, A.; Reganold, J. P.; Frison, E.; Herren, H. R.; Luttikholt, L.; Mueller, A.; Sanders, J.; Scialabba, N. E. H.; Seufert, V.; Smith, P. Sustainability in global agriculture driven by organic farming. Nature Sustainability. 2019, 2, 253-255. DOI: 10.1038/s41893-019-0266-6

72. Fagard, M.; Launay, A; Clément, G.; Courtial, J.; Dellagi, A.; Farjad, M.; Krapp, A.; Soulié, M. C.; Masclaux-Daubresse, C. Nitrogen metabolism meets phytopathology. Journal of Experimental Botany. 2014, 65, 19, 5643-56. DOI: 10.1093/jxb/eru323.

73. FAO. Status of the World's Soil Resources, Technical Summary, Intergovernmental Technical Panel on Soils. Rome: UN Food and Agriculture Organization. 2015. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/81533344-7e7c-473d-96d7-e18de59d6548/content

74. Fasusi, O. A.; Cruz, C.; Babalola, O. O. Agricultural Sustainability: Microbial Biofertilizers in Rhizosphere Management. Agriculture. 2021, 11, 163. DOI: 10.3390/agriculture11020163

75. Fenech, M.; Amaya, I.; Valpuesta, V.; Botella, M. A. Vitamin C Content in Fruits: Biosynthesis and Regulation. Frontiers in Plant Science. 2019, 9, 2018. DOI: 10.3389/fpls.2018.02006

76. Ferreyra, R. M.; Viña, S. Z.; Mugridge, A.; Chaves, A. R. Growth and ripening season effects on antioxidant capacity of strawberry cultivar Selva. Scientia Horticulturae. 2007, 112, 27-32. DOI: 10.1016/j.scienta.2006.12.001

77. Flores-Félix, J. D.; Silva, L. R.; Rivera, L. P.; Marcos-Garcia, M.; García-Fraile, P.; Martínez-Molina, E.; Mateos, P.F.; Velázquez, E.; Andrade, P.; Rivas, R. Plants probiotics as a tool to produce highly functional fruits: The case of phyllobacterium and vitamin C in strawberries. PLoS ONE. 2015, 10. DOI: 10.1371/journal.pone.0122281

78. Franche, C.; Lindstrom, K.; Elmerich, C. Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. Plant Soil. 2009, 321, 35-59. DOI: 10.1007/s11104-008-9833-8

79. Gajewski, M.; Weglarz, Z.; Sereda, A.; Bajer, M.; Kuczkowska, A.; Majewski, M. Carotenoid Accumulation by Carrot Storage Roots in Relation to Nitrogen Fertilization Level. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2010, 38, 71-75. DOI: 10.15835/nbha3813535

80. Gamage, A.; Gangahagedara, R.; Gamage, K.; Jayasinghe, N.; Kodikara, N.; Suraweera, P.; Merah, O. Role of organic farming for achieving

sustainability in agriculture. Farming System. 2023, 1. DOI: 10.1016/j.farsys.2023.100005.

81. Ganhão, R.; Pinheiro, J.; Tino, C.; Faria, H.; Gil, M.M. Characterization of nutritional, physicochemical, and phytochemical composition and antioxidant capacity of three strawberry "*Fragaria* × *ananassa* Duch." cultivars ("Primoris", "Endurance", and "Portola") from Western Region of Portugal. Foods. 2019, 8, 0682. DOI:10.3390/foods8120682

82. Gavelienė,V.; Šocik, B.; Jankovska-Bortkevič, E.; Jurkonienė, S. Plant Microbial Biostimulants as a Promising Tool to Enhance the Productivity and Quality of Carrot Root Crops. Microorganisms. 2021; 9, 1850. DOI: 10.3390/microorganisms9091850

83. Geissen, V.; Silva, V.; Lwanga, E. H.; Beriot, N.; Oostindie, K.; Bin, Z.; Pyne, E.; Busink, S.; Zomer, P.; Mol, H.; Ritsema C. J. Cocktails of pesticide residues in non-organic and organic farming systems in Europe – legacy of the past and turning point for the future. Environmental Pollution. 2021, 1. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.116827

84. Giampieri, F.; Tulipani, S.; Alvarez-Suarez, J. M.; Quiles, J. L.; Mezzetti, B.; Battino, M. The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition.* 2012, 28, 9-19. DOI: 10.1016/j.nut.2011.08.009

85. Grabowska, A.; Kunicki, E.; Sękara, A.; Kalisz, A.; Wojciechowska, R. The effect of cultivar and biostimulant treatment on the carrot yield and its quality. Vegetable Crops Research Bulletin. 2012, 77, 37-48. DOI: 10.2478/v10032-012-0014-1

86. Gray, E. J.; Smith, D. L. Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant-bacterium signaling processes. Soil Biology and Biochemistry. 2005, 37, 395-412. DOI: 10.1016/j.soilbio.2004.08.030

87. Gregory, A. S.; Dungait, J. A.; Watts, C. W.; Bol, R.; Dixon, E. R.; White, R. P.; Whitmore, A. P. Long-term management changes topsoil and subsoil organic carbon and nitrogen dynamics in a temperate agricultural system. European Journal of Soil Science. 2016, 67, 421-430. DOI: 10.1111/ejss.12359

88. Gupta, A.; Singh, U. B.; Sahu, P. K.; Paul, S.; Kumar, A.; Malviya, D.; Singh, S.; Kuppusamy, P.; Singh, P.; Paul, D.; et al. Linking Soil Microbial Diversity to Modern Agriculture Practices: A Review. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022, 19, 3141. DOI: 10.3390/ijerph19053141

89. Gupta, K. J.; Brotman, Y.; Segu, S.; Zeier, T.; Zeier, J.; Persijn, S. T.; Cristescu, S. M.; Harren, F. J.; Bauwe, H.; Fernie, A. R.; Kaiser, W. M.; Mur, L. A. The form of nitrogen nutrition affects resistance against *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* in tobacco. Journal of Experimental Botany. 2013, 64, 553-68. DOI: 10.1093/jxb/ers348

90. Haglund, Å.; Johansson, L.; Berglund, L.; Dahlstedt, L. Sensory evaluation of carrots from ecological and non-organic growing systems. Food Quality and Preference. 1998, 10, 23-29. DOI: 10.1016/s0950-3293(98)00034-2

91. Hamid, B.; Zaman, M.; Farooq, S.; Fatima, S.; Sayyed, R. Z.; Baba, Z. A.; Sheikh, T. A.; Reddy, M. S.; El Enshasy, H.; Gafur, A.; Suriani, N. L. Bacterial Plant Biostimulants: A Sustainable Way towards Improving Growth, Productivity, and Health of Crops. Sustainability. 2021, 13, 2856. DOI: 10.3390/su13052856

92. Haminiuk, C. W. I.; Maciel, G. M.; Plata-Oviedo, M. S. V.; Peralta, R. M. Phenolic compounds in fruits - An overview. International Journal of Food Science plus Technology. 2012, 47, 2023-2044. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2012.03067.x

93. Hasanuzzaman, M.; Bhuyan, M. H. M. B.; Zulfiqar, F.; Raza, A.; Mohsin, S. M.; Mahmud, J. A.; Fujita, M.; Fotopoulos, V. Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense in Plants under Abiotic Stress: Revisiting the Crucial Role of a Universal Defense Regulator. Antioxidants (Basel). 2020, 9, 681. DOI: 10.3390/antiox9080681.

94. Higa, T.; Parr, J.F. Beneficial and Effective Microorganisms for a Sustainable Agriculture and Environment, 1st ed.; International Nature Farming Research Center: Atami, Japan, 1994, 1-16. https://www.em-pars.com/wp-content/uploads/2018/05/7-beneficial-and-effective-microorganisms-for-a-sustainab-.pdf

95. Hogstad, S.; Risvik, E.; Steinsholt, K.. Sensory quality and chemical com- position in carrots: a multivariate study. Acta Agriculture Scandinavica. 1997, 47, 253-264. https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/09064719709362469

96. Hopkins, W. G.; Hüner, N. Introduction to plant physiology. 2004. https://bayanbox.ir/view/3699374768419739328/Introduction-to-Plant-Physiology.pdf

97. Hungria, M.; Franchini, J. C.; Brandao-Junior, O.; Kaschuk, G.; Souza, R. A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. Applied Soil Ecology. 2009, 42, 288-296. DOI: 10.1016/j.apsoil.2009.05.005

98. Hussain, M. I.; Hamza, A.; Rashid, M. A. Estimation of Vitamin C in Carrot Before Cooking and After Cooking. Journal of Food and Nutrition Sciences. 2016, 4, 108-112. DOI: 10.11648/j.jfns.20160404.16

99. Hussein, R. A.; El-Anssary, A. A. Plants Secondary Metabolites: The Key Drivers of the Pharmacological Actions of Medicinal Plants. Herbal Medicine. 2018, 11-30. DOI: 10.5772/intechopen.76139

100. Ikram, A.; Rasheed, A.; Khan, A. A.; Khan, R.; Ahmad, M.; Bashir, R., Mohamed, M. H. Exploring the health benefits and utility of carrots and carrot pomace: a systematic review. International Journal of Food Properties. 2024, 27, 180-193. DOI: 10.1080/10942912.2023.2301569

101. International Blackcurrant Association. Global blackcurrant production statistics 2022-2024. 2025. https://www.blackcurrant-iba.com/wp-content/uploads/2024/07/Global-BC-Production-2022-2024.pdf

102. Iqbal, I.; Wilairatana, P.; Saqib, F.; Nasir, B.; Wahid, M.; Latif, M. F.; Iqbal, A.; Naz, R.; Mubarak, M. S. Plant Polyphenols and Their Potential Benefits on Cardiovascular Health: A Review. Molecules. 2023, 28, 6403. DOI: 10.3390/molecules28176403

103. Islam, M. T.; Hossain, M. M. Plant probiotics in phosphorus nutrition in crops, with special reference to rice. Bacteria in Agrobiology: Plant Probiotics; Maheshwari, D.K., Ed.; Springer. 2012, 325-363. DOI: 10.1007/978-3-642-27515-9_18

104. Jiménez-Gómez, A.; Celador-Lera, L.; Fradejas-Bayón, M.; Rivas, R. Plant probiotic bacteria enhance the quality of fruit and horticultural crops. AIMS Microbiology. 2017, 3, 483-501. DOI: 10.3934/microbiol.2017.3.483.

105. Jin, P.; Wang, S. Y.; Wang, C. Y.; Zheng, Y. Effect of cultural system and storage temperature on antioxidant capacity and phenolic compounds in strawberries. Food Chemistry. 2011, 124, 262-270. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.06.029

106. Jurcaga, L.; Bobko, M.; Haščík, P.; Bobková, A.; Demianová, A.; Belej, L.; Kročko, M.; Mendelova, A.; Čech, M.; Herc, P.; Mesárošová, A. Effect of blackcurrant and kamchatka honeysuckle extracts on quality properties of raw-cooked meat product. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2022, 12, e5349. DOI: 10.55251/jmbfs.5349

107. Kachroo, A.; Robin, G. P. Systemic signaling during plant defense. Current Opinion in Plant Biology. 2013, 16, 527-533. DOI: 10.1016/j.pbi.2013.06.019

108. Kandel, S. L.; Herschberger, N.; Kim, S. H.; Doty, S. L. Diazotrophic Endophytes of Poplar and Willow for Growth Promotion of Rice Plants in

Nitrogen-Limited Conditions. Crop Science. 2015, 55, 1765-1772. DOI: 10.2135/cropsci2014.08.0570

109. Kang, S. M.; Radhakrishnan, R., You, Y. H.; Khan, A. L.; Park, J. M.; Lee, S. M.; Lee, I. J. Cucumber performance is improved by inoculation with plant growth-promoting microorganisms. Acta Agriculturae Scandinavica. 2014, 65, 36-44. DOI: 10.1080/09064710.2014.960889

110. Karkleliene, R.; Radzevicius, A.; Bobinas, C. Productivity and root-crop quality of Lithuanian carrot (*Daucus sativus* Rohl.) breeder lines. Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. 2009, 63, 63-65. DOI: 10.2478/v10046-009-0016-7

111. Kaš, M.; Muhlbachova, G.; Kusa, H.; Pechova, M. Soil phosphorus and potassium availability in long-term field experiments with organic and mineral fertilization. Plant Soil Environment. 2016, 62, 558-565. DOI: 10.17221/534/2016-PSE

112. Kaur, H.; Kaur, J.; Gera, R. Plant growth promoting rhizobacteria: A boon to agriculture. International Journal of Cell Science and Biotechnology. 2016, 5, 17-22. https://inpressco.com/wp-content/uploads/2016/04/Paper317-22.pdf

113. Kerr, P. S.; Rufy, T. W.; Huber, S. C. Changes in nonstructural carbohydrates in different parts of soybean (*Glycine max* L. Merr.) plants during a light/dark cycle and in extended darkness. Plant Physiology. 1985, 78, 576-581. DOI: 10.1104/pp.78.3.576

114. Keser, D.; Gamze, G.; Kelebek, H.; Keksin, M.; Soysal, Y.; Sekerli, Y. E.; Arslan, A.; Selli, S. Characterization of aroma and phenolic composition of carrot (*Daucus carota* 'Nantes') powders obtained from intermittent microwave drying using GC-MS and LC-MS/MS. Food and Bioproducts Processing. 2020, 119, 350-359. DOI: 10.1016/j.fbp.2019.11.016

115. Kessler, A.; Kalske, A. Plant secondary metabolite diversity and species interactions. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics. 2018, 49, 115-138. DOI: 10.1146/annurev-ecolsys-110617-062406

116. Khan, S.; Yu, H. J.; Li, Q.; Gao, Y.; Sallam, B. N.; Wang, H.; Liu, P.; Jiang, W. Exogenous application of amino acids improves the growth and yield of lettuce by enhancing photosynthetic assimilation and nutrient availability. Agronomy. 2019, 9, 266. DOI: 10.3390/agronomy9050266

117. Kiprovski, B.; Malenčić, D.; Đurić, S.; Bursać, M.; Cvejić, J.; Sikora, V. Isoflavone content and antioxidant activity of soybean inoculated with plant-growth promoting rhizobacteria. *Journal of the Serbian Chemical Society*. 2016, 81, 11, 1239-1249. DOI: 10.2298/JSC160422070K.

118. Konappa, N.; Krishnamurthy, S.; Arakere, U. C. *et al.* Efficacy of indigenous plant growth-promoting rhizobacteria and Trichoderma strains in eliciting resistance against bacterial wilt in a tomato. Egyptian Journal of Biological Pest Control. 2020, 30. DOI: 10.1186/s41938-020-00303-3

119. Krüger, E.; Dietrich, H.; Hey, M.; Patz, C. D.. Effects of cultivar, yield, berry weight, temperature and ripening stage on bioactive compounds of black currants. Journal of Applied Botany and Food Quality. 2012, 84, 40-46. https://www.researchgate.net/profile/Erika-Krueger/publication/285661366_Effects_of_Cultivar_Yield_Berry_Weight_Temperature_and_Ripening_Stage_on_Bioactive_Compounds_of_Black_Currants/links/5673e17e08ae04d9b09be6dd/Effects-of-Cultivar-Yield-Berry-Weight-Temperature-and-Ripening-Stage-on-Bioactive-Compounds-of-Black-Currants.pdf

120. Kumar, S.; Singh, R. K.; Kumar, S. C.; Banjare, U.; Patel, A. K.; Singh, P. Estimation of plant growth hormone (IAA) production ability by *Bradyrhizobium* strains isolated from root nodules of pigeon pea (*Cajanus cajan*). Plant Archives. 2021, 21, 1567-1570. https://www.researchgate.net/profile/Umakant-Banjare-2/publication/369440822_Plant_Archives_ESTIMATION_OF_PLANT_GROWTH_HORMONE_IAA_PRODUCTION_ABILITY_BY_BRADYRHIZOBIUM_STRAINS_ISOLATED_FROM_ROOT_NODULES_OF_PIGEON_PEA_CAJANUS_CAJAN/links/641b7fd992cfd54f842085b1/Plant-Archives-ESTIMATION-OF-PLANT-GROWTH-HORMONE-IAA-PRODUCTION-ABILITY-BY-BRADYRHIZOBIUM-STRAINS-ISOLATED-FROM-ROOT-NODULES-OF-PIGEON-PEA-CAJANUS-CAJAN.pdf

121. Kuppe, C. W.; Schnepf, A.; von Lieres, E.; Watt, M.; Postma, J. A. Rhizosphere models: their concepts and application to plant-soil ecosystems. Plant and Soil. 2022, 474, 17-55. DOI: 10.1007/s11104-021-05201-7

122. Kurek, M.; Benbettaieb, N.; Ščetar, M.; Chaudy, E.; Repajić, M.; Klepac, D.; Valić, S.; Debeaufort, F.; Galić, K. Characterization of Food Packaging Films with Blackcurrant Fruit Waste as a Source of Antioxidant and Color Sensing Intelligent Material. Molecules. 2021, 26, 2569. DOI: 10.3390/molecules26092569.

123. Kwiatkowski, C. A.; Kołodziej, B.; Woźniak, A. Yield and quality parameters of carrot (*Daucus carota* L.) roots depending on growth stimulators and stubble crops. Acta Scientarum Polonorum Hortorum Cultus. 2013, 12, 55-68. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20133331164

124. Lagomarsino, A.; Grego, S.; Marhan, S.; Moscatelli, M. C.; Kandeler, E. Soil management modifies micro-scale abundance and function of soil microorganisms in a Mediterranean ecosystem. European Journal of Soil Science. 2009, 60, 2-12. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2008.01113.x

125. Lal, R. Soil health and carbon management. Food and Energy Security. 2016, 5, 212-222. DOI: 10.1002/fes3.96

126. Lange, M.; Eisenhauer, N.; Sierra, C. A.; Bessler, H.; Engels, C.; Griffiths, R. I.; Gleixner, G. Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. Nature Communications. 2015, 6, 6707. DOI: 10.1038/ncomms7707

127. Leja, M.; Kamińska, I.; Kramer, M.; Maksylewicz-Kaul, A.; Kammerer, D.; Carle, R.; Baranski, R. The Content of Phenolic Compounds and Radical Scavenging Activity Varies with Carrot Origin and Root Color. Plant Foods for Human Nutrition. 68, 163-170, 2013. DOI: 10.1007/s11130-013-0351-3

128. Lesur-Dumoulin, C.; Malézieux, E.; Ben-Ari, T.; Langlais, C.; Makowski, D. Lower average yields but similar yield variability in organic versus non-organic horticulture. A meta-analysis. Agronomy for Sustainable Developement. 2017, 37. DOI: 10.1007/s13593-017-0455-5

129. Li, Z.; Ahammed, G. J. Hormonal regulation of anthocyanin biosynthesis for improved stress tolerance in plants. Plant Physiology and Biochemistry. 2023, 201. DOI: 10.1016/j.plaphy.2023.107835.

130. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro filialas Agrocheminių tyrimų laboratorija (LAMMC). 2014. Ilgamečiai dirvožemio agrocheminių savybių stebėjimo tyrimai. Galutinė ataskaita. Kaunas: 116 p.

131. Limanska, N.; Ivanytsia, T.; Basiul, O.; Krylova, K.; Biscola, V.; Chobert, J. M.; Ivanytsia, V.; Haertle, T. Effect of *Lactobacillus plantarum* on germination and growth of tomato seedlings. Acta Physiologiae Plantarum. 2013, 35, 1587-1595. DOI: 10.1007/s11738-012-1200-y

132. Lin, W.; Lin, M.; Zhou, H.; Wu, H.; Li, Z.; Lin, W. The effects of chemical and organic fertilizer usage on rhizosphere soil in tea orchards. PLoS ONE. 2019, 14, e0217018. DOI: 10.1371/journal.pone.0217018

133. Lingua, G.; Bona, E.; Manassero, P.; Marsano, F.; Todeschini, V.; Cantamessa, S.; Copetta, A.; Gamalero, E.; Berta, G. Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads increases anthocyanin concentration in strawberry fruits (*Fragaria* × *ananassa* var. Selva) in conditions of reduced fertilization. International Journal of Molecular Sciences. 2013, 14, 16207-16225. DOI: 10.3390/ijms140816207

134. Lister, C.; Wilson, P.; Sutton, K.; Morrison, S. Understanding the Health Benefits of Blackcurrants. Acta Horticulturae. 2002, 585, 443-449. DOI: 10.17660/ActaHortic.2002.585.72

135. Lorenzo, J. M.; Pateiro, M.; Domínguez, R.; Barba, F. J.; Putnik, P.; Bursać Kovačević, D.; Shpigelman, A.; Granato, D.; Franco, D. Berries Extracts as Natural Antioxidants in Meat Products: A Review. Food Research International. 2018, 106, 1095-1104. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.12.005.

136. Lugtenberg, B.; Kamilova, F. Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria. Annual Review of Microbiology. 2009, 63, 541-556. DOI: 10.1146/annurev.micro.62.081307.162918

137. Ma, T.; Bai, Y.; Ruan, X. Soil phosphorus composition, loss risk and contribution to the aquatic environment in a typical agricultural area. Water Quality Research Journal. 2021, 56, 111-125. DOI: 10.2166/wqrj.2021.004

138. Mäkilä, L.; Laaksonen, O.; Diaz, J. M. R.; Vahvaselkä, M.; Myllymäki, O.; Lehtomäki, I.; Laakso, S.; Jahreis, G.; Jouppila, K.; Larmo, P. Exploiting Blackcurrant Juice Press Residue in Extruded Snacks. LWT-Food Science and Technology. 2014, 57, 618-627. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.02.005.

139. Malgioglio, G.; Rizzo, G.F.; Nigro, S.; Lefebvre du Prey, V.; Herforth-Rahmé, J.; Catara, V.; Branca, F. Plant-Microbe Interaction in Sustainable Agriculture: The Factors That May Influence the Efficacy of PGPM Application. Sustainability. 2022, 14, 2253. DOI: 10.3390/su14042253

140. Manach, C.; Scalbert, A.; Morand, C.; Remesy, C.; Jimenez, L. Polyphenols: food sources and bioavailability. The American Journal of Clinical Nutrition. 2004, 79, 727-747. DOI: 10.1093/ajcn/79.5.727

141. Mandave, P. C.; Pawar, P. K.; Ranjekar, P. K.; Mantri, N.; Kuvalekar, A. A. Comprehensive evaluation of *in vitro* antioxidant activity, total phenols and chemical profiles of two commercially important strawberry varieties. Scientia Horticulturae. 2014, 172, 124-134. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.03.002

142. Mazid, M.; Khan, T. A. Future of Bio-fertilizers in Indian agriculture: An Overview. International Journal of Agricultural and Food Research. 2014, 3. DOI: 10.24102/ijafr.v3i3.132

143. Medda, S.; Fadda, A.; Dessena, L.; Mulas, M. Quantification of Total Phenols, Tannins, Anthocyanins Content in *Myrtus communis* L. and Antioxidant Activity Evaluation in Function of Plant Development Stages and Altitude of Origin Site. Agronomy. 2021, 11, 1059. DOI: 10.3390/agronomy11061059

144. Menedez, E.; Garcia-Fraile, P. Plant probiotic bacteria: solutions to feed the world. AIMS Microbiology. 2017, 3, 502-524. DOI: 10.3934/microbiol.2017.3.502.

145. Minikayev, R.; Gaffarova, L. The effect of bacterial preparations on the growth, development and quality indicators of sugar beet yield. BIO Web of Conferences. 2020, 17, 00250. DOI: 10.1051/bioconf/20201700250

146. Mockevičiūtė R., Jurkonienė S., Gavelienė V., Jankovska-Bortkevič E., Šocik B., Armalytė G., Budrys R. Effects Induced by the Agricultural Application of Probiotics on Antioxidant Potential of Strawberries. Plants. 2022, 11, 831. DOI: 10.3390/plants11060831

147. Montgomery, D. R.; Biklé A. Soil Health and Nutrient Density: Beyond Organic vs. Non-organic Farming. Frontiers in Sustainable Food *Systems*. 2021, 5. DOI: 10.3389/fsufs.2021.699147

148. Moyer, R. A.; Hummer, K. E.; Finn, C. E.; Frei, B.; Wrolstad, R. E. Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Capacity in Diverse Small Fruits: *Vaccinium*, *Rubus*, and *Ribes*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002, 50, 519-525. DOI: 10.1021/jf011062r

149. Mukta, J. A.; Rahman, M.; As Sabir, A.; Gupta, D. R.; Surovy, M. Z.; Rahman, M.; Islam, M. T. Chitosan and Plant Probiotics Application Enhance Growth and Yield of Strawberry. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 11, 2017, 9-18. DOI: 10.1016/j.bcab.2017.05.005

150. Nardi, S.; Schiavon, M.; Francioso, O. Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. Molecules. 2021, 26, 2256. DOI: 10.3390/molecules26082256

151. Nejat, N.; Mantri, N. Plant Immune System: Crosstalk between Responses to Biotic and Abiotic Stresses the Missing Link in Understanding Plant Defence. Current Issues in Molecular Biology. 2017, 23, 1-16. DOI: 10.21775/cimb.023.001

152. Niggli, U. Sustainability of organic food production: Challenges and innovations. Proceedings of the Nutrition Society. 2015, 74, 83-88. DOI: 10.1017/S0029665114001438

153. Nile, S. H.; Park, S. W. Edible Berries: Bioactive Components and Their Effect on Human Health. Nutrition. 2014, 30, 134-144. DOI: 10.1016/j.nut.2013.04.007

154. Northolt, M.; Buisman, T.; Geert-Jan, B.; Bogaerde, A.V. Parameters for Carrot Quality and the development of the Inner Quality concept. Louis Bolk Instituut. 2004, 40-49. https://orgprints.org/id/eprint/4265/1/4265.pdf

155. Oh, J.; Brooks, M. S. L. Sustainable Extraction of Carotenoids and Polyphenols from Carrots (*Daucus carota* L.) Using pH-Responsive Switchable

Deep Eutectic Solvents. Food and Bioprocess Technology. 2025. DOI: 10.1007/s11947-025-03921-7

156. Okatan, V. Antioxidant Properties and Phenolic Profile of the Most Widely Appreciated Cultivated Berry Species: A Comparative Study. Folia Horticulturae. 2020, 32, 79-85. DOI: 10.2478/fhort-2020-0008

157. Olas, B. Berry Phenolic Antioxidants – Implications for Human Health? Frontiers in Pharmacology. 2018, 9. DOI: 10.3389/fphar.2018.00078.

158. Olsson, M. E.; Andersson, C. S.; Oredsson, S.; Berglund, R. H.; Gustavsson, K. E. Antioxidant levels and inhibition of cancer cell proliferation in vitro by extracts from organically and non-organicly cultivated strawberries. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2006, 54, 1248-1255. DOI: 10.1021/jf0524776

159. Olsson, M. E.; Ekvall, J.; Gustavsson, K. E.; Nilsson, J.; Pillai, D.; Sjoholm, I.; Svensson, U.; Akesson, B.; Nyman, M. G. L. Antioxidants, low molecular weight carbohydrates, and total antioxidant capacity in strawberries (*Fragaria ananassa*): Effects of cultivar, ripening, and storage. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2004, 52, 2490-2498. DOI: 10.1021/jf030461e

160. Orhan, E.; Esitken, A.; Ercisli, S.; Turan, M.; Sahin, F. Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Yield, Growth and Nutrient Contents in Organically Growing Raspberry. Scientia Horticulturae. 2006, 111, 38-43. DOI: 10.1016/j.scienta.2006.09.002

161. Panico, A. M.; Garufi, F.; Nitto, S.; Di Mauro, R.; Longhitano, R. C.; Magrì, G.; Catalfo, A.; Serrentino, M. E.; De Guidi, G. Antioxidant activity and phenolic content of strawberry genotypes from *Fragaria* × *ananassa*. Pharmaceutical Biology. 2009, 47, 203-208. DOI: 10.1080/13880200802462337

162. Parmar, P.; Sindhu, S. S. Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environmental conditions. *Journal of* Microbiology Research. 2013. 3, 25-31. DOI: 10.5923/j.microbiology.20130301.04

163. Patil, N.M. Biofertilizer effect on growth, protein and carbohydrat econtent in *Stevia rebaudiana* var Bertoni. Recent Research in Science and Technology. 2010, 2, 42-44. https://core.ac.uk/download/pdf/236008374.pdf

164. Penrose, D. M.; Glick, B.R. Methods for Isolating and Characterizing ACC Deaminase-containing Plant Growth-promoting Rhizobacteria. Physiologia Plantarum. 2003, 118, 10-15. DOI: 10.1034/j.1399-3054.2003.00086.x

165. Pereira, S. I. A.; Abreu, D.; Moreira, H.; Vega, A.; Castro, P. M. L. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) improve the growth and nutrient use efficiency in maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. Heliyon. 2020, 6, e05106. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e05106.

166. Pérez-Jiménez, J.; Neveu, V.; Vos, F.; Scalbert, A. Identification of the 100 richest dietary sources of polyphenols: An application of the Phenol-Explorer database. European Journal of Clinical Nutrition. 2010, 64, 112-120. DOI: 10.1038/ejcn.2010.221

167. Philippot, L.; Raaijmakers, J. M.; Lemanceau, P.; van der Putten, W. H. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. Nature Reviews Microbiology. 2013, 11, 789-799. DOI: 10.1038/nrmicro3109

168. Pimental, D.; Harvey, C.; Resosudarmo, P.; Sinclair, K.; Kurz, D.; McNair, M.; Crist, S.; Shpritz, L.; Fitton, L.; Saffouri, R.; Blair, R. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science. 1995, 267, 1117-1123. DOI: 10.1126/science.267.5201.1117

169. Pineli L. D. D.; Moretti C. L.; dos Santos M. S.; Campos A. B.; Brasileiro A. V.; Córdova A. C.; Chiarello M. D. Antioxidants and other chemical and physical characteristics of two strawberry cultivars at different ripeness stages. Journal of Food Composition and Analysis. 2011, 24, 11-16. DOI: 10.1016/j.jfca.2010,05.004.

170. Pırlak, L.; Köse, M. Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Yield and Some Fruit Properties of Strawberry. Journal of Plant Nutrition. 2009, 32, 1173-1184. DOI: 10.1080/01904160902943197

171. Plazinsky, J.; Innes, R. W.; Rolfe, B. G. Expression of Rhizobium trifolii early nodulation genes on maize and rice plants. Journal of Bacteriology. 1985, 163, 812-815. DOI: 10.1128/jb.163.2.812-815.1985

172. Plett, D. C.; Ranathunge, K.; Melino, V. J.; Kuya, N.; Uga, Y.; Kronzucker, H. J. The intersection of nitrogen nutrition and water use in plants: New paths toward improved crops productivity. Journal of Experimental Botany. 2020, 71, 4452-4468. DOI: 10.1093/jxb/eraa049

173. Poberężny, J.; Szczepanek, M.; Wszelaczyńska, E.; Prus, P. The quality of carrot after field biostimulant application and after storage. Sustainability. 2020, 12, 1386. DOI: 10.3390/su12041386

174. Poveda, J.; González-Andrés, F. *Bacillus* as a source of phytohormones for use in agriculture. Applied and Microbiology Biotechnology. 2021, 105, 8629–8645. DOI: 10.1007/s00253-021-11492-8

175. Proteggente, A. R.; Pannala, A. S.; Paganga, G.; Buren, L.; van Wagner, E.; Wiseman, S.; Van De Put, F.; Dacombe, C.; Rice-Evans, C. A. The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects

their phenolic and vitamin C composition. Free Radical Research. 2002, 36, 217-233. DOI: 10.1080/10715760290006484

176. Przybysz, A.; Wrochna, M.; Słowiński, A.; Gawrońska, H. Stimulatory effect of Asahi SL on selected plant species. Acta Scientarum Polonorum Hortorum Cultus. 2010, 9, 53-64. https://czasopisma.up.lublin.pl/asphc/article/view/3349/2321

177. Pukalchik, M.; Kydralieva, K.; Yakimenko, O.; Fedoseeva, E.; Terekhova, V. Outlining the Potential Role of Humic Products in Modifying Biological Properties of the Soil – A Review. Frontiers in Environmental Sciences. 2019, 7, 80. DOI: 10.3389/fenvs.2019.00080.

178. Rahman, M.; Sabir, A. A.; Mukta, J. A.; Khan, M. M. A.; Mohi-Ud-Din, M.; Miah, M. G.; Rahman, M.; Islam, M. T. Plant probiotic bacteria *Bacillus* and *Paraburkholderia* improve growth, yield and content of antioxidants in strawberry fruit. Scientific Reports. 2018, 8, 2504. DOI: 10.1038/s41598-018-20235-1

179. Rajper, A. M. Assesing the Role of Probiotics for the Enhancement of Soil Quality Under Cover Crops. Agroforestry Systems. 2015, 90, 811-827. DOI: 10.1007/s10457-016-9895-1

180. Ramos-Solano, B.; Garcia-Villaraco, A.; Gutierrez-Mañero, F. J.; Lucas, J. A.; Bonilla, A.; Garcia-Seco, D. Annual Changes in Bioactive Contents and Production in Field-Grown Blackberry after Inoculation with *Pseudomonas fluorescens*. Plant Physiology and Biochemistry. 2013, 74, 1-8. DOI: 10.1016/j.plaphy.2013.10.029

181. Rasiukevičiūtė, N.; Morkeliūnė, A.; Mažeikienė, I.; Lanauskas, J.; Valiuškaitė, A. Alternative Plant Protection Strategies Using Bacteria and Thyme to Improve Strawberry (cv. Elsanta) Yield and Quality. Plants. 2025, 14, 1827. DOI: 10.3390/plants14121827

182. Reganold, J.; Wachter, J. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants.* 2016, 2, 15221. DOI: 10.1038/nplants.2015.221

183. Rodriguez, J.; Crespo, J.F.; Lopez-Rubio, A.; De La Cruz-Bertolo, J.; Ferrando-Vivas, P.; Vives, R.; Daroca, P. Clinical cross-reactivity among foods of the *Rosaceae* family. Journal of Allergy and Clinical Immunology. 2000, 106, 183-189. DOI: 10.1067/mai.2000.106927. PMID: 10887323.

184. Rosenblueth, M.; Ormeño-Orrillo, E.; López-López, A.; Rogel, M. A.; Reyes-Hernández, B. J.; Martínez-Romero, J. C.; Reddy, P. M.; Martínez-Romero, E. Nitrogen fixation in cereals. Frontiers in Microbiology. 2018, 9, 1794. DOI: 10.3389/fmicb.2018.01794

185. Rouphael, Y.; Colla, G.; Graziani, G.; Ritieni, A.; Cardarelli, M.; De Pascale, S. Phenolic composition, antioxidant activity and mineral profile in two

seed-propagated artichoke cultivars as affected by microbial inoculants and planting time. Food Chemistry. 2017, 234, 10-19. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.04.175

186. Rouphael, Y.; Lucini, L.; Miras-Moreno, B.; Colla, G.; Bonini, P.; Cardarelli, M. Metabolomic responses of maize shoots and roots elicited by combinatorial seed treatments with microbial and non-microbial biostimulants. Frontiers in Microbiology. 2020, 11, 664. DOI: 10.3389/fmicb.2020.00664

187. Rubinskiene, M.; Jasutiene, I.; Venskutonis, P. R.; Viskelis, P. HPLC Determination of the Composition and Stability of Black- currant Anthocyanins. Journal of Chromatographic Science. 2005, 43, 478-482. DOI: 10.1093/chromsci/43.9.478.

188. Rubinskienė, M.; Viškelis, P.; Stanys, V.; Šikšnianas, T.; Sasnauskas, A. Juodųjų serbentų cheminės sudėties ir fizikinių savybių pokyčiai uogoms nokstant. Sodininkystė ir daržininkystė. 2008, 27, 73-80. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20093154059

189. Sahin, F.; Cakmakci, R.; Kantar, F. Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N2-fixing and phosphate solubilizing bacteria. Plant and Soil. 2004, 265, 123-129. DOI: 10.1007/s11104-005-0334-8

190. Santos-Sánchez, N. F., Salas-Coronado, R.; Valadez-Blanco, R.; Hernández-Carlos, B.; Guadarrama-Mendoza P. C. Natural antioxidant extracts as food preservatives. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. 2017, 16, 361-370. DOI: 10.17306/J.AFS.0530

191. Sasikumar, J. M.; Jinu, U.; Shamna, R. Antioxidant Activity and HPTLC Analysis of *Pandanus odoratissimus* L. Root. European Journal of Biological Sciences. 2009, 1, 17-22. https://www.idosi.org/ejbs/1(2)09/2.pdf

192. Scharma, M.; de Haan, J. J.; Kroonen, M.; Verstegen, H.; van der Putten, W. H. Crop yield cap and stability in organic and non-organic farming system. Agriculture Ecosystems and Environment. 2018, 256, 123-130. DOI: 10.1016/j.agee.2017.12.023

193. Seufert, V.; Ramankutty, N.; Foley, J. Comparing the yields of organic and non-organic agriculture. Nature. 2012, 485, 229-232. DOI: 10.1038/nature11069

194. Shahidi, F.; Zhong, Y. 2015. Measurement of antioxidant activity. Journal of Functional Foods. 18, 757-781. DOI: 10.1016/j.jff.2015.01.047

195. Sharma, H. S. S.; Fleming, C.; Selby, C.; Rao, J. R.; Martin, T. Plant biostimulants: A review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. Journal of Applied Phycology. 2014, 26, 465-490. DOI: 10.1007/s10811-013-0101-9

196. Sharma, K. D.; Karki, S.; Thakur, N. S.; Attri, S. Chemical Composition, Functional Properties and Processing of Carrot – A Review.

Journal of Food Science and Technology. 2011, 49, 22-32. DOI: 10.1007/s13197-011-0310-7

197. Sharma, N.; Singhvi, R. Effects of Chemical Fertilizers and Pesticides on Human Health and Environment: A Review. International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology. 2017, 10, 675-679. DOI: 10.5958/2230-732X.2017.00083.3

198. Sheng, X. F.; He, L. Y. Solubilization of potassiumbearing minerals by a wild type strain of *Bacillus edaphicus* and its mutants and increased potassium uptake by wheat. Canadian Journal of Microbiology. 2006, 52, 66-72. DOI: 10.1139/w05-117

199. Siddiqui, N.; Rauf, A.; Latif, A.; Mahmood, Z.. Spectrophotometric determination of the total phenolic content, spectral and fluorescence study of the herbal Unani drug Gul-e-Zoofa (Nepeta bracteata Benth). Journal of Taibah University Medical Sciences. 2017, 12, 360-363. DOI: 10.1016/j.jtumed.2016.11.006

200. Singh, D. P.; Beloy, J.; McInerney, J. K.; Day, L. Impact of boron, calcium and genetic factors on vitamin C, carotenoids, phenolic acids, anthocyanins and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota*). Food Chemistry. 2012, 132, 1161-1170. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.11.045

201. Singh, K.; Gupta, R.; Shokat, S.; Iqbal, N.; Kocsy, G.; Pérez-Pérez, J. M.; Riyazuddin. R. Ascorbate, plant hormones and their interactions during plant responses to biotic stress. Physiologia Plantarum. 2024, 176, e14388. DOI: 10.1111/ppl.14388. PMID: 38946634.

202. Skrovankova, S.; Sumczynski, D.; Mlcek, J.; Jurikova, T.; Sochor, J. Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries. International Journal of Molecular Sciences. 2015, 16, 24673-24706. DOI: 10.3390/ijms161024673

203. Slimestad, R.; Solheim, H. Anthocyanins from Black Currants (*Ribes nigrum* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002, 50, 3228-3231. DOI: 10.1021/jf011581u

204. Smeriglio, A.; Barreca, D.; Bellocco, E.; Trombetta, D. Chemistry, pharmacology and health benefits of anthocyanins. Phytotherapy Research. 2016, 30, 1265-1286. DOI: 10.1002/ptr.5642

205. Smith, D. L.; Gravel, V.; Yergeau, E. Editorial: Signaling in the phytomicrobiome. Frontiers in Plant Science. 2017, 8, 611. DOI: 10.3389/fpls.2017.00611

206. Smolen, S.; Sady, W.; Ledwozyw-Smolen, I.; Strzetelski, P.; Liszka-Skoczylas, M.; Rozek, S. Quality of fresh and stored carrots depending on

iodine and nitrogen fertilization. Food Chemistry. 2014, 159, 316-322. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.03.024.

207. Soto, M. L.; Falqué, E.; Domínguez, H. Relevance of natural phenolics from grape and derivative products in the formulation of cosmetics. Cosmetics. 2015, 2, 259-276. DOI: 10.3390/cosmetics2030259

208. Spence, C.; Alff, E.; Shantharaj, D.; Bais, H. Probiotics for plants: Importance of Rhizobacteria on aboveground fitness in plants. Maheshwari, D. (eds) Bacteria in Agrobiology: Plant Probiotics. Springer. 2012, 1-14. DOI: 10.1007/978-3-642-27515-9_1

209. Stanys, V.; Bendokas, V.; Rugienius, R.; Sasnauskas, A.; Frercks, B.; Mažeikienė, I.; Šikšnianas, T. Management of anthocyanin amount and composition in genus Ribes using interspecific hybridisation. Scientia Horticulturae. 2019, 247, 123-129. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.12.014

210. Staugaitis, G.; Mažvila, J.; Vaišvila, Z.; Arbačiauskas, J.; Putelis, L.; Adomaitis, T. Soil mineral testing in Lithuania. Fertil. Fertil. 2009, 37, 99-107.

211. Stockmann, U.; Padarian, J.; McBratney, A.; Minasny, B.; de Brogniez, D.; Montanarella, L.; Hong, S. Y.; Rawlins, B. G.; Field, D. Global soil organic carbon assessment. Global Food Security. 2015, 6, 9-16. DOI: 10.1016/j.gfs.2015.07.001.

212. Sumbul, A.; Ansari, R. A.; Rizvi, R.; Mahmood, I. *Azotobacter*: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management. Saudi Journal of Biological Sciences. 2020, 27, 12, 3634-3640. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.08.004.

213. Sun, J.; Chu, Y. F.; Wu, X.; Liu, R. H. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002, 50, 7449-7454. DOI: 10.1021/jf0207530

214. Szeto, Y. T.; Tomlinson, B.; Benzie, I. F. Total antioxidant and ascorbic acid content of fresh fruits and vegetables: Implications for dietary planning and food preservation. *British Journal of Nutrition.* 2002, 87, 55-59. DOI: 10.1079/BJN2001483.

215. Tabart, J.; Franck, T.; Kevers, C.; Pincemail, J.; Serteyn, D.; Defraigne, J.-O.; Dommes, J. Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of *Ribes nigrum* extracts. Food Chemistry. 2012, 131, 1116-1122. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.09.076

216. Terouchi. N.; Syono, K. *Rhizobium* attachment and curling in asparagus, rice and oat plants. Plant and Cell Physiology. 1990, 31, 119-127. DOI: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a077868

217. Thakur, M.; Bhattacharya, S.; Khosla, P. K.; Puri, S. Improving production of plant secondary metabolites through biotic and abiotic elicitation. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. 2019, 12, 1-12. DOI: 10.1016/j.jarmap.2018.11.004

218. Thepbandit, W.; Athinuwat, D. Rhizosphere Microorganisms Supply Availability of Soil Nutrients and Induce Plant Defense. Microorganisms. 2024, 12, 558. DOI: 10.3390/microorganisms12030558

219. Tian, F.; Ding, Y.; Zhu, H.; Yao, L.; Du, B. Genetic diversity of siderophore-producing bacteria of tobacco rhizosphere. Brazilian Journal of Microbiology. 2009, 40, 276-284. DOI: 10.1590/S1517-838220090002000013

220. Tian, J.; Ge, F.; Zhang, D.; Deng, S.; Liu, X. Roles of Phosphate Solubilizing Microorganisms from Managing Soil Phosphorus Deficiency to Mediating Biogeochemical P Cycle. Biology. 2021, 10, 158. DOI: 10.3390/biology10020158

221. Todeschini, V.; AitLahmidi, N.; Mazzucco, E.; Marsano, F.; Gosetti, F.; Robotti, E.; Bona, E.; Massa, N.; Bonneau, L.; Marengo, E.; Wipf, D.; Berta, G.; Lingua, G. Impact of Beneficial Microorganisms on Strawberry Growth, Fruit Production, Nutritional Quality, and Volatilome. Frontiers in Plant Science. 2018, 9, 1611. DOI: 10.3389/fpls.2018.01611

222. Trewavas, A. Urban myths of organic farming. *Nature* 2001, 410, 409-410. DOI: 10.1038/35068639

223. Tulipani, S.; Mezzetti, B.; Capocasa, F.; Bompadre, S.; Beekwilder, J.; De Vos, R. C. H.; Capanoglu, E.; Bovy, A.; Battino, M. Antioxidants, phenolic compounds, and nutritional quality of different strawberry genotypes. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2008, 56, 696-704. DOI: 10.1021/jf0719959

224. Uroz, S.; Calvaruso, C.; Turpault, M. P.; Pierrat, J. C.; Mustin, C.; Frey-Klett, P. Effect of the mycorrhizosphere on the genotypic and metabolic diversity of the bacterial communities involved in mineral weathering in a forest soil. Applied and Environmental Microbiology. 2007, 73, 3019-3027. DOI: 10.1128/AEM.00121-07

225. Vagiri, M.; Ekholm, A.; Öberg, E.; Johansson, E.; Andersson, S. C.; Rumpunen, K. Phenols and Ascorbic Acid in Black Currants (*Ribes nigrum* L.): Variation Due to Genotype, Location, and Year. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 2013, 61, 9298-9306. DOI: 10.1021/jf402891s

226. Vance, C.P.; Graham, P.H. Nitrogen fixation in agriculture: application and perspectives. Nitrogen Fixation: Fundamentals and

Applications: Proceedings of the 10th International Congress on Nitrogen Fixation. Springer. 1995, 77-86. DOI: 10.1007/978-94-011-0379-4_10

227. Vandenkoornhuyse, P.; Quaiser, A.; Duhamel, M.; Le Van, A.; Dufresne, A. The importance of the microbiome of the plant holobiont. New Phytologist. 2015, 206, 1196-1206. DOI: 10.1111/nph.13312

228. Vargas, M. F.; Mestre, M. V.; Vergara C.; Maturano P.; Petrigani, D.; Pesce, V.; Vazquez, F. Residual brewer's *Saccharomyces cerevisiae* yeasts as biofertilizers in horticultural seedlings: towards a sustainable industry and agriculture. Frontiers in Industrial Microbiology. 2024, 2. DOI: 10.3389/finmi.2024.1360263

229. Venckus, T. Tręšimo įtaka hibridinių veislių morkų produktyvumui. Vytauto Didžiojo universitetas. Magistro darbas, 2014. https://www.vdu.lt/cris/entities/etd/828ce492-f7e8-4690-84ef-46018d9fb00a

230. Vessey, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant Soil. 2003, 255, 571-586. DOI: 10.1023/A:1026037216893

231. Viškelis, P.; Bobinaitė, R. Fenolinių junginių ir antocianinų kiekis nokstant avietėms. Maisto chemija ir technologija. 2007, 115-118. https://vb.lammc.lt/object/elaba:6084477/index.html

232. Viskelis, P.; Bobinaite, R.; Rubinskiene, M.; Sasnauskas, A.; Lanauskas, J. Chemical Composition and Antioxidant Activity of Small Fruits. Horticulture; Maldonado, A. I. L., Ed.; IntechOpen: Rijeka, Croatia, 2012; 75-99.
https://www.scientificspectator.com/documents/personal%20care%20spectator/Fruit%20Based%20Antioxidants.pdf

233. Wang, S.Y.; Lin, H.S. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2000, 48, 140-146. DOI: 10.1021/jf9908345.

234. Wang, Y.; Wu, W. H. Potassium transport and signaling in higher plants. Annual Review in Plant Biology. 2013, 64, 451-76. DOI: 10.1146/annurev-arplant-050312-120153.

235. Wani, S. A.; Chand, S.; Wani, M. A.; Ramzan, M.; Hakeem, K. R. *Azotobacter chroococcum* – A Potential Biofertilizer in Agriculture: An Overview. Soil Science: Agricultural and Environmental Prospectives. Springer. 2016, 333-348. DOI: 10.1007/978-3-319-34451-5_15

236. Wellburn, A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. Journal of Plant Physiology. 1994, 144, 307-313. DOI: 10.1016/S0176-1617(11)81192-2

237. Westfall, A. Evaluation of the Efficacy of Anthocyanins as Biologically Active Ingredients in Lipstick Formulations. Ohio State University, Master's thesis. 2015. http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=osu1429170218.

238. Wierzbowska, J.; Cwalina-Ambroziak, B.; Głosek-Sobieraj, M.; Sienkiewicz, S. Yield and mineral content of edible carrot de- pending on cultivation and plant protection methods. Acta Scientarum Polonorum Hortorum Cultus. 2017, 16, 75-86. https://czasopisma.up.lublin.pl/asphc/article/view/2294

239. Wszelaczynska, E.; Pobereżny, J. Effect of foliar magnesium fertilisation and storage on some parameters of the nutritive value of carrot storage roots. Journal of Elementology. 2011, 16, 635-649. 10.5601/jelem.2011.16.4.12

240. Wszelaczynska, E.; Szczepanek, M.; Poberezny, J.; Kazula, M. Effect of biostimulant application and long-term storage on the nutritional value of carrot. Horticultura Brasileira. 2019, 37, 451-457. DOI: 10.1590/s0102-053620190414

241. Yamada, K.; Kanai, M.; Osakabe, Y.; Ohiraki, H.; Shinozaki, K.; Yamaguchi-Shinozaki, K. Monosaccharide absorption activity of *Arabidopsis* roots depends on expression profiles of transporter genes under high salinity conditions. Journal of Biological Chemistry. 2011, 286, 43577-43586. DOI: 10.1074/jbc.M111.269712

242. Yancey, P. H. Organic osmolytes as compatible, metabolic and counteracting cytoprotectants in high osmolarity and other stresses. Journal of Experimentas Biology. 2005. 208, 2819-2830. DOI: 10.1242/jeb.01730

243. Yang, W.; Kortesniemi, M.; Ma, X.; Zheng, J.; Yang, B. Enzymatic Acylation of Blackcurrant (*Ribes nigrum*) Anthocyanins and Evaluation of Lipophilic Properties and Antioxidant Capacity of Derivatives. Food Chemistry. 2019, 281, 189-196. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.12.111.

244. Yin, Z. P.; Shang, Z. W.; Wei, C.; Ren, J.; Song, X. S. Foliarsprays of photosynthetic bacteria improve the growthand anti-oxidative capability on Chinese dwarf cherryseedlings. Journal of Plant Nutrition. 2012, 35, 840-853. DOI: 10.1080/01904167.2012.663439

245. Yousuf, B.; Gul, K.; Wani, A. A.; Singh, P. Health benefits of anthocyanins and their encapsulation for potential use in food systems: a review. Critical reviews in food science and nutrition. 2016, 56, 2223-2230. DOI: 10.1080/10408398.2013.805316

246. Zarjani, J. K.; Aliasgharzad, N.; Oustan, S.; Emadi, M.; Ahmadi, A. Isolation and characterization of potassium solubilizing bacteria in some Iranian

soils. Archives of Agronomy and Soil Science. 2013, 59, 1713-1723. DOI: 10.1080/03650340.2012.756977

247. Zaynab, M.; Fatima, M.; Abbas, S.; Sharif, Y.; Umair, M.; Zafar, M. H.; Bahadar, K. Role of secondary metabolites in plant defense against pathogens. Microbial Pathogenesis. 2018, 124, 198-202. DOI: 10.1016/j.micpath.2018.08.034.

248. Zeng, X.; Liu, X.; Tang, J.; Hu, S.; Jiang, P.; Li, W.; Xu, L. Characterization and potassium-solubilizing ability of *Bacillus circulans* Z 1-3. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. 2012, 10, 173-176. DOI: 10.1166/asl.2012.3726

249. Zhang, X.; Davidson, E. A.; Mauzerall, D. L.; Searchinger, T. D.; Dumas, P.; Shen, Y. Managing nitrogen for sustainable development. Nature. 2015, 528, 51-59. DOI: 10.1038/nature15743

250. Zhao, D.; Zhao, H.; Zhao, D.; Zhu, X.; Wang, Y.; Duan, Y.; Xuan, Y.; Chen, L. Isolation and identification of bacteria from rhizosphere soil and their effect on plant growth promotion and root-knot nematode disease. Biological Control. 2018, 119, 12-19. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2018.01.004

251. Zhu, L.; Zhang, P.; Ma, S.; Yu, Q.; Wang, H.; Liu, Y.; Yang, S.; Chen, Y. Enhancing carrot (*Daucus carota* var. *sativa* Hoffm.) plant productivity with combined rhizosphere microbial consortium. Frontiers in Microbiology, 2024, 15, 1466300. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1466300

SUMMARY

INTRODUCTION

The main goal of environmental protection is to preserve natural ecosystems; however, equal attention is given to strengthening the sustainability of agricultural ecosystems by creating scientifically grounded, environmentally friendly plant cultivation measures. One of the most relevant current trends is the application of probiotics in agriculture, aiming to stimulate plant growth, improve crop quality, and optimize soil properties. Until now, most probiotic studies have focused on leafy vegetables or cereals, while root and berry crops – despite their nutritional and economic importance – remain less studied.

Root vegetables such as carrots are an important source of dietary fiber, carotenoids, phenols, and vitamins. Their growth and quality can be significantly influenced by factors such as soil composition, microbiological activity, and environmental stress. Berry crops – such as strawberries and blackcurrants – stand out due to their high content of anthocyanins, ascorbic acid, and other antioxidants, but they are also sensitive to both biotic and abiotic factors, which can negatively affect yield and the accumulation of bioactive compounds. Traditionally, crop productivity has been improved using chemical fertilizers and plant protection products; however, these methods raise increasing concerns regarding environmental impact, soil degradation, and chemical residues in food.

The concept of Effective Microorganisms (EM) was developed by Higa and Parr (1994). EM is a complex of beneficial bacteria, yeasts, and fermenting fungi that, when applied to soil or plants, can enhance plant growth, stimulate symbiotic relationships with the microbiota, and improve crop quality. In recent years, plant-based probiotic microorganism products based on the EM concept have been increasingly developed and produced commercially. In Lithuania, research on Latvian-made products "ProbioHumus" and "NaturGel" is relevant, aiming to evaluate their effect on plant growth, crop quality, and the improvement of soil agrochemical properties.

Accordingly, this study aims to assess the effect of EM on root crops (carrots *Daucus carota L.*) and berry crops (blackcurrants *Ribes nigrum L.* and strawberries *Fragaria × ananassa Duch.*). The impact on growth intensity, antioxidant activity, and productivity is examined under both organic (carrots,

strawberries, and blackcurrants) and conventional (carrots) cultivation conditions. These crops were chosen due to their high nutritional value, economic significance, and high potential to respond to microbiological treatments.

The conducted research provides a basis for developing environmentally friendly technologies for agricultural systems. The results presented in this dissertation may be important for developing new tools that promote organic production and the expansion of sustainable farming by improving soil agrochemical properties and increasing yields using ecological methods.

OBJECTIVES AND TASKS

Aim: To evaluate the effect of probiotics on the growth, development, and yield quality of root and berry crops, as well as on the agrochemical properties of the soil.

To achieve this aim, the following objectives were set:

1. To assess the impact of probiotics on the yield of root and berry crops under organic and conventional farming systems.
2. To determine the influence of probiotics on crop quality parameters, including monosaccharides, ascorbic acid, phenols, carotenoids, antioxidant activity, and nitrate accumulation.
3. To evaluate changes in the agrochemical properties of the soil under different cultivation conditions with probiotic application.

HYPOTHESES

1. The probiotic “ProbioHumus” increases the yield of carrots, strawberries, and blackcurrants in organic fields.
2. Carrots grown in organic fields accumulate more monosaccharides than those grown in conventional fields.
3. The application of the probiotic mixture significantly enhances the antioxidant activity of root and berry crops.
4. The tested probiotics do not have a significant effect on nitrate accumulation in either organic or conventional fields.
5. Probiotics improve the agrochemical properties of the soil.
6. The probiotic treatments have no significant impact on nitrate accumulation in either organic or non-organic fields.

NOVELTY OF THE WORK

This dissertation expands existing scientific knowledge on the application of biological products, such as probiotics, in both organic and conventional crop production, and their effects on plant biochemical properties, productivity, and soil quality. Until now, most studies have been conducted under controlled conditions or focused on a single plant species and one cultivation system. Therefore, the uniqueness of this research lies in its field-based approach under real-life conditions, encompassing different plant species.

The study fills an information gap related to the effectiveness of probiotics under both organic and conventional farming systems and their impact on a wide range of ecological indicators—from antioxidant compound accumulation in plants to changes in soil agrochemical properties following probiotic application. Furthermore, this work contributes to the conceptualization of more sustainable agriculture by highlighting the potential of probiotics as an environmentally friendly alternative that reduces dependence on synthetic fertilizers and supports biodiversity and soil vitality.

PRACTICAL RELEVANCE

The results of this research indicate that the use of probiotics can be a valuable solution in both organic and conventional farms to increase the yield of vegetables and berries, improve their quality, and enhance the agrochemical activity of the soil. It was found that probiotics are effective at low application rates, which can help reduce the need for chemical fertilizers in conventional farming practices while also promoting sustainability in organic systems.

In addition, these products stimulate the formation of antioxidant compounds in plants, increasing the added value of the produce and aligning with growing consumer demand for healthier products. The data presented in this dissertation can be useful for both farmers and agricultural consultants in implementing biological tools across various cultivation practices.

1. MATERIALS AND METHODS

1.1. Characteristics of Plant Varieties Treated with Probiotics

Carrot (*Daucus carota* L.) is a root vegetable from the *Apiaceae* family, derived from the wild carrot (Muhammad et al., 2017). Due to its wide range of uses and high yield potential, it is among the most popular vegetables worldwide (Dawid et al., 2015). Carrots are valued for their biologically active compounds: β-carotene, polyacetylenes, ascorbic acid, fiber, and phenolic compounds with antioxidant properties (Ahmad et al., 2010; Ikram et al., 2024).

The study used the variety 'Nipomo', a late, high-yielding Nantes-type hybrid. Its roots are cylindrical, with an intense orange color, juicy texture, and good flavor. It is well-suited for long-term storage and mechanized harvesting, which makes it widely cultivated on Lithuanian farms (Venckus, 2014). Average carrot composition includes: 86% water, 10.6 g carbohydrates, 0.9 g protein, 0.2 g fat, 8285 μg β-carotene, and trace elements such as calcium, iron, and phosphorus (Sharma et al., 2011).

Strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.), from the *Rosaceae* family, is a berry crop appreciated for its taste and antioxidant potential (Mockevičiūtė et al., 2022). The fruits are consumed fresh or processed into products like jams and juices (Aaby et al., 2012). The study used the variety 'Deluxe', which is widely grown in Lithuania. It offers sufficient yield, good fruit quality, and strong transport resistance, making it suitable for both fresh consumption and processing - an important trait when testing probiotic products. Strawberries are rich in vitamin C (10-80 mg/100 g), polyphenols, fiber, pectin, and minerals, with a water content of about 80% (Tulipani et al., 2008; Giamperi et al., 2012). These values depend on the variety, ripeness, and cultivation conditions (Capocasa et al., 2008; Giampieri et al., 2012). Organically grown strawberries tend to have higher antioxidant activity (Olsson et al., 2004; Jin et al., 2011; Crecente-Campo et al., 2012).

Blackcurrant (*Ribes nigrum* L.), from the *Grossulariaceae* family, is a shrub widely cultivated in Northern Europe due to its highly nutritious berries, considered "superfruits" (Lister et al., 2002; Stanys et al., 2019; Yang et al., 2019; Jurcaga, 2022). Because of their short shelf life, blackcurrant berries are mostly processed into juice, jams, or used as a source of natural pigments (Mäkilä et al., 2014; Basegmez et al., 2017).

The variety used in the study was "Joniniai", widely grown in Lithuania and well-adapted to local agro-climatic conditions. It is known for stable quality,

good yield, and consistent chemical composition, ensuring reproducibility of research results.
Blackcurrants are rich in anthocyanins, flavonols, proanthocyanidins, and other polyphenols (500–1342 mg/100 g) (Moyer et al., 2002; Bakowska-Barczak & Kolodziejczyk, 2011). They also contain higher amounts of calcium, phosphorus, and potassium than many other berries (Nile & Park, 2014). In 2024, global blackcurrant production reached 68,850 tons, with 2,660 tons produced organically (International Blackcurrant Association, 2025).

The selected crops – carrot, strawberry, and blackcurrant – are economically significant and widely cultivated in both organic and conventional farming systems. All three are rich in bioactive compounds, and their root systems actively interact with rhizosphere microorganisms. These plants are suitable models for investigating the effects of probiotic preparations on plant physiology and quality.

1.2. Probiotics Used in the Study

This study evaluated the effects of two commercial probiotics, developed based on the Effective Microorganisms (EM) concept, on plant growth and physiological parameters. Although manufacturers claim these preparations improve soil microbiological composition and structure, as well as stimulate plant growth, scientifically validated and experimentally confirmed data on their effectiveness –especially when applied to root and berry crops – remain limited.

“ProbioHumus” (Baltic Probiotics, Latvia) is a concentrated liquid microbial mixture intended to activate soil microbiota and stimulate plant growth. Its formulation includes various functional groups of microorganisms that interact with the plant root zone (rhizosphere), creating favorable conditions for both biological soil processes and plant physiological needs. One of the main components of “ProbioHumus” is lactic acid bacteria (genera *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Lactococcus*). These microorganisms produce organic acids (e.g., lactic acid), hydrogen peroxide, and specific antimicrobial proteins – bacteriocins – that suppress the growth of pathogenic microorganisms in the rhizosphere. In this way, they act as natural plant protection agents, strengthen plant immune responses, and reduce disease prevalence.

Another important group includes yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) and bacteria of the *Bifidobacterium* genus (*B. animalis*, *B. bifidum*, *B. longum*), which participate in the fermentation of organic matter, promote soil

humification, and enhance the mobilization of mineral nutrients. They also contribute to microbial enzymatic activity, which is essential for the decomposition of organic residues and nutrient availability to plants. *Bacillus subtilis*, one of the most extensively studied plant growth-promoting microorganisms, performs several critical functions: it synthesizes auxins (plant growth hormones), secretes antibacterial substances, and fosters the formation of a stable microbial rhizosphere. This bacterium helps plants absorb nutrients more effectively and enhances their resistance to stress. *Rhodopseudomonas* are microorganisms capable of nitrogen fixation and decomposition of organic compounds. They improve plant nutrition, stimulate symbiotic relationships in the rhizosphere, and can support plant growth effectively even in low-fertility soils.

"NaturGel" is a complex probiotic and biostimulant preparation that contains not only microorganisms but also essential organic (fulvic and humic acids), mineral (macro- and micronutrients), and biologically active substances (vitamins, enzymes, amino acids).

The *Azotobacter*, *Rhizobium*, and *Bradyrhizobium* bacteria present in "NaturGel" are nitrogen-fixing species that contribute to biological nitrogen fixation, reducing the need for synthetic nitrogen fertilizers. Bacteria of the *Bacillus* genus help mobilize phosphorus from insoluble compounds, while fungi of the *Trichoderma* genus exhibit antagonistic effects against plant pathogens and stimulate root growth through the synthesis of plant hormones (auxins, gibberellins).

Fulvic and humic acids improve soil structure, stimulate microbial activity, increase cation exchange capacity, and promote nutrient uptake through the roots. Vitamins (B group, E, A, carotenoids) participate in plant metabolism and help maintain metabolic activity under stress conditions. Macro-elements (N, P, K) and microelements (Fe, Mg, Mn, Zn, Cu) directly supplement plant nutrition and serve as cofactors in enzyme systems necessary for growth and protection against oxidative stress.

1.3. Carrot Cultivation and Sample Collection

Carrots were cultivated under controlled laboratory conditions, in small field plots, and on farmers' fields. The probiotics "ProbioHumus" and "NaturGel" were applied to improve carrot growth, productivity, and quality. The experiment was conducted using two different cultivation systems: organic and non-organic (see Figure 3). In the organic trial, the probiotics "ProbioHumus" and "NaturGel" were used. In the non-organic system, the

same probiotics were applied in combination with mineral fertilizers at rates of N_{115}, P_{40}, and K_{152} kg/ha.

1.4. Determination of Effective Probiotic Concentration

To determine the effective concentration of the tested probiotics that could enhance plant growth, carrots were used as a model plant. Carrots were chosen due to their relatively short growing period. Unlike strawberries or black currants, which require longer vegetation cycles, carrots are annual crops that do not undergo dormancy and can be cultivated multiple times per year under controlled conditions. Furthermore, carrots were selected as a more suitable model object compared to berry plants because their pH (6.0–6.5) is closer to neutral, providing more stable conditions for probiotic viability.

Carrot seeds were sown in peat substrate containers and grown in a Climacell growth chamber (Medcenter Einrichtungen GmbH) under controlled conditions: constant temperature of 24 °C, light intensity of 60 μmol/m²/s, photoperiod of 16/8 hours (day/night), and 65% humidity. Each experimental unit consisted of 14 seeds. Containers without probiotics were used as the control group and sprayed with water. The following treatment variants were used to assess probiotic effects: Control; ProbioHumus 1 ml/100 ml; ProbioHumus 2 ml/100 ml; ProbioHumus 4 ml/100 ml; NaturGel 1 ml/100 ml; NaturGel 2 ml/100 ml; NaturGel 4 ml/100 ml; ProbioHumus 1 ml/100 ml + NaturGel 1 ml/100 ml; ProbioHumus 2 ml/100 ml + NaturGel 2 ml/100 ml; ProbioHumus 4 ml/100 ml + NaturGel 4 ml/100 ml. Carrot leaves were sprayed with the respective probiotic solutions at the 4-9 leaf stage (BBCH 14–19), applying 10 ml per container. The harvest was collected 72 days after sowing, and morphometric parameters were measured immediately. Descriptive statistics were calculated by analyzing 30 root samples, derived from 3 biological replicates for each treatment variant.

1.5. Small Plot Method

Small plot trials were conducted in 2019 at the Field Experimental Station of the Nature Research Centre, VMTI (54°77′ N, 25°29′ E), on light gleyic luvisol soil, using a randomized block design with three replications. The main agrochemical parameters of the arable soil layer were as follows: pH: 7.0-7.3; Mineral nitrogen (N_{min})**:** 1.5-4.51 kg/ha; Available phosphorus (P_2O_5): 248-250 mg/kg; Available potassium (K_2O): 214.0-214.6 mg/kg. Experimental plots measuring 1 m² each were established for the following treatments: Control; “ProbioHumus” 2 ml/100 ml; “ProbioHumus + NaturGel” mixture, both at 2 ml/100 ml. Each plot was sprayed with the respective probiotic solutions before sowing and again at the BBCH 14-19 growth stage. In the

organic plots, only probiotics were applied. In the non-organic plots, probiotics were used in combination with mineral fertilizers: N_{115}, P_{40}, and K_{152} kg/ha. Morphometric parameters of the root crops (30 roots per treatment) were assessed at the technical maturity stage, including fresh and dry biomass, root length, and diameter. Descriptive statistical analysis was performed based on 30 composite root samples per treatment. The samples were collected using an "X" trajectory across the plot to ensure a representative composite sample for each treatment.

1.6. Large-Scale Field Trial

1.6.1 Carrot Cultivation and Sample Collection

Carrot plants were grown in 2021 in farmers' fields located in both organic and non-organic farms in the Pasvalys district, Lithuania (56°12′ N, 24°25′44 E), on typical gleyic sandy loam soils. The main agrochemical parameters of the arable soil layer in the organic farm were as follows: pH 7.0-7.3, N_{min} 2.3-8.42 kg/ha, P_2O_5 109-166 mg/ha, K_2O 97.0-177 mg/kg; and in the non-organic farm: pH 7.0-7.3, N_{min} 3.1-18.2 kg/ha, P_2O_5 248-250 mg/ha, and K_2O 114.0-224.6 mg/kg. To determine the effect of probiotics, 1 hectare plots were established for each treatment variant and sprayed in the following sequence: before sowing (on June 1) and at the BBCH 18-19 stage (on July 21) (Table 1). The fields were treated as follows: Organic fields: Control (untreated); "ProbioHumus" 2 l/ha; Mixture of "ProbioHumus" and "NaturGel" 2 l + 2 l/ha. Non-organic fields: same probiotic treatments as in organic fields, applied together with mineral fertilizers: N_{115}, P_{40}, and K_{152} kg/ha.

At the technical maturity stage, the fresh and dry weight, diameter, and length of the roots were measured. A 20kg harvest sample was randomly collected from each treatment plot using the envelope (X-shaped trajectory) to ensure field representation; the samples were composite. Descriptive statistics were calculated based on at least 30 carrot roots per treatment variant. The yield from each test plot was harvested separately. After harvest, the roots were weighed, and total carrot yield was determined. Based on these data, yield (t/ha) was calculated.

For further analysis, non-edible parts were removed, and random 5 kg samples of carrot roots were homogenized. For biochemical analysis, half of the homogenized samples were immediately frozen at -80 °C, while the other half were dried in a drying chamber for 24 hours at 105 °C and then ground into powder.

1.6.2 Strawberry Cultivation and Sample Collection

Strawberry plants were grown in the fields of an organic farm located in the Biržai district, Lithuania (56°05′ N, 24°41′ E), on typical arenosol soil. The main agrochemical parameters of the arable soil layer were as follows: pH 6.8-7.1, N_{min} 14.38-18.95 mg/kg, P_2O_5 459.2-505.6 mg/kg, and K_2O 125.3-214.1 mg/kg. Strawberry seedlings were planted in rows during April–May of 2018, with approximately 36,000 plants per hectare. To evaluate the effect of probiotics, 1 hectare plots were established for each treatment variant and treated as follows: Control (untreated); "ProbioHumus" 2 l/ha; Mixture of "ProbioHumus" and "NaturGel" 2 l + 2 l/ha; "NaturGel" 2 l/ha. Plants were treated with probiotics twice: at BBCH 91-92 stage (August 16, 2018) and at BBCH 13-15 stage (April 29, 2019) (Table 1). Fruit samples were collected in June 2019.

Fruit samples of similar size and uniform ripeness were randomly collected from 40 different plants at various locations in each field treatment using the envelope method (X-shaped trajectory) to ensure representative sampling; the samples were composite. The fresh and dry weight of the freshly collected fruits was measured and weighed. A 5kg harvest sample was randomly selected from each treatment group. Descriptive statistics were calculated based on an evaluation of the fruit from 30 strawberry plants per treatment variant. The yield of each experimental plot was harvested separately. After harvest, strawberry fruits were weighed to determine total yield, and based on the data, productivity (t/ha) was calculated.

1.6.3. Blackcurrant Cultivation and Sample Collection

Blackcurrant plants were grown under semi-field conditions in an organic commercial farm located in the Pasvalys district, Lithuania (54°38′ N, 23°56′ E), on sandy loam soil. The main agrochemical parameters of the farm's arable soil layer were as follows: pH 6.5-7.2, N_{min} 19.65-27.64 mg/kg, P_2O_5 402.3-554.5 mg/kg, and K_2O 173.0-200.22 mg/kg. To evaluate the effect of probiotics, 1 hectare plots were established for each treatment variant and sprayed in the following order: control (untreated); "ProbioHumus" 2 l/ha, mixture of "ProbioHumus" and "NaturGel" 2 l + 2 l/ha; "NaturGel" 2 l/ha. The blackcurrant shrubs were treated twice: at the early shoot development stage (BBCH 31-33) on March 31, 2020, and at the first visible flower buds stage (BBCH 56-57) on May 4, 2020 (Table 1).

Berries were harvested in July 2020. The fruit samples, of similar size and uniform ripeness (based on skin color), were randomly collected from

different plants using the envelope method (X-shaped trajectory) to represent the entire field; the samples were composite.

Fully ripened berries were weighed and measured. Morphometric measurements were performed using 1,000 berries per treatment variant at full ripeness stage. From the harvested mass of each variant, a 5kg fruit sample was randomly selected and homogenized, then immediately frozen and stored at –80 °C for further total phenolic content analysis. Additionally, berries were dried in a drying chamber at 60 °C for 5 days to determine dry matter and monosaccharide content.

After harvest, the berries were weighed, total yield determined, and productivity (t/ha) calculated based on the obtained data.

1.7. Soil treatment with probiotiocs

To evaluate the effect of probiotics on soil quality, an agrochemical analysis of the soil was performed. The soil in the experimental fields was treated with probiotics three times: in autumn 2019, before sowing winter wheat; in autumn 2020, after the wheat harvest, and in spring 2021, before sowing carrots. For probiotic testing, 1 hectare plots were established for each treatment: Organic fields: control (untreated); “ProbioHumus” l L/ha, mixture of “ProbioHumus” and “NaturGel” 2 l + 2 l/ha. non-organic fields: same probiotic treatments were used together with mineral fertilizers: N_{115}, P_{40}, and K_{152} kg/ha.

Soil samples were taken for analysis in 2019 and 2021. The chemical composition of the soil was determined by the laboratory of the “Aplinkos vadybos ir audito institutas”.

1.8. Quantitative Analysis of Monosaccharides

The monosaccharide content in carrots was determined using a spectrophotometric analysis method. For monosaccharide extraction, 5 mg of dry matter was mixed with 5 ml of preheated 80% ethanol. The samples were stirred and centrifuged for 20 minutes at 3000 rpm (MPW-351 R, Poland). The supernatant was then carefully pipetted into clean test tubes using an automatic pipette.

Orcinol (Kerr et al., 1985) was used as the chromogenic reagent. It was dissolved in 20 % sulfuric acid to obtain a 2 % orcinol solution. For analysis, 1 ml of the supernatant was mixed with 0.2 ml of the orcinol solution and 2.8 ml of 60 % sulfuric acid. The mixtures were stirred with a glass rod and heated in a water bath at 80 °C for 30 minutes. Then, the tubes were placed in an ice bath and cooled to 10-11 °C. Absorbance was measured at a wavelength of

425 nm using a spectrophotometer (Analytik Jena SPECORD® 210 PLUS, Germany).
A control sample was prepared similarly, but 1 ml of 80% ethanol was used instead of the supernatant.
The monosaccharide content in carrots treated with different probiotic compositions was calculated based on a standard glucose calibration curve (0.1 ml/100 ml).

1.9. Determination of Total Carotenoid Content

The total carotenoid content in carrots was assessed using N,N-dimethylformamide extracts by adding the solvent to 0.05 g of fresh plant material. Each treatment variant was analyzed in triplicate. The extraction lasted 4 days at 4 °C.
The absorbance of the extract was measured spectrophotometrically at wavelengths of 480 nm, 647 nm, and 664 nm. The carotenoid content was calculated using the formula (Wellburn, 1994):
$C = [1000 \times A_{480} - 0.89 \times (11.65 \times A_{664} - 2.69 \times A_{647}) - 52.0 \times 2 (20.8 \times A_{647} - 4.53 \times A_{664})] / 245$
Total amount of carotenoids per gram of fresh weight was calculated using the formula:
$P = ((C \times V) \times \text{dilution factor}) / M \times 1000$
Where:
A – absorbance,
C – concentration (mg/l),
V – volume of pigment extract (ml),
M – fresh mass (g),
P – pigment content (mg/g fresh mass).

1.10. Determination of Total Phenolic Content

The total phenolic content in root and berry crops was determined using the Folin–Ciocalteu (FC) reagent (Anisimovienė et al., 2013).
Root and berry samples were extracted in a porcelain mortar with a pestle using 90 % aqueous methanol acidified with 0.1 N hydrochloric acid (HCl) (Fluka Analytical, Germany) at a 1:10 ratio, and stirred on a magnetic stirrer for 30 minutes. The sealed extract was mixed for 16 hours in the dark at 4 °C using a magnetic stirrer. Sediment was then removed using a water vacuum pump with a 0.2 μm membrane filter (Whatman).
The FC reagent (Sigma-Aldrich, Saint Louis, MO, USA) was diluted 10-fold with distilled water. A 7,5% aqueous Na_2CO_3 solution was also prepared. For analysis, 1 ml of the plant methanolic extract was mixed with 5 ml of working

FC reagent and 4 ml of 7,5% sodium carbonate solution. The FC reagent should be added before the sodium carbonate to prevent oxidation and precipitation of phenolics. A control sample was prepared in the same way, replacing the plant extract with 50 % methanol.

The prepared samples were mixed and left to stand for 30 minutes at room temperature in the dark. Absorbance was measured using a spectrophotometer at a wavelength of 760 nm.

Standard gallic acid solutions in methanol (10, 20, 40, 60, 80, and 100 µg/ml) were used to prepare a calibration curve for total phenolic compound quantification.

The total phenolic content is expressed as gallic acid equivalent (GAE) per gram of plant material and calculated using the formula (Viškelis & Bobinaitė, 2007; Siddiqui et al., 2017):

$GAE = (c \times V) / m$, mg/g

Where:

c – phenolic compound concentration determined from the calibration curve, mg/ml;

V – volume of extract, ml;

m – mass of plant extract, g.

1.11. Determination of Ascorbic Acid Content

The vitamin C content in root and berry crops was measured using the HPTLC method (High-Performance Thin-Layer Chromatography), based on the procedure developed by Chakraborthy (2009). This method involves stationary, mobile, and gas phases.

Samples were prepared using frozen, finely chopped plant material. Five grams of the plant were homogenized in a mortar with a pestle, mixed with 7.5 ml of 50 % methanol, and left at 4 °C for 24 hours. The prepared samples were filtered using methanol-moistened filter paper and then centrifuged for 15 minutes at 2000 rpm. The supernatant was transferred into clean test tubes for analysis.

A standard solution of ascorbic acid at a concentration of 1 mg/ml in 50 % methanol was prepared.

For vitamin C analysis, 15 µL of each sample was sprayed onto a chromatographic plate in narrow bands (CAMAG, 2019). To generate a calibration curve, the software was set to apply 0.1 to 0.9 µL of the 1 mg/ml ascorbic acid standard solution (in 0.1 µL increments) to the plate. The Vision CATS software was used to draw the calibration curve and determine the linear regression equation, which was used to calculate the vitamin C content in the samples.

The plate with applied samples was developed in an automatic isocratic system. The mobile phase consisted of ethanol and 10 % acetic acid mixed in a 9.5:0.5 ratio.

During classic densitometric analysis, the chromatogram tracks were scanned using monochromatic light in a selectable wavelength range between 190 nm and 900 nm, depending on the analyte's properties and detection limits (Camag, 2019). For vitamin C analysis, the selected detection range was between 200 nm and 370 nm.

All reagents used were of analytical HPTLC grade from Merck (Germany), and the standards were obtained from Sigma Chemical Co. (Saint Louis, MO, USA).

1.12. Evaluation of Antioxidant Activity

The antioxidant activity in root and berry crops was determined spectrophotometrically using the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl hydrate) radical scavenging method (Brand-Williams et al., 1995; Coklar & Akbulut, 2017). The method evaluates the ability of a free radical to accept a hydrogen atom or electron from a plant extract, resulting in a color change of the solution from violet to yellow (Canadanovic-Brunet et al., 2011).

The test material was prepared by adding 7.5 ml of 90 % methanol acidified with 0.1 N HCl to 5 g of plant raw material (ratio 1:10), and left at 4 °C for 12 hours. Sediments were removed using a water vacuum pump with a 0.2 µm membrane filter and acidified methanol solution. A freshly prepared $6{,}5 \times 10^{-5}$ M DPPH solution (Fluka Analytical, Germany) in methanol (Rotisolv, Carl Roth, Germany) was stirred with a magnetic stirrer for 3 hours at 4 °C in the dark. Plant extracts were mixed with the DPPH solution at a ratio of 1:20. A control solution based on methanol was also prepared.

The mixtures were incubated for 30 minutes at 25 °C in the dark. For analysis, 3 ml of the DPPH solution was combined with 75 µl of the plant extract and 75 µl of acidified methanol. The control solution was prepared in the same way, replacing the plant extract with 90% methanol. Prepared samples were kept for 30 minutes at 25 °C in the dark. Light absorbance was measured at 515 nm using a spectrophotometer (Analytik Jena SPECORD® 210 PLUS, Germany). Results were compared to a calibration curve of butylated hydroxytoluene (BHT).

The antioxidant activity of plant extracts was calculated using the formula and expressed as the percentage of DPPH inhibition:

$$\mathrm{DPPH}_{\mathrm{deactivation\%}} = \frac{\mathrm{DPPH}_{\mathrm{T0}} - \mathrm{DPPH}_{\mathrm{Ti}}}{\mathrm{DPPH}_{\mathrm{T0}}} \times 100\%;$$

$DPPH_{T0}$ – control absorption value (T0 = 0 min);
$DPPH_{Ti}$ – absorption value of the sample with plant extract (Ti = 30 min).

1.13. Statistical Data Analysis

Using descriptive statistical methods, the results were presented as arithmetic means with standard deviations (mean ± SD). The Shapiro–Wilk test (Raudonius, 2017) was used to assess the normality of data distribution. It was determined that most data followed a normal distribution.

To evaluate statistically significant differences between two-factor groups, a two-way ANOVA (analysis of variance) was applied. Statistically significant differences between specific pairs of factor groups were determined using multiple comparison analysis (post hoc), applying the Tukey HSD test.

In cases where data did not meet the assumption of normality, statistically significant differences between group medians were assessed using the Kruskal–Wallis H test. Pairwise group comparisons were conducted using Dunn's z-test. Statistical differences were considered significant at $p < 0.05$.

Statistical data analysis was performed using R Studio software, and Microsoft Excel was used for plotting graphs and creating tables.

2. RESULTS

2.1. Selection of Effective Probiotic Concentration

In order to determine the effective concentration of the tested probiotics, a total of 30 carrot roots grown under laboratory conditions were analyzed for each treatment (Figure 7). Laboratory tests revealed that the effective probiotic concentration was 2 ml/100 ml (Table 2), suggesting that this concentration provided optimal conditions for probiotic activity and stability.

It was found that the probiotics "ProbioHumus" and the "ProbioHumus + NaturGel" mixture increased both the fresh and dry weight of carrots compared to untreated plants. The average fresh weight per carrot was highest after treatment with the "ProbioHumus + NaturGel" and "ProbioHumus". Fresh root mass increased by 38 % ($p < 0.01$) and 36 % ($p < 0.01$) respectively, compared to the control. The length of carrot roots after treatment with "ProbioHumus" and "ProbioHumus + NaturGel" almost doubled – increasing by 80 % ($p < 0.01$) and 98 % ($p < 0.01$), respectively. The largest morphometric parameters were observed in carrots treated with the probiotic mixture, compared to the control.

2.1.1. Effect of Probiotics on Morphometric Parameters of Carrots Grown in Small Plot Trials

In the small field plot experiments, the effect of the probiotics "ProbioHumus" and "ProbioHumus + NaturGel" on carrot growth was assessed under both organic and non-organic conditions.

In organic plots, a positive effect was observed when using "ProbioHumus + NaturGel", with fresh root weight increasing by 13 % ($p < 0.01$). As shown in Table 3, an increase in carrot length and/or diameter corresponded with an increase in root weight. The combination of both probiotics stimulated the accumulation of dry matter. In non-organic conditions, biometric measurements showed that the highest individual root weight was obtained in plots treated with "ProbioHumus" and "ProbioHumus + NaturGel" — root weight increased on average by 6-8 % ($p < 0.01$) compared to the control.

In summary, under both organic and non-organic conditions, the use of probiotics had a statistically significant **(**$p < 0.05$**)** positive effect on carrot growth and biomass accumulation. As in laboratory conditions, the "ProbioHumus + NaturGel" mixture proved to be a particularly effective combination.

2.1.2. Effect of Probiotics on Morphometric Parameters of Carrots Grown in Farmers' Fields

It was determined that the average fresh weight per carrot grown in both organic and non-organic fields was the highest after treatment with "ProbioHumus" – the increase reached 20 % and 22 % ($p < 0.01$) respectively, compared to the control (Table 4).

The largest root diameter and average dry matter content were observed after "ProbioHumus" application in non-organic farms. The longest carrots were obtained after "ProbioHumus + NaturGel" treatment under non-organic conditions – a 21 % increase compared to the control **(**$p < 0.01$**)**. The highest average dry mass was also recorded in roots grown in non-organic farms treated with "ProbioHumus".

In organic fields, the average yield ranged from 16.31 t/ha to 18.52 t/ha, and in non-organic fields from 20.1 t/ha to 22.64 t/ha. The highest yield in both systems was achieved with the use of "ProbioHumus".

Comparing organic and non-organic carrot yields, the average difference was about 17-23 %. Carrots grown in farmers' fields, whether organic or non-organic, treated with probiotics had greater morphometric parameters. This demonstrates the potential of probiotics to increase root mass and yield, with "ProbioHumus" showing the most active effect.

Insight from Section 2.1: Carrots treated with probiotics were grown using three different methods: under laboratory conditions, in small field plots, and in farmers' fields. The study results showed that the activity of probiotics varied depending on the environment, which allows for evaluation of their effectiveness across different growth contexts.

Laboratory experiments were conducted in a standardized environment where conditions were fully controlled – using soil free of competitive microflora, with constant temperature and humidity. The advantage of this setting is that the probiotic effect can be precisely assessed without external interference. However, such conditions do not reflect real agroecosystems, and therefore, the effect of probiotics may not be entirely accurate.

Small field plot trials were conducted under open-field conditions, while still allowing for control over soil type, fertilization, irrigation, and pH. In these conditions, some microbial competition occurs, but it is still not as diverse as in full-scale farming environments. The minimal difference observed between probiotic effects in laboratory and small field plots can be explained by the high level of environmental control maintained in both cases. These trials more accurately model field environments and help evaluate the impact of probiotics under semi-controlled outdoor conditions.

In farmers' fields, results differed — the probiotic "ProbioHumus" showed the highest activity. This difference could be due to the lack of control over environmental conditions in farms: soil structure, pH, moisture, pathogen presence, and climatic factors. Such an environment has high microbial diversity, meaning that probiotics must adapt and compete with the existing microflora. These trials represent the final stage, demonstrating the true effectiveness of probiotics in practical agricultural settings.

In summary, the closer the environment is to real farming conditions, the more factors influence probiotic performance. Therefore, multiple stages of testing are essential to evaluate the effectiveness of the tested products, as only this approach provides a comprehensive understanding of their practical potential.

2.2. The Effect of Probiotics on the Biochemical Composition of Carrot Roots

2.2.1. The Effect of Probiotics on Monosaccharide Accumulation

Quantitative analysis of monosaccharides in carrot roots revealed that carrots grown organically, both untreated and treated with probiotics, contained higher levels of monosaccharides (Figure 8). The highest content was found in organically grown carrots treated with "ProbioHumus + NaturGel" – an

increase of 32 % ($p < 0.05$), while “ProbioHumus” alone resulted in an 18 % increase ($p < 0.05$) compared to the control group.
In carrots from non-organic farms, the monosaccharide content also increased following treatment with “ProbioHumus” by 19 % ($p < 0.05$), and with the probiotic mixture by 25 % ($p < 0.05$), compared to the control.
The higher monosaccharide levels in the organic trial may be attributed to the active native microflora in the soil, which likely acted synergistically with the applied probiotics. This synergy may have further stimulated biological activity, improving nutrient uptake and enhancing metabolic processes such as photosynthesis, which in turn could have promoted greater carbohydrate accumulation in the roots.

2.2.2. Effect of Probiotics on Carotenoid Content

The highest carotenoid pigment content (0.21 mg/g) was found in carrots grown under non-organic farming conditions and treated with the probiotic mixture ($p < 0.05$). Although the carotenoid content in carrots treated with “ProbioHumus” exceeded that of the control group, the difference was not statistically significant due to high data variability.
Under organic farming conditions, the probiotic mixture also stimulated carotenoid accumulation, but neither of the tested preparations had a statistically significant effect on the carotenoid levels in carrot roots compared to the control (Figure 9).
The unchanged carotenoid levels in carrots grown in organic fields after probiotic treatment may be explained by the fact that organic soils typically already contain an active native microbiota. As a result, the additional effect of probiotics may be less noticeable, since the natural microbiota already maximally supports plant metabolism and antioxidant synthesis, including carotenoids.
In contrast, non-organic conditions, where biological activity in the soil is often reduced due to intensive fertilization and pesticide use, provide an open niche for probiotics to occupy. In such environments, probiotics can activate plant antioxidant systems and promote carotenoid synthesis. Based on these results, it can be concluded that the effect of probiotics on carotenoid accumulation is more pronounced when the soil’s microbial environment is naturally weaker, as is often the case in intensive, non-organic agriculture.

2.2.3. Effect of Probiotics on Ascorbic Acid Accumulation in Carrot Roots

HPTLC analysis showed that carrots grown in non-organic fields, both control and those treated with the tested probiotics, contained a higher amount of ascorbic acid. The highest concentration of ascorbic acid was found in carrots

treated with “ProbioHumus + NaturGel” – the concentration increased by 32% ($p < 0.05$) compared to the control, while the “ProbioHumus” treatment resulted in a 13 % increase ($p < 0.05$).

Although the ascorbic acid content was lower in organically grown carrots compared to the non-organic ones, it still showed a significant difference when compared to the control group. In organically grown carrots, the highest ascorbic acid content was observed after “ProbioHumus” treatment – an increase of 14 % ($p < 0.05$), and after treatment with the probiotic mixture, the increase was 10 % ($p < 0.05$) (Figure 10).

Ascorbic acid (vitamin C) is an important antioxidant involved in plant defense responses. Its increased levels in both organically and non-organically grown carrots may be related to the plant stress response triggered by probiotics. In organic fields, the lower ascorbic acid levels compared to non-organic ones could be due to the lower availability of nutrients and higher biological diversity in the soil, which slows down plant growth and reduces oxidative stress.

Additionally, plants grown under organic conditions receive fewer synthetic fertilizers, leading to slower metabolism and naturally lower antioxidant synthesis, including vitamin C. In contrast, in intensive non-organic agriculture, plants are exposed to higher stress levels and therefore produce more protective compounds, such as ascorbic acid.

2.2.4. Spectrophotometric analysis of phenolic concentration

Spectrophotometric analysis of phenolic concentration showed that the phenolic content in control carrots grown under both organic and non-organic conditions was similar, reaching about 9 mg/100 g (Figure 11). The probiotic “ProbioHumus” had a different effect on phenolic accumulation: in organic fields, this preparation significantly reduced phenolic content by 7 % ($p < 0.01$), while in non-organic fields it increased it by 13 % ($p < 0.05$) compared to control plants. After treatment with the probiotic mixture, phenolic concentration increased by 13 % ($p < 0.01$) in organically grown carrots, while in non-organically grown carrots it was similar to the control ($p > 0.05$).

In the organic trial, treatment with “ProbioHumus” resulted in a statistically significant reduction in total phenolic content compared to control carrots, while in the non-organic trial, phenolic content increased. This difference may be related to the distinct microbial environments in the soil and the plants' responses to probiotic influence. In organic fields, where the soil is biologically active and microbial diversity is high, introducing a single probiotic may disturb the natural microbial balance or compete with existing bacteria, potentially reducing the plant's phenolic production as an adaptive

response. In contrast, in non-organic fields, where microbial diversity is often lower due to more intensive agricultural practices, "ProbioHumus" acted as a stimulus for plant defense responses, promoting phenolic synthesis.
Following root crop treatment with the probiotic mixture, a different trend was observed: phenolic content increased in the organic trial but remained similar to the control in the non-organic trial. This indicates that the mixture's effect in the organic environment may be synergistic – different probiotics complemented each other without disrupting microbial balance, more effectively stimulating plant metabolism and phenolic production. In non-organic fields, phenolic production may have already been maximally stimulated by environmental conditions and the effect of a single probiotic, so the additional mixture did not result in a significant change.

2.2.5. Effect of Probiotics on the Antioxidant Activity of Carrot Roots

The antioxidant activity of fresh carrot mass was evaluated using the DPPH assay. The results (Figure 12) showed that in the organic farm, the antioxidant activity in the control group was 32.97 %, while the probiotic mixture increased the antioxidant activity to 42.99 % ($p < 0.01$). In the non-organic farm, the "ProbioHumus + NaturGel" mixture increased the carrot antioxidant activity to 43.3% ($p < 0.01$). Meanwhile, carrots treated with "ProbioHumus" alone showed higher antioxidant activity than the control, but this increase was not statistically significant ($p > 0.05$).
Control carrots exhibited the lowest antioxidant activity. After treatment with the probiotic "ProbioHumus," antioxidant levels were higher, but the difference compared to control was not significant ($p > 0.05$). The highest and statistically significant increase in antioxidant activity ($p < 0.05$) was observed with the probiotic mixture.
This effect likely resulted from the synergistic interaction between the two probiotics, which complemented each other's action by enhancing the plant's defense responses and promoting greater antioxidant synthesis. The mixture may have more effectively stimulated the plant's metabolism and activated various protective mechanisms.

2.2.6. Effect of Probiotics on Nitrate Content in Carrot Roots

In all variants of the organic trials, the nitrate content was found to be twice as low compared to the non-organic trials (Figure 13). Carrot roots grown in the organic farm accumulated approximately 121.63 mg/kg of nitrates, whereas those from the non-organic farm accumulated about 264.80 mg/kg. The tested probiotics had no significant effect on nitrate accumulation in carrots ($p < 0.05$).

The difference in nitrate levels between organically and non-organically grown carrots can be explained by differing cultivation practices. Organic farms do not use synthetic fertilizers, and the soil's microbiological diversity and biological processes naturally regulate nitrogen metabolism, reducing nitrate accumulation in plants. Furthermore, organic conditions promote slower plant growth and more natural metabolic rates, which also contribute to lower nitrate buildup.

Although probiotic treatment positively influenced plant growth and stress tolerance, it had no significant impact on nitrate content. This indicates that the probiotics did not directly affect nitrogen transformation processes in the soil or plants, and the probiotics used in this study showed no efficacy in this regard.

2.3. Effect of probiotics on the yield quality of berry crops grown in organic fields

2.3.1. Effect of probiotics on the morphometric parameters of strawberry fruits

The probiotics "ProbioHumus" and "NaturGel", used both separately and in combination, significantly increased the fresh and dry weight of strawberry fruits compared to the control group (Table 5). The greatest effect on fruit development was observed with "ProbioHumus", which increased the fresh weight of strawberries by 42 % ($p < 0.05$). When using "ProbioHumus + NaturGel" and "NaturGel" alone, fruit fresh weight increased by 37 % ($p < 0.05$) and 23 % ($p < 0.05$), respectively, compared to the control group. All probiotic treatments also increased both the diameter and length of the berries. The most pronounced effect on fruit length was observed with "NaturGel", while the greatest increase in fruit diameter was achieved using the "ProbioHumus" and "NaturGel" mixture. According to the study, the average strawberry yield ranged from 1.4 t/ha to 2.09 t/ha, with the highest yield recorded in the "ProbioHumus" treatment.

Based on the obtained results, probiotics had a positive effect on strawberry growth and yield. All tested preparations – "ProbioHumus", "NaturGel", and their combination – significantly increased both the fresh and dry weight of the fruits as well as their biometric parameters compared to the control group. "ProbioHumus" had the strongest effect, as observed also in the carrot trials, enhancing not only fresh mass but also total yield. This effect is likely related to the probiotics' ability to improve the soil's microbiological structure, stimulate root system development, and enhance micronutrient uptake. "ProbioHumus" is known for its more intensive influence on soil microflora and plant metabolism.

Insight from section 2.3.: In summary, the use of probiotics can be an effective tool for increasing both the yield and quality of strawberries in organic farming systems, where synthetic growth-promoting fertilizers are not applied.

2.4. Effect of probiotics on the biochemical composition of strawberry fruits

2.4.1. Effect of probiotics on the total phenolic content in strawberries

The evaluation of total phenolic content in strawberry fruits using the Folin–Ciocalteu method revealed that there were no statistically significant differences between the probiotic-treated plants and the control group ($p > 0.05$) (Figure 14). This result may be attributed to the fact that strawberries naturally contain relatively high levels of phenolic compounds, and therefore, additional stimulation by probiotics did not trigger a notable defensive response. Furthermore, the applied preparations likely had a greater impact on plant growth and yield formation rather than on the activation of phenolic synthesis, which is typically enhanced when plants respond to stress or pathogen attacks.

2.4.2. Effect of probiotics on anthocyanin accumulation in strawberries

To assess the anthocyanin content in strawberries, the pH differential method was applied. The results showed that treatment with “ProbioHumus” and “NaturGel” did not have a statistically significant effect on anthocyanin accumulation. After treatment with the combination of “ProbioHumus + NaturGel”, anthocyanin content was 11 % lower than in the control group ($p = 0.05$) (Figure 15). These findings indicate that probiotic treatment did not have a positive effect on anthocyanin accumulation in strawberries. On the contrary, the use of the combined preparation even resulted in a reduction in anthocyanin content. This may be related to reduced stress experienced by the plant – when growth conditions improve, the need to synthesize protective pigments such as anthocyanins tends to decrease.

2.4.3. Effect of probiotics on ascorbic acid content in strawberries

The results showed that both “ProbioHumus” alone and the combination of “ProbioHumus” and “NaturGel” significantly increased the ascorbic acid content in strawberries ($p < 0.01$) (Figure 16). The highest ascorbic acid concentration was found in fruits harvested from plants treated with “ProbioHumus” – an increase of nearly twofold (31.44 – 84.60 mg/100 g of berries) compared to the control group (13.56 – 40.1 mg/100 g of berries). Treatment with “ProbioHumus + NaturGel” increased ascorbic acid content

by 83 % ($p < 0.05$), while “NaturGel” treatment alone resulted in a 32 % increase, which was not statistically significant ($p > 0.05$).

It was found that treatment of strawberries with “ProbioHumus” and the “ProbioHumus + NaturGel” mixture significantly increased the ascorbic acid content in the fruits, with the greatest increase observed after application of “ProbioHumus”. This effect can be attributed to the probiotics’ ability to activate the plant’s antioxidant system and stimulate the synthesis of defensive compounds, including ascorbic acid. Additionally, improved root nutrition and enhanced micronutrient uptake likely activated metabolic processes related to vitamin C biosynthesis.

2.4.4. Effect of probiotics on the antioxidant activity of strawberry fruits

The antioxidant activity of fresh strawberry fruits after treatment with the probiotics “ProbioHumus” and “NaturGel” was evaluated using the DPPH method. The results showed that the tested preparations significantly increased the antioxidant activity of strawberries compared to the control (Figure 17). The highest antioxidant activity was found in fruits from plants treated with the probiotic mixture – 41.41% ($p < 0.01$). Significant differences were also observed between strawberries treated with ProbioHumus – 40.46 % ($p < 0.01$) and NaturGel – 38.37 % ($p < 0.05$), compared to the control group – 36.42 %.

These results suggest that probiotics may have activated the plant’s natural defense mechanisms and stimulated the synthesis of antioxidant compounds, particularly ascorbic acid. The use of the probiotic mixture enhanced the effect, possibly due to synergistic interactions.

Insight from section 2.4: Although probiotic treatment significantly increased the ascorbic acid content in strawberries, the concentration of phenolics and anthocyanins essentially remained unchanged or even slightly decreased. This can be linked to the different roles these compounds play in plant metabolism. Ascorbic acid is a primary, rapidly synthesized antioxidant actively involved in the plant’s redox reactions and response to physiological stress. Probiotics may have stimulated plant metabolism and activated its defense system, promoting vitamin C synthesis. In contrast, phenolics and anthocyanins tend to accumulate as part of a long-term defense strategy in response to more severe stresses (e.g., pathogen attack, UV radiation, or nutrient deficiency). Since probiotics improved growing conditions and reduced oxidative stress, the need to accumulate these secondary metabolites may have remained stable or decreased.

2.5. Effect of probiotics on the morphometric parameters of blackcurrant berries

The probiotics “ProbioHumus” and “NaturGel”, applied individually or in combination, significantly increased both the fresh and dry mass of blackcurrant berries compared to the control (Table 6). The greatest impact on fresh berry mass was observed with “ProbioHumus” and the probiotic mixture, which increased fresh mass by 45 % ($p < 0.05$) and 43 % ($p < 0.05$), respectively, compared to the control berries. Treatment with “NaturGel” resulted in a 28 % increase in fresh berry mass ($p < 0.05$). The average blackcurrant berry yield ranged from 2.74 t/ha to 3.79 t/ha, with the highest yield recorded following “ProbioHumus” treatment.

Section 2.5. insight: The study results indicate that treatment of blackcurrants with all tested probiotics significantly increased berry fresh and dry mass as well as overall yield. It can be suggested that the probiotic effect on plant growth and yield formation is related to improved nutrition, root system development, and stimulated metabolism. The most pronounced changes, consistent with those observed in carrot and strawberry trials, were achieved using “ProbioHumus”.

2.6. Effect of probiotics on ascorbic acid and total phenolic content in blackcurrant berries

The study data indicate that the use of the probiotics “ProbioHumus” and NaturGel did not have a statistically significant effect on changes in either ascorbic acid or total phenolic content in blackcurrant berries ($p > 0.05$) (Figure 18 (a); (b)).

Although the application of “ProbioHumus” and “NaturGel” positively influenced blackcurrant yield, they did not significantly affect the ascorbic acid and total phenolic content in the berries. This lack of effect may be related to the fact that blackcurrants naturally accumulate high levels of ascorbic acid and phenolics, making additional stimulation of the synthesis of these compounds by probiotics negligible.

2.6.1. Effect of probiotics on anthocyanin content in blackcurrant berries

Analysis of anthocyanin content in blackcurrant berries showed that treatment with the probiotics “ProbioHumus” and “NaturGel”, individually or combined, significantly increased their content in the berries compared to the control ($p < 0.01$) (Figure 19).

Although no statistically significant differences were observed between the tested groups themselves, the highest anthocyanin content was found in plants treated with “NaturGel”, with an increase of 72 % ($p < 0.05$). A lower increase

was observed in berries treated with ProbioHumus – 45 % ($p < 0.01$) – while the probiotic mixture treatment increased anthocyanin content by 51 % ($p < 0.05$) compared to the control.

Treatment of plants with the tested probiotics significantly enhanced anthocyanin content in blackcurrant berries, especially with "NaturGel", indicating the potential of these probiotics to stimulate the production of bioactive pigment compounds and improve the nutritional value of the berries.

2.6.2. Effect of probiotics on antioxidant activity of blackcurrant berries

The antioxidant activity of blackcurrant berries was assessed using the DPPH assay. The results showed that the probiotics used did not increase antioxidant activity compared to the control treatment (Figure 20).

After treatment, antioxidant activity decreased by 3 % with the probiotic mixture, by 10% with ProbioHumus, and by 16 % with "NaturGel". The decrease observed with NaturGel was statistically significant ($p < 0.05$).

Although probiotics significantly increased anthocyanin content in blackcurrant berries, the overall antioxidant activity remained unchanged or even decreased because ascorbic acid and phenolic content did not change. Additionally, the increased berry mass may have diluted antioxidant concentration per volume.

Section 2.6 insight: The effects of probiotics on blackcurrant berry mass and anthocyanin content do not always correlate with overall antioxidant activity, which depends on the interaction and concentration ratios of the probiotics applied.

2.7. Effect of probiotics on soil agrochemical properties

At the start of the experiment, before evaluating the impact of probiotics on soil agrochemical properties, nitrate nitrogen levels were 8.42 mg/kg in organic fields and 16.96 mg/kg in non-organic fields. After two years of treatment with the probiotics "ProbioHumus" and the mixture of "ProbioHumus" and "NaturGel", this parameter increased by 61 % and 81 % respectively in organic farming, and by 50 % and 22 % in non-organic farming compared to the control (Table 7). Total nitrogen content also rose significantly, increasing by 26 % and 16 % in organic fields and by 39 % and 27 % in non-organic fields following treatment with "ProbioHumus" and the probiotic mixture, respectively. Organic carbon content showed a pronounced increase of 71 % in organic fields treated with "ProbioHumus" compared to the control, with a more modest but still notable 26 % rise observed in non-organic fields (Table 8).

These results indicate that the tested probiotics positively influenced key agrochemical parameters of the soil in both organic and non-organic farming systems. The substantial increase in nitrate and total nitrogen content suggests that probiotics stimulate nitrogen compound accumulation, enhancing soil fertility. Meanwhile, the significant rise in organic carbon, especially in organic fields, reflects improved soil organic matter quality and heightened biological activity, which are critical for maintaining soil health and long-term productivity.

Discussion

Probiotics are one of the most environmentally friendly biotechnologies capable of effectively increasing plant productivity. It is believed that they serve a dual function – not only acting as an alternative to chemical fertilizers, but also stimulating the synthesis of biologically active compounds in plants by activating secondary metabolism. This helps to grow functional food products with enhanced nutritional value (Jiménez-Gómez, 2017; Albanchez et al., 2018; Thakur et al., 2019).

Agricultural practices are increasingly shifting toward more sustainable and environmentally friendly solutions in response to the growing demand for safe food and the increasing awareness of the negative impacts of excessive pesticide and fertilizer use on the environment and human health. For this reason, technologies that promote plant growth are being intensively studied, especially for organic farming (Lesur-Dumoulin et al., 2017; Rahman et al., 2018; Scharma et al., 2018). Currently, organic vegetable yields are on average still 13-34% lower than those obtained in non-organic farming (Seufert et al., 2012).

Over the past two decades, it has become clear that non-organic farming gradually depletes the soil and causes serious environmental problems. Meanwhile, the application of PGPM is considered a sustainable agricultural practice that helps increase crop productivity, improve fruit and vegetable quality, and maintain or restore soil condition (Caradonia et al., 2019; Khan et al., 2019; Rouphael et al., 2020).

This study investigated the effectiveness of commercial probiotics “ProbioHumus” and “NaturGel” on the yield and quality of root crops and berry plants under both organic and non-organic conditions to evaluate their potential across different growing systems. Laboratory tests established the effective concentrations of these products that exhibit biostimulatory effects on plant growth. In the non-organic farm, probiotics were used together with standard mineral NPK fertilizers, while in the organic farm they were applied without synthetic additives, following organic production principles.

The results showed that the use of probiotics had a positive effect in both cases: the yield of carrots, strawberries, and blackcurrants increased, plant antioxidant activity was enhanced, and the agrochemical properties of the soil improved. Significant positive effects were observed in both organic and non-organic plants – the soil exhibited higher microbiological activity and more stable structure, while the plants accumulated more biologically active compounds.

These data suggest that probiotics can become an important part of ecological agricultural technologies, reducing dependence on chemical fertilizers, especially in non-organic farms where they could help reduce fertilizer doses while maintaining productivity. This approach contributes to achieving circular economy goals, reducing soil degradation, and enhancing overall agricultural sustainability.

Carrots are an important root vegetable, characterized by high nutritional value and rich in natural biologically active compounds that positively affect human health. Zhu and colleagues (2024) conducted experiments using a mixture of probiotic bacteria combined with NPK fertilizers. It was found that morphometric parameters of carrots treated with PGPM preparations significantly improved compared to the control, and the additional use of NPK further enhanced this effect. Previous studies indicate that plant-derived non-microbial biostimulants can also promote carrot growth by increasing biomass and altering root chemical composition (Grabowska et al., 2012; Wszelaczynska et al., 2019; Bender et al., 2020). For example, seaweed extracts, used in both organic and non-organic farming, are considered important non-microbial plant biostimulants that not only increase crop productivity but also reduce the need for synthetic fertilizers (Sharma et al., 2014; Carillo et al., 2020). Research by Barone with colleagues showed that microalgae extracts have a biostimulatory effect on beetroot root crops related to nutrient uptake, which improves plant growth and vitality (Barone et al., 2018). These data correspond with the results obtained in our study. Probiotics “ProbioHumus” and “NaturGel” positively influenced both the quality and quantity of carrot yield in organic and non-organic fields. Although the biomass of organically grown carrots was 19% lower than that of non-organicly grown ones, the average root weight increased by 20 % and 22 %, respectively, after treatment with the tested preparations compared to the control.

One of the main quality indicators of carrots is the carotenoid content (Arscott, Tanumihardjo, 2010; Gajewski et al., 2010). It has been proven that organic fertilizers can increase β-carotene content (Minikayev, Gaffarova, 2020). Regarding the effect of microbial plant biostimulants on improving product

quality, Chandrasekaran and co-authors (Chandrasekaran et al., 2019) reported that inoculation with *Bacillus subtilis* CBR05 significantly increased carotenoid content in tomatoes. In our study, the highest levels of these pigments were detected in carrots grown in the non-organic farm treated with the "ProbioHumus" and "NaturGel" mixture. Meanwhile, under organic conditions, these preparations had no significant effect on carotenoid content. According to literature data, organically grown fruits and vegetables accumulate more sugars than those grown non-organicly with the use of NPK fertilizers (Haglund et al., 1998; Singh et al., 2012). Norwegian scientists studying the sensory properties of carrots grown on organic and non-organic farms found that fertilization is one of the most important factors. Carrots grown without fertilization or fertilized with organic fertilizers had higher sugar content, more intense taste and aroma, and lower pH (Hogstad et al., 1997). However, Bender and colleagues (2020) argue that organically grown root vegetables do not always exhibit higher sugar content (Bender et al., 2020).

Our research data showed that organically grown carrots contained higher amounts of monosaccharides, and the preparations "ProbioHumus" and "NaturGel" promoted their accumulation. The highest amount was detected in carrots grown in the organic farm treated with the "ProbioHumus + NaturGel" mixture.

Although ascorbic acid is found in relatively small amounts in carrots, it is an important indicator of their nutritional value due to its strong biological activity. Considering the high consumption of raw carrots, these root vegetables can be an important source of ascorbic acid (Wszelaczynska, Poberężny, 2011; Bender et al., 2020). Of course, its content depends on the carrot variety, although the influence of farming methods cannot be ruled out. Our research results showed that the ascorbic acid content in organically grown carrots increased with the use of "ProbioHumus," while in non-organically grown carrots it increased when treated with the "ProbioHumus + NaturGel" mixture. These results correspond to data from other authors showing that biostimulators can promote vitamin C accumulation in plants (Przybysz et al., 2010; Kwiatkowski et al., 2013).

Carrots are one of the richest sources of plant-derived phenolic acids (Keser et al., 2020), with their content in carrots ranging from 50 to 75 mg/100 g of fresh weight (Leja et al., 2013; Dong et al., 2021; Oh, Brooks, 2025). According to our data, the "ProbioHumus + NaturGel" mixture increased the total phenolic content in carrots by 10 % under organic farming conditions, while in non-organic conditions "ProbioHumus" alone led to an increase of up to 15 %.

Recent studies indicate that probiotics can influence both primary and secondary metabolism in plants by stimulating the synthesis and accumulation of antioxidant compounds (Colla et al., 2017; Rouphael et al., 2017). For example, after PGPM inoculation in soybean plants, increased levels of flavonoids and isoflavones were observed, resulting in enhanced antioxidant activity (Kiprovski et al., 2016). Our research results showed that the mixture of "ProbioHumus" and "NaturGel" significantly increased the antioxidant activity of carrots grown in both organic and non-organic farms.

The average nitrate content in non-organicly grown carrots typically ranges from 100 to 270 mg/kg (Karkleliene et al., 2009; Bender et al., 2020). The nitrate content in root vegetables depends on variety, growing conditions, and applied technologies (Wierzbowska et al., 2017; Scharma et al., 2018). Although some sources claim that probiotics may reduce nitrate content (Kwiatkowski et al., 2013; Smolen et al., 2014), other authors have found no such effect (Poberężny et al., 2020). Our research data indicate that regardless of the preparation used, nitrate levels in organically grown carrots were about twice lower than those in non-organicly grown ones. At the same time, probiotics did not have a statistically significant effect on nitrate accumulation.

In summary, it can be stated that the probiotics "ProbioHumus" had a positive effect on carrot growth, productivity parameters, and yield. The combined use of "ProbioHumus" and "NaturGel" resulted in increased levels of carotenoids, monosaccharides, ascorbic acid, and phenolic compounds, as well as increased overall antioxidant activity in carrot roots grown under both organic and non-organic farming conditions. Although these preparations did not significantly affect nitrate content, a slight reduction was observed in the organic farm. The obtained results suggest that probiotics may be a sustainable alternative to chemical fertilizers in carrot cultivation. Our studies show that the quality of organically grown carrot yields may, in some cases, surpass that of non-organically farmed produce.

Moreover, the use of microbial preparations alongside chemical fertilizers can contribute to the development of environmentally friendly agricultural practices by reducing the need for synthetic fertilizers. Given that "ProbioHumus" and "NaturGel" were effective even at low doses, they may be recommended as part of eco-friendly cultivation technologies. Further detailed studies on the effects of probiotics on plant growth, development, and yield quality will deepen the understanding of root vegetable–microorganism interactions and provide farmers with new tools for sustainable agriculture development.

Strawberry fruits are valued not only for their exceptional sensory qualities – sweet taste, pleasant aroma, and delicate texture - but also for their high biological value and potential health benefits. Due to these properties, strawberries are classified as functional food. It is known that lower fruit yields are one of the main challenges in organic farming (Bona et al., 2015). However, data from this dissertation indicate that this issue can be addressed by using the studied probiotics.

Our results showed that the use of "ProbioHumus" and "NaturGel" probiotics in an organic farm improved the morphometric parameters and quality of strawberries. Strawberries treated with these probiotics had significantly higher fresh fruit mass – an increase of 22-42 % compared to untreated control plants. As with the carrot experiments, the highest fresh mass and dry matter accumulation were recorded after treatment with the "ProbioHumus" probiotic. Improved fruit growth may be related to more efficient nutrient uptake and/or changes in endogenous phytohormone levels as well as other biological mechanisms (Lugtenberg, Kamilova, 2009; Spence et al., 2012; Islam, Hossain, 2012).

Phenolic compounds are plant secondary metabolites characterized by great structural and functional diversity. The positive effects of these phytochemicals on health are associated with their antioxidant activity and their potential role in the prevention of certain diseases (Haminiuk et al., 2012; Basu et al., 2014; Skrovankova et al., 2015). Strawberries rank among the top 100 foods and beverages richest in polyphenols (Pérez-Jiménez et al., 2010), with about 40 different phenolic compounds of varying structures and functions identified in their fruits (Basu et al., 2014). Literature reports that polyphenol content in strawberries can range from 99.4 to 1441 mg GAE/100 g (Mandave et al., 2014; Chaves et al., 2017; Ganhão et al., 2019).

In our study, the total phenolic content in control strawberries ranged from 313 to 438 mg GAE/100 g, which corresponds to amounts reported by other researchers. The results showed that the phenolic content in strawberries treated with probiotic preparations did not differ significantly from the control. However, other authors (Rahman et al., 2018) demonstrated that strawberries treated with *Bacillus amylolequifaciens* Bchi1 and *Paraburkholderia fungorum* BRRh-4 isolates had a significantly higher total phenolic content compared to untreated controls.

One of the most important quality traits of strawberries is their attractive red color, which is determined by anthocyanins – a group of water-soluble phenolic compounds with antioxidant properties (Basu et al., 2014; Smeriglio et al., 2016; Chaves et al., 2017). According to many studies, anthocyanin content in strawberries ranges from 2.09 to 48 mg/100 g fresh weight (Chaves

et al., 2017; Ganhão et al., 2019), depending on variety and fruit maturity stage (Aaby et al., 2012; Chaves et al., 2017). Anthocyanin accumulation is also influenced by the growing system and environmental factors such as temperature, light intensity, and soil composition (Panico et al., 2009; Skrovankova et al., 2015). Our study found that anthocyanin content in control strawberries ranged from 26.15 to 34.4 mg/100 g fresh weight, consistent with data from other authors.

Antioxidant Activity in Probiotic-Treated Strawberries

The highest antioxidant activity was found in strawberries treated with a mixture of probiotics, increasing by 13 % compared to the control, while after treatment with "ProbioHumus" it increased by 11 %. The antioxidant activity of strawberries treated with the probiotic "NaturGel" increased by 5 % compared to the control. These results correspond with data from other authors. Rahman et al. (2018) demonstrated that strawberry plants treated with probiotic bacteria *Bacillus amyloliquefaciens* and *Paraburkholderia fungorum* showed significantly higher total antioxidant activity compared to control plants. This suggests that the use of probiotics can initiate plant defense responses while stimulating the synthesis of secondary metabolites—antioxidants. To identify which compound had the greatest impact on the antioxidant activity of strawberries, several authors conducted detailed studies. Aaby et al. (2007) found that the main antioxidants in strawberries are ascorbic acid (24 %) and anthocyanins (13 %). Tulipani et al. (2008) observed a similar trend: ascorbic acid accounted for more than 30 %, and anthocyanins for 25-40 % of the total antioxidant activity of strawberries.

The probiotics "ProbioHumus" and "NaturGel" did not increase the anthocyanin content in strawberry fruits compared to the control strawberries. A similar effect was observed by Ramos-Solano and colleagues (2013) in a study with blackberries, where probiotic application had no effect on anthocyanin levels (Ramos-Solano et al., 2013). However, data from other authors show opposite trends – Lingua et al. (2013) found that anthocyanin concentration increased in plants inoculated with a mixture of mycorrhizal fungi (*Glomus* sp.) and plant growth-promoting bacteria (*Pseudomonas fluorescens*). Rahman et al. (2018) also found a significant increase in anthocyanin content in strawberries after treatment with *Bacillus amyloliquefaciens* Bchi1 and *Paraburkholderia fungorum* BRRh-4 isolates. Anthocyanin concentration depends on the balance between their synthesis and degradation, so explaining a reduced amount is not straightforward. Currently, detailed data on the effect of plant probiotics on anthocyanin content in strawberry fruits are lacking in the literature. However, the results of this dissertation indicate that the overall antioxidant activity in plants

treated with probiotics correlates with an increase in other strong antioxidants such as phenolic compounds and ascorbic acid.

In this study, we showed that treating strawberry plants with "ProbioHumus," "NaturGel" probiotics, and their mixture increased not only fruit growth but also the content of antioxidants, especially ascorbic acid, and significantly enhanced the antioxidant activity of the fruits compared to control plants. Thus, treatment with these probiotics created favorable conditions for producing higher-quality strawberries under organic farming conditions. This is an important result for agriculture, the environment, and human health. Therefore, it can be concluded that the tested probiotics have potential to be used for cultivating functional fruits in sustainable organic farming systems.

Probiotic Effects on Black Currant Fruit Yield and Quality

Commercially important black currant fruits are characterized by a high content of antioxidants and effective free radical scavenging ability. The first report of growth stimulation in berry plants by various bacterial species was by Rahman et al. (2018). In experiments with probiotic bacteria, they obtained significantly increased strawberry fruit yield and enhanced functional properties. Similar results were obtained in this dissertation study: "ProbioHumus" and "NaturGel" improved the yield and quality of black currant fruits grown under organic conditions.

After application of these preparations, significant increases ($p < 0.05$) were observed in both the green biomass and yield of black currant plants. "ProbioHumus" increased fresh berry weight by 45 %, and the yield was 1.1 t/ha higher than that of untreated plants.

These results are consistent with experiments performed by other researchers on strawberries, blackberries, and raspberries (Orhan et al., 2006; Ramos-Solano et al., 2013; García-Seco et al., 2015; Mukta et al., 2017; Rahman et al., 2018).

Black currant fruits are an especially rich source of biologically active compounds. They contain many chemical substances with antioxidant, antibacterial, and disinfectant properties. Extracts from black currants are among the most effective antioxidants – ranking second in free radical scavenging ability among nine berry extracts tested (Amakura et al., 2000). Additionally, currants are rich in ascorbic acid, which contributes to their high antioxidant activity (Bishayee et al., 2011; Butnariu, 2014).

Phenolic Compounds and Anthocyanins in Black Currant Berries

A high content of phenolic compounds has been found in black currant fruits – ranging from 500 to 1112 mg/100 g fresh weight (Moyer et al., 2002). Under Lithuanian agroclimatic conditions, their concentration ranges from 400 to over 900 mg/100 g, while in this dissertation's study it was 570-600 mg/100

g. The total phenolic content did not increase after treatment with "ProbioHumus," "NaturGel," or their mixture, although studies by other authors such as Ramos-Solano et al. and Rahman et al. (2013; 2018) showed such a tendency in strawberry fruits and blackberries.

According to data from Lithuanian and foreign researchers, the total anthocyanin content in black currant fruits ranges from 214 to 589 mg/100 g, which is 3-4 times higher than in red raspberries and strawberries (Slimestad, Solheim, 2002; Rubinskiene et al., 2005; Viskelis et al., 2012; Anisimovienė et al., 2013). The data from this dissertation show that probiotics ("ProbioHumus" and "NaturGel") significantly increased the total anthocyanin content in berries. The study results showed that the "NaturGel" probiotic significantly increased anthocyanin accumulation in black currant berries—by as much as 79 %. Also, the mixture of "ProbioHumus" and "NaturGel" significantly increased anthocyanin content by 51 %, and "ProbioHumus" alone increased it by 45 % compared to control plants.

These results align with previous studies in which strawberries grown under reduced fertilization and inoculated with growth-promoting bacterial strains and mycorrhizal fungi showed increased anthocyanin content (Bona et al., 2015; Todeschini et al., 2018; Rahman et al., 2018). Meanwhile, studies with blackberries inoculated with *Pseudomonas* species did not show changes in anthocyanin content (Ramos-Solano et al., 2013). Based on this study, plant probiotics can be an effective tool for increasing anthocyanin levels in black currant fruits.

Ascorbic Acid Content in Black Currant Berries

Black currant fruits are characterized by a very high ascorbic acid content – ranging from 100 to 250 mg/100 g, and in some wild subspecies (*Ribes nigrum* spp. *sibiricum*), ascorbic acid content can reach up to 800 mg/100 g (Brennan, 2008; Rubinskienė, 2005; Viskelis et al., 2012; Skrovankova et al., 2015; Sharma, Singhvi, 2017; Okatan, 2020). According to recommendations from various countries, the daily vitamin C requirement ranges from 40 to 120 mg (Doseděl et al., 2021). Data on the effect of probiotics on ascorbic acid content in black currant berries is currently unavailable. However, it is known that the ascorbic acid content depends on the fruit ripening stage – it is highest at the beginning of ripening and correlates with intensifying fruit color (Viskelis et al., 2012; Vagiri et al., 2013). Ascorbic acid biosynthesis in currants mainly occurs in the early stages of fruit development (Hancock, 2007). In our study, the ascorbic acid content in untreated black currant berries was 92,34 mg/100 g, while in "ProbioHumus" – treated berries, it increased to 124,45 mg/100 g. However, due to the naturally high ascorbic acid content in currants, this increase was not statistically significant ($p > 0.05$). These data correspond to

results of other researchers who showed that growth-promoting bacteria can increase ascorbic acid content in strawberries (Pırlak, Köse, 2009; Erturk et al., 2012; Flores-Félix et al., 2015; Rahman et al., 2018; Okatan, 2020). It should be noted that ascorbic acid content in black currant berries is approximately five times higher than in strawberries.

Antioxidant Activity and Probiotics in Black Currants

Black currants are often called “superfruits” due to their wide range of health-beneficial properties associated with strong antioxidant activity (Tabart et al., 2012; Allai et al., 2020). In the study by Viskelis et al. (2012), analyzing 16 black currant cultivars grown in Lithuania, DPPH radical scavenging activity ranged from 71 % to 94 %, with the 'Joniniai' cultivar reaching 78 %. In this study, antioxidant activity in the berries ranged from 63 % to 74 %, and the probiotics used had no significant effect on the overall antioxidant activity of black currant fruits.

Both individually and combined, the probiotics influenced anthocyanin concentration, which in some berries can constitute up to 56 % of total phenolic compounds. However, it is believed that anthocyanins contribute relatively little to the overall antioxidant activity (Medda et al., 2021). Our study results confirmed the findings of other authors (Lister et al., 2002; Clark, Finn, 2014; García-Seco et al., 2015) that antioxidant activity mainly depends on phenolic compounds and ascorbic acid concentration, but not on anthocyanin content. In summary, “ProbioHumus” and “NaturGel” use not only increases berry growth and yield but also increases anthocyanin content. The probiotic experiments resulted in significantly increased black currant fruit yield and improved functional properties. This is the first study where probiotics were evaluated under organic farming conditions. They were effective even at very low doses and thus can be recommended as an environmentally friendly technology. Our results show that plant probiotics can be used to grow high-quality black currant production, reducing the need for expensive inorganic fertilizers. This is an environmentally friendly solution that benefits both growers and consumers.

Probiotic Effects on Soil Agrochemical Properties

The use of biologically active natural substances and probiotics not only improves plant biochemical properties but also enhances soil quality (De Pascale et al., 2017; Lin et al., 2019; Gamage et al., 2023). Scientific research shows that probiotics improve plant nutrition by solubilizing and mineralizing soil nutrients, especially phosphorus, fixing nitrogen, promoting phytohormone production, suppressing pathogen activity, and increasing plant resistance to biotic and abiotic stress (Lingua et al., 2013; Jiménez-Gómez et al., 2017; Rahman et al., 2018). Several soil agrochemical properties are

critical for proper plant development, including humus, total nitrogen, plant-available phosphorus, humic acids, and organic matter (Plett et al., 2020). These components are not only nutrient sources for plant tissue formation but also actively participate in plant metabolism. Nitrogen is essential for all plant growth processes (Gregory et al., 2016).

Soil tests after probiotic application showed that total nitrogen did not change and remained in the lowest group. Ammoniacal nitrogen content increased in non-organic soil after "ProbioHumus" and "ProbioHumus + NaturGel" mixture application (2.53 mg/kg and 2.49 mg/kg, respectively, compared to control 1.24 mg/kg). In organic soil, although ammoniacal nitrogen decreased, nitrate and nitrogen levels showed an increasing trend after probiotic treatment.

Probiotics are an effective management practice to maintain or increase phosphorus content and improve its availability in agricultural soils. Phosphorus is essential for vital plant processes – its deficiency causes poor growth, leaf deformation, and darkening (Ma et al., 2021). Total phosphorus content in soil ranges from 112 to 600 mg/kg (Tian et al., 2021), while in our fields it was 365-554 mg/kg.

Phosphorus is often immobile and unavailable to plants – about 80 % of phosphorus is in such inaccessible forms. Microorganisms play an important role in converting organic phosphorus compounds into plant-available forms (Pukalchik et al., 2019). Our research results showed that the use of probiotics significantly increased the amount of plant-available phosphorus in the soil – under non-organic conditions, the highest phosphorus content was recorded after the application of "ProbioHumus", while under organic conditions, the highest content was observed after using the mixture of "ProbioHumus" and "NaturGel".

Studies have shown that the use of biostimulants can alter both the quantity and properties of humic acids (Bhatt et al., 2025). Our data indicated that following the application of "ProbioHumus", the amount of humic acids in the organic farm increased almost fourfold, and doubled in the non-organic system (see Tables 7 and 8).

Soil organic carbon is an important indicator of soil quality, and even a slight increase in its level can enhance soil activity and productivity potential (Stockmann et al., 2015). In our study, the total organic carbon content in organic fields treated with "ProbioHumus" increased by 71 % compared to the control, and by 37 % after the application of the "ProbioHumus" + "NaturGel" mixture. In non-organic fields, these increases were 26 % and 6 %, respectively.

Microbial activity plays a key role in many soil processes, including the decomposition of organic matter and the formation of humus. Approximately 80–85% of soil organic matter consists of humus, which not only improves soil structure and water retention but also serves as a vital source of nutrients for both microorganisms and plants. Research on the effect of probiotics on organic matter content has shown varied results. In Lithuania, humus content across regions ranges from 1.5 % to 2.76 % (Staugaitis et al., 2009). In our field trials, we recorded 1.66 % humus in untreated organic soils, 2,5 % in organic soils, and after the use of ProbioHumus – 2.68 % in organic and 3.17 % in non-organic soils.

Based on our research, we can conclude that to improve the bioavailability of nutrients and reduce negative environmental impacts, it is important to use microorganism-based technologies. Probiotics represent a promising tool for sustainable agriculture – they enhance plant growth and yields through direct mechanisms such as phytohormone production, nitrogen fixation, phosphate and potassium solubilization, and ammonia production, as well as through indirect mechanisms, including the synthesis of bacterial enzymes (Basu et al., 2014; Backer et al., 2018; Grover et al., 2021; Fiodor et al., 2023). Microbiological products containing PGPM (plant growth-promoting microorganisms) can increase crop production by 12-20 % (Glick, 2014; Pérez-Jaramillo et al., 2016; Shi et al., 2023), highlighting their significance as a tool for sustainable agriculture.

CONCLUSIONS

1. Treatment of plants with probiotics significantly increased morphometric parameters and yields of root and berry crops. The highest values were obtained using the “ProbioHumus” probiotic.
2. Application of probiotics had a positive effect on the nutritional composition of root crops – the levels of monosaccharides and antioxidants increased, along with enhanced overall antioxidant activity. Although an increase in antioxidant synthesis was observed in both organically and conventionally grown carrots, the positive effect of probiotics was more pronounced in the conventional farming system.
3. The nitrate content in root crops grown in organic fields was approximately two times lower than in conventional fields. The tested probiotics did not have a statistically significant effect on nitrate accumulation in root crops.
4. Probiotics increased the antioxidant activity of strawberry fruits and blackcurrant berries: in strawberries, the ascorbic acid content nearly doubled

after treatment with “ProbioHumus,” while anthocyanin content increased in blackcurrants.

5. The probiotics “ProbioHumus” and “NaturGel” were found to be effective at low doses and can be recommended for the development of environmentally friendly agricultural technologies.

6. Systematic use of probiotics improved the agrochemical properties of soil in both farming systems. Under organic conditions, “ProbioHumus” increased total nitrogen by 26 %, nitrate nitrogen by 61 %, and organic carbon by 71 %. In conventional conditions, total nitrogen increased by 39 %, nitrate nitrogen by 50%, and organic carbon by 26 %, confirming its viability as a sustainable and eco-friendly practice that helps restore and maintain soil fertility.

MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS

Gavelienė. V.; **Šocik, B.**; Jankovska-Bortkevič, E.; Jurkonienė. S. Plant Microbial Biostimulants as a Promising Tool to Enhance the Productivity and Quality of Carrot Root Crops. Microorganisms. 2021, 9, 1850. DOI: 10.3390/microorganisms9091850

Mockevičiūtė, R.; Jurkonienė, S.; Gavelienė, V.; Jankovska-Bortkevič, E.; **Šocik, B**.; Armalytė, G.; Budrys, R. Effects Induced by the Agricultural Application of Probiotics on Antioxidant Potential of Strawberries. Plants. 2022, 11, 6. DOI: 10.3390/plants11060831

MOKSLO POPULIARINIMAS

Ignotienė, B.; Jurkonienė, S.; Gavelienė, V. Probiotikai gerina šakniavaisių kokybę. *Mano ūkis*. 2025, 02. 41-43

KONFERENCIJOS

Šocik, **B**.; Jurkonienė S., Gavelienė V. Effect of Probiotic Compositions on Growth, Antioxidant Activity and Productivity of Root Crops. “The COINS”, vasario 25-27 d., 2020, Vilnius, Lietuva

Šocik, B.; Jurkonienė, S.; Gavelienė, V.; Jankovska-Bortkevič, E. Effect of probiotic compositions on growth, antioxidant activity and productivity of beetroot. XII International Agriculture Symposium "AGROSYM 2021", spalio 7-10 d., 2021, Jahorina, Bosnija ir Hercegovina

Ignotienė, B. Microbial biostimulants boost productivity and quality of carrots and affect agrochemical soil properties. 13-oji tarptautinė jaunųjų mokslininkų konferencija “Agrisci 2024”, lapkričio 26 d., 2024, Vilnius, Lietuva

STAŽUOTĖS

“Summer School Greenhouse Horticulture” Olandija, Vageningeno universitetas, Rugpjūčio 26 – rugsėjo 6 d. 2019 m.

PADĖKA

Nuoširdžiai dėkoju savo vadovei dr. Sigitai Jurkonienei ir konsultantei dr. Virgilijai Gavelienei už jų neįkainojamą pagalbą mano disertacijos rengimo metu. Esu be galo dėkinga už jų nuolatinį palaikymą, paskatinimus bei tikėjimą manimi. Jų gilios žinios ir dalijimasis patirtimi ženkliai praplėtė mano supratimą apie augalų fiziologiją ir sustiprino mokslinio darbo prasmę. Šių mokslininkių profesionalumas ir įkvėpimas paliko neišdildomą pėdsaką mano akademiniame kelyje.

Taip pat reiškiu padėką Augalų fiziologijos laboratorijos kolegoms – už bendrystę, bendrus darbus, pasidalintas žinias ir kartu praleistas akimirkas, kurios suteikė šiam laikotarpiui ypatingą reikšmę.

Esu be galo dėkinga savo šeimai – už besąlygišką palaikymą, kantrybę ir tikėjimą manimi viso šio proceso metu.

Ypatingą padėką skiriu savo vyrui Rokui ir dukrelei Elzei – už jų meilę, paskatinimą ir buvimą šalia tiek džiugiomis, tiek sudėtingesnėmis akimirkomis. Jūsų parama buvo mano stiprybė ir motyvacija judėti pirmyn.

Be jūsų visų paramos, įkvėpimo ir tikėjimo manimi, šis pasiekimas nebūtų buvęs įmanomas.

GYVENIMO APRAŠYMAS

Išsilavinimas

2018-2025 – Gamtos tyrimų centras, doktorantūros studijos, ekologija ir aplinkotyra

2015-2017 – Varšuvos universitetas, magistro studijos, ląstelės ir organizmų biologija

2011-2015 – Vilniaus universitetas, bakalauro studijos, molekulinė biologija

Darbo patirtis

2023 iki dabar – biologė, Gamtos tyrimų centras, Vilnius, Lietuva

Tvaraus žemės ūkio tyrimai, probiotikų taikymas augalams Statistinių duomenų analizė naudojant R-studio, duomenų interpretavimas ir mokslinės ataskaitos, spektrofotometrija, HPTLC.

2017 07-09 – "Naos group", Split, Kroatija

Stažuotė ilgaamžiškumo ir odos atjauninimo komandoje: bioaktyvių molekulių poveikio odos sveikatai ir senėjimui analizė, natūralių ingredientų tyrimai kosmetikos srityje, dalyvavimas kuriant senėjimą lėtinančius produktus bei mokslinių procesų pažinimas kosmetikos ir biotechnologijų srityse.

2016 06-09 – "Biok", Vilnius, Lietuva

Stažuotė mokslo tyrimų ir plėtros laboratorijoje: kosmetikos preparatų ir ingredientų maišymas, odos priežiūros produktų laboratoriniai bandymai, kokybės kontrolė ir stabilumo testai. Darbas su laboratorine įranga laikantis geros laboratorinės praktikos (GLP) reikalavimų.

2014-2015 – laboratorijos technikė, NVSPL, Vilnius, Lietuva

Mėginių paruošimas ir tvarkymas laikantis griežtų higienos protokolų, mikroorganizmų auginimas ir izoliavimas naudojant selektyvias terpes, bakterijų, grybų ir kitų mikrobų identifikavimas biocheminiais metodais, antimikrobinio jautrumo tyrimai.

UŽRAŠAMS

UŽRAŠAMS

Vilniaus universiteto leidykla
Saulėtekio al. 9, III rūmai, LT-10222 Vilnius
El. p. info@leidykla.vu.lt, www.leidykla.vu.lt
bookshop.vu.lt, journals.vu.lt
Tiražas 15 egz.

144