



VILNIAUS UNIVERSITETAS
GYVYBĖS MOKSLŲ CENTRAS

Felicija Kvedaraitė

**Mitybinių substratų įtaka didžiojo milčio (*Tenebrio molitor*
L.) augimui**

Magistro baigiamasis darbas

Biologinės įvairovės studijų programa

Darbo vadovas

Dr. Gabrielė Bumbulytė-Žukevičienė

(parašas)

(studentės, parašas)

Darbas atliktas

VTI Gamtos tyrimų centro Cheminės ekologijos ir elgsenos laboratorijoje

Vilnius, 2026

Ivadas

Vis augantis gyventojų skaičius žemėje yra vienas aktualiausių šiuolaikinių globalių iššūkių, kuris iškelia tokias problemas kaip sparčiai auganti maisto paklausa (Verardi *et al.*, 2025). Manoma, jog jau iki 2050 metų pasaulio gyventojų skaičius viršys 10 milijardų, o maisto gamybą teks padidinti net 70 % (FAO, 2024).

Didėjant baltymų produktų kiekio poreikiui šiuo metu vienas pagrindinių šaltinių – gyvulininkystės auginimas. Tačiau masinis maistinių gyvūnų auginimas daro neigiama poveikį aplinkai, dėl sunaudojamo didelio vandens, energijos ir žemės kiekio, pavyzdžiui, norint išauginti kilogramą jautienos išnaudojama apie 100 l vandens. O atsižvelgiant į šiltnamio efektą sukeliančių dujų bei amoniako kiekį, kuris sukuriamas gyvūnų auginimo metu, tai vienas labiausiai prisidedančių sektorių (Agregán *et al.*, 2025). Šie iššūkiai sukuria problemas – vis prastėjančią žemės ūkio ir biologinės įvairovės padėtį (Hong *et al.*, 2020; Shafique *et al.*, 2021).

Tačiau istoriškai vabzdžių valgymas, kitaip entomofagija, žmonių mitybos praktikoje žinoma jau tūkstantmečiais, o tai patvirtina randamos fosilijos ir net piešiniai urvuose (Piras *et al.*, 2023). Entomofagija istoriškai labai svarbi praktika, Biblijoje rašoma jog skėriai, svirpliai ir žiogai įvardijami kaip tinkami valgyti. Jau net senovės Romoje vabalų lervos (ypač *Cossus genties*) ir skėriai buvo laikomi prabangiu delikatesu. O šiuo metu valgomų vabzdžių rūšių skaičiuojama net daugiau nei 2000 (Piras *et al.*, 2023). Deja Vakarų visuomenėje vabzdžių valgymas laikomas nepriimtinas ar keliantis šleikštulį (Olivadese & Dindo, 2023). Šiai dienai dėl savo didelio baltymų kiekio, lengvo auginimo bei greito gyvenimo ciklo didžiojo milčiaus (*Tenebrio molitor*) lervos tampa vis populiareniu vabzdžiu, kuris palengva įtraukiamas į žmonių ir gyvūnų mitybą. Vienas didžiausių žingsnių keičiantis požiūrį į vabzdžių valgymą, tai nuo 2021 m. birželio 1 d. Europos Komisijos įgalioto leidimo leidžiančio pateikti rinkai *Tenebrio molitor* lervas kaip naują maisto produktą (Europos Komisija, 2021).

Nepaisant to susiduriama su dar viena labai svarbia problema, tai su didėjančiu žmonių kiekiu žemėje ir kylančia maisto paklausa, vis daugiau pagaminama ir į aplinką išmetama šalutinių žemės ūkio, maisto bei gėrimų pramonės produktų (Raštu *et al.*, 2023). Vien Lietuvoje surenkama 214773,66 t augalinės maisto gamtinimo ir maisto produktų atliekų (Aplinkos apsaugos agentūra, 2022). Maisto atliekos, kurios patenka į sąvartynus ir nėra perdirbamos, kelia didelį pavojų dėl jų anaerobinio skaidymosi proceso metu išsiskiriančių metano medžiagų kiekio, kuris didina šiltnamio efektą (Forster *et al.*, 2021). O pasaulyje per metus sugeneruoja net apie 190 milijonų tonų šalutinių produktų. Anksčiau šie produktai buvo nevertinami ir laikomi nenaudingomis atliekomis, tačiau dabar žinoma jog žemės ūkio ir maisto pramonės produktai turi potencialą kaip didelės maistinės vertės ištekliai, bet vis dar

nepakankamai neišnaudojami (Raštu *et al.*, 2023). Šios priežastys skatina ieškoti novatoriškų alternatyvų, kurios padėtų spręsti žmonių maisto poreikio problemas, o vabzdžių auginimas galėtų tapti vienas tų sprendimų (Forster *et al.*, 2021).

Darbo tikslas: nustatyti antrinių žaliavų kaip mitybinių substratų įtaką didžiojo milčiaus (*Tenebrio molitor* L.) lervų augimui.

Uždaviniai:

1. Nustatyti 100 % antrinių žaliavų substratų tinkamumą *T. molitor* lervų auginimui
2. Naudojant skirtingus antrinių žaliavų substratus, nustatyti 25 % kviečių sėlenų priedo poveikį *T. molitor* lervų augimui.
3. Įvertinti alternatyvių vandens šaltinių poveikį *T. molitor* lervų augimui.

Turinys

Įvadas	2
1. LITERATŪROS APŽVALGA	5
1.1. Pasaulinis tvaraus maisto poreikis.....	5
1.2. Entomofagija ir jos istorija	6
1.2.1. Vabzdžių produktų įteisinimas ES.....	6
1.3. Didysis milčius (<i>Tenebrio molitor</i> L.).....	7
1.3.1. Biologija	8
1.3.2. Mitybos poreikiai	9
1.3.3. Didžiojo milčiaus maistinė vertė	10
1.4. Šalutiniai maisto ir gėrimų pramonės produktai	11
1.4.1. Kylantys atliekų pramonės iššūkiai	11
1.4.2. Žemės ūkio, maisto ir gėrimų pramonės atliekos	12
1.5. <i>Tenebrio molitor</i> ir šalutiniai gamybos produktai.....	15
1.5.1. Tyrimai Lietuvoje	16
1.6. Didžiojo milčiaus panaudojimas.....	17
1.6.1. Pašarai	17
1.6.2. Trąšos iš vabzdžių atmatų	17
2. MEDŽIAGOS IR METODAI	19
2.1. Tyrimo vieta, laikas ir eiga.....	19
2.2. Vabzdžių auginimas	19
2.3. Vandens šaltiniai ir jų paruošimas.....	21
2.4. Statistiniai analizė	23
3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS	24
3.1. Grynų (100 %) substratų įtaka lervų augimui	24
3.2. Mišinių (75 %) substratų įtaka lervų augimui.....	27
3.3. Lervų augimas skirtinguose vandens šaltiniuose laiko periode	31
IŠVADOS	36
LITERATŪROS SĄRAŠAS	39

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Pasaulinis tvaraus maisto poreikis

Gyventojų skaičius žemėje auga vis sparčiau, pagal Verardi et al., 2025, prognozuojama jog pasaulio gyventojų skaičiaus augimas iki daugiau nei 10 milijardų pasieks 2080 metais (Verardi *et al.*, 2025). Tačiau kiti šaltiniai teigia, jog žmonių prieaugis jau net 2050 metais siektu apie 8,7-10,8 milijardus. Pasakoje to iškeliamą problemą dėl maisto saugumo užtikrinimo. Siekiant išmaitinti 10 milijardų žmonių žemėje, tektu padidinti pasaulinę maisto gamybą net iki 70 %, bet vis prastėjant biologinės įvairovės padėčiai ir įvedant griežtesnius aplinkosaugos reikalavimus, tradiciniai žemės ūkio metodai, orientuoti į paprastą maisto gamybos didinimą, nebūtų pakankami norint išmaitinti tokį kiekį gyventojų. Taip pat nepaisant to, jog pasaulinė žemės ūkio gamyba net ir šiuo metu nuolat auga, tačiau bėdas išlieka opi problema iki šių dienų. 2023 metais nuo lėtinio bado kentėjo 713-757 milijonai žmonių, kas yra net 152 milijonais daugiau nei 2019 metais (FAO, 2024). Vis augantis gyventojų skaičius didina paklausą gyvulinės kilmės baltymų tokių kaip žuvies, vištienos, kiaulienos ir jautienos poreikį. Tačiau tradiciniai baltymų šaltiniai, kaip sojos ir žuvies miltai, jau dabar susiduria su kainos ir tiekimo apribojimais, todėl vis aktualiau tampa ieškoti aplinkai palankesnių alternatyvų, kurios būtų palankesnės aplinkai. Šiai dienai vabzdžių auginimas maistui tampa viena perspektyviausiu baltymų alternatyvų (Hong *et al.*, 2020; Shafique *et al.*, 2021).

Neatsiejama nuo augančio maisto poreikio yra ir tradicinės gyvulininkystės aplinkosauginė našta. Kalbant apie aplinkosauginį tvarumą, žinoma, jog masinis gyvulininkystės auginimas daro neigiamą poveikį aplinkai, dėl sunaudojamo didelio vandens, energijos ir žemės kiekio, o atsižvelgiant į šiltnamio efekto didinimą ir jį sukeliančias dujas bei amoniako kiekį, tai vienas labiausiai prisidedančių sektorių. Todėl, tai tampa vienas didžiausių *T. molitor* auginimo pranašumų. Didžiojo milčiaus lervų auginimas – reikalaujantis mažiau resursų, nei tradicinės gyvulininkystės auginimas. Atsižvelgiant į palyginimus kuriose didysis milčius lyginamas su jautienos ir vištienos auginimu rodo jog vandens pėdsakas kurį palieka vienai *T. molitor* lervų valgomai tonai yra apie 4341 m³/t, kas yra panašu lyginant su vištienos auginimu ir net 3,5 karto mažiau nei jautienos (Grau *et al.*, 2017). Taip pat Agregán *et al.*, 2025 tyrime palyginama vandens kiekis norint išauginti vieną kilogramą *T. molitor* produkcijos, reikia 30 litrų vandens, tačiau norint išauginti tokį pat jautienos kiekį reiktu daugiau nei 100 litrų vandens. Jei kalbant apie užimamą žemės plotą, vabzdžių auginimas vėl turi pranašumą, kadangi norint išauginti 1 kg baltymų *T. molitor* užima <50 m², jautienos auginimas net 250 m², kas yra net 200 m² skirtumas. Atsižvelgiant į šiuos auginimo aspektus, vabzdžių auginimas kaip alternatyvus baltymų šaltinis įgauna aiškų pranašumą tiek išteklių naudojimo, tiek aplinkosaugos atžvilgiu (Agregán *et al.*, 2025).

1.2. Entomofagija ir jos istorija

Istoriškai vabzdžių valgymas ir naudojimas žmonių mitybos racione yra viena seniausių praktikų, dar kitaip žinoma kaip entomofagija. Archeologų pagalba renkant archeologinius radinius nustatyta, jog vabzdžių įtraukimas į žmonių mitybos racioną buvo natūraliai paplitęs ir net seniau pradėtas nei žemdirbystė. Rastuose senovės Graikijos filosofo Aristotelio veikaluose rašoma apie tokių vabzdžių kaip cikadų valgymą, naudojimą mityboje ir net aprašomas jų skonis bei maistingumas. Tai rodo jo net ir senovės Romos raštuose aprašomi vabzdžiai kurie buvo laikomi kaip delikatesas. Kai kurios vabalų, skėrių ir net lervų rūšys laikytos ypač vertingomis (Olivadese & Dindo, 2023).

Šiai dienai žinoma jog tokiose šalyse kaip Azijoje, Lotynų Amerikoje ir Afrikoje entomofagija labai stipriai įsišaknijusi kultūrinėje tradicijoje. Šiose šalyse vabzdžiai naudojami netik kasdienės mitybos racione, bet ir neatsiejama nuo ritualų ar ceremonijų. Ryškus šiuolaikinės entomofagijos pavyzdys – Tailando gatvių maisto kultūra, kurioje kepti ir kitaip termiškai apdoroti vabzdžiai yra įprastas ir plačiai prieinamas maisto produktas, liudijantis apie giliai įsišaknijusias vabzdžių vartojimo tradicijas Pietryčių Azijoje (Olivadese & Dindo, 2023).

Deja istoriškai entomofagija Vakarų visuomenėje laikoma nepriimtina arba egzotiška praktika. Tai lėmė tokie istoriniai faktoriai kaip, indrulizacijos ir moderniosios maisto sistemos formavimosi metu įsivyravusi tradicinė gyvulininkystė, kuri išstūmė vabzdžius iš vartojimo mityboje ir taip ši praktika buvo išnaikinta iš Šiaurės Amerikos ir Europos valstybių. Todėl manoma jog šie istoriniai pokyčiai lemia kultūrinio ir psichologinio barjero priežastį, kuri trukdo vabzdžių vartojimo integracijai vakarų valstybėse (Olivadese & Dindo, 2023).

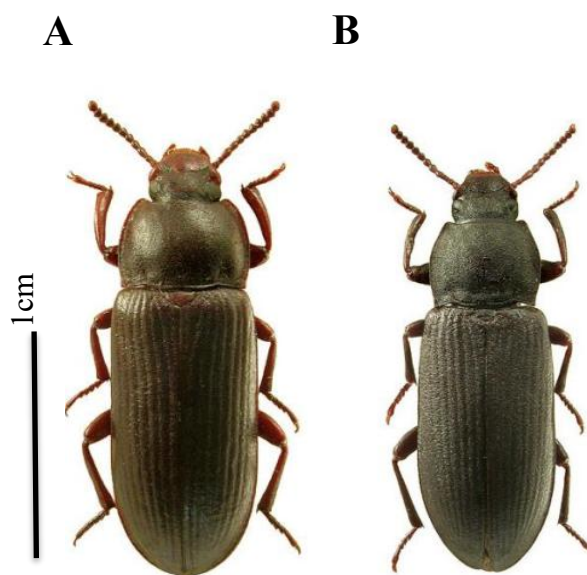
1.2.1. Vabzdžių produktų įteisinimas ES

Šiai dienai Vakarietiškoje valstybėse požiūris į entomofagiją po truputi keičiasi, nuo 2021 m birželio 1 d. Europos Komisija įgaliojo leidimą leidžianti pateikti rinkai *Tenebrio molitor* lervas kaip naują maisto produktą pagal Europos Parlamento ir Tarybos reglamentą (ES) 2015/2283 ir kuriuo iš dalies keičiamas Komisijos įgyvendinimo reglamentas (ES) 2017/2470. Europos Sąjungos oficialusis leidinys, L 194, 16-21. Taip pat šiame leidinyje nurodomos nustatytos leidžiamos medžiagos iš *T. molitor* didžiausi kiekiai nurodytuose maisto produktų kategorijose, tokiose kaip baltyminiai produktai, sausainiai, ankštinių augalų patiekalai ir makaronų gaminiai kuriuose 100 g produkto gali būti ne daugiau kaip 10 g džiovintos *T. molitor* lervos, nedalytos arba miltelių pavidalo (Europos Komisija, 2021). Taip pat įstatyme minima, jog prekės kuriose yra *T. molitor* lervų privalo būti pažymėtos jog gali sukelti alergines reakcijas žmonėms turintiems alergijas vėžiagyviams ir dulkių erkutėms.

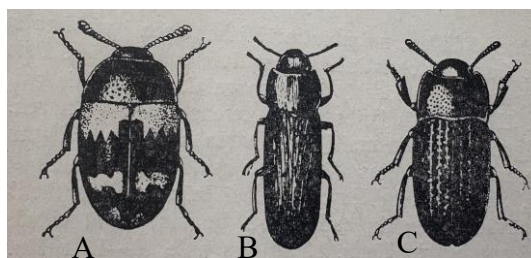
Šis reglamento įteisinimas, tai puikus žingsnis, galintis paskatinti platesnį vabzdžių integraciją į Vakarų visuomenių mitybos kultūrą (Kröger *et al.*, 2022).

1.3. Didysis milčius (*Tenebrio molitor* L.)

Nuo 2021 metų žmonių maistui ir gyvūnų pašarui vartojamas didysis milčius priklauso juodvabalių (Tenebrionidae) šeimai. Tačiau dėl vidutinio klimato juostos Lietuvoje juodvabalių, suskaičiuojama apie 20 rūšių (Pileckis, 1976). Dėl fiziologinių ir gyvenamosios aplinkos panašumų *Tenebrio molitor* gali būti maišomi su jiems labai artima rūšimi *Tenebrio obscurus*, todėl svarbu žinoti didžiojo milčiaus biologiją (Skrodenytė-Arbačiauskienė *et al.*, 2026).



1 pav. Suaugę vabalai A – *Tenebrio molitor*, B – *Tenebrio obscurus* (Hackso, 2023).



2 pav. Juodvabalių šeimos atstovai Lietuvoje, A – raštuotasis juodvabalis (*Diaperis boleti*), B – didysis milčius (*Tenebrio molitor*), C – smiltynų juodvabalis (*Opatrum sabulosim*) (Lešinskas, Pileckis, 1967)

1.3.1. Biologija

Tai sinatropiniai vabalai, kurie prisitaikę gyventi su žmogumi arba šalia žmogaus. Dažnai aptinkami senose medinėse trobose, po senais, atošusiais tapetais, malūnuose tarp grūdų ir miltų, tvartuose ar klėčiuose džiūvėsiuose, kviečių sėlenose. Taip pat jais minta bei slepiasi pajutę pavojų (Šablevičius, 2011).

Suaugėlio vabalo kūnas pasižymi juoda ar tamsiai ruda spalvomis bei riebiu blizgesiu, kūno apačia ruda. Antenėlės bei kojos rudos spalvos. Užpakalinės kojos pirmas narelis beveik tokio pat ilgio kaip antras ir trečias nareliai kartu sudėjus. Galva neįtraukta į prieš nugarėlę. Antsparniai išmarginti ilgomis lygiagrečiomis taškuotomis vagelėmis, o plėviniai sparnai gerai išsivystę. Skydelis yra penkiakampės formos ir platesnis negu ilgas (skersinis). Priešnugarėlės pamatas su dvejomis taškuotomis duobutėmis apie 14-16 mm (Lešinskis, Pileckis 1967).

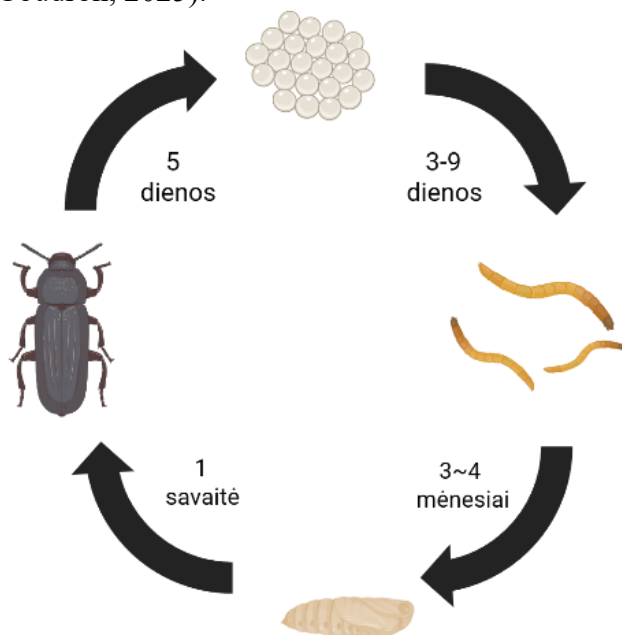
***Tenebrio molitor* lervos** išsiritimo laikotarpis iš kiaušinėlio gali trukti nuo 4 iki 19 dienų. Lervos gyvenimo pradžioje būna šviesiai gelsvos, baltos spalvos, vėliau šviesiai geltonos ir baigiant vystytis lervos stadijoje – geltonai rudos, iki 30 mm ilgio, kietos, beveik plikos, tačiau turi keletą plika akimi sunkiai įmatomus plaukelius. Galinis pilvelio segmentas siauras, apginkluotas dviem trumpais nukrypusiais į viršų spygliukais (Hill, 2002). Taip pat pilvelio apačioje yra dvi mažytės karpelės. Kūnas laibas su šešiomis kojomis. (Lešinskis, Pileckis 1967). Optimaliausia vystymuisi temperatūra 25-30 °C (Podlesnik, 2025).



3 pav. *Tenebrio molitor* L. lėliukė (A), suaugėlis (B) ir lerva (C) (Coudron, 2025).

Lėliukės stadijoje, tampa baltos, kremiškos spalvos, nejudrios, tačiau turi minkštą egzoskeletą. Taip pat lėliukės stadijos metu jos neturi nei burnos nei analinės angos. Kadangi šioje stadijoje lėliukės nejudrios ir negali apsiginti rekomenduojama kas savaitę ar dažniau atskirti ir izoliuoti nuo lervučių, kad jų nesugriaužtu. Ši stadija trunka apie 5-7 dienas, tačiau priklausomai nuo aplinkos sąlygų ir temperatūros gali užsitęsti iki 18-20 dienų (Coudron, 2025).

Kiaušinėlių stadija pati trumpiausia iš visų kitų *T. molitor* vystymosi stadijų, kuri trunka apie 3-9 dienas, esant optimaliausiai perėjimosi temperatūrai 25 °C. Perėjimosi laikotarpis gali skirtis priklausomai nuo aplinkos sąlygų ir temperatūros. Optimaliausia temperatūra kiaušinėlių dėjimui yra tarp 26 ir 29 °C, o santykinė oro drėgmė turėtų siekti apie 60-75 %. Pačius kiaušinėlius gali būti sunku pastebėti, tai labai maži, balkšvos spalvos, lipnus, pupelių formos grūdeliai, kurių ilgis siekia apie 1,5 mm. Labai svarbu auginimo metu kiaušinėlius atskirti nuo suaugusių vabalų, kad jų nesusėtų, kadangi pasižymi kanibalizmu (Coudron, 2025).



4 pav. *T. molitor* gyvenimo ciklas. Apytikslis laikas, kurį jie praleidžia kiekviename etape, nurodytas rodykle šalia jų paveikslėlio. Pateiktas laikas yra 27 °C temperatūroje, bet gali skirtis priklausomai nuo aplinkos sąlygų ir naudojamo pašaro (autorės schema).

1.3.2. Mitybos poreikiai

Tenebrio molitor mityba susideda iš dviejų skirtingų pašarų mityboje, tai sauso pašaro dalies, kuris yra pagrindas šios dietos ir drėgna pašaro dalis, kuri taip pat neatsiejama nuo didžiojo milčiaus mitybos raciono ir užtikrina reikiamą mikroelementų bei vandens šaltinių kiekį (Rho & Lee, 2016).

Komercinio masto auginime bei moksliniuose tyrimuose *T. molitor* dažniausiai kaip kontrolinis pašaras naudojamos kviečių sėlenos. Pagrindinė to priežastis, kad tai yra pagrindinis vitaminų ir makroelementų šaltinis. Viename atliktame tyrime sakoma, jog apskaičiavus dieta, kuri sudaryta iš 48 % kviečių sėlenų ir pridedant 52 % morkų kaip vandens šaltinis, sėlenos suteikia 88 % procentus virškinamosios energijos ir net 90 % baltymų (Coudron, 2025).

Taip pat labai svarbios ir fizinės savybės, kadangi lervos ir suaugėliai vabalai turi polinkį raustis, labai svarbus yra pašaro rupumas ir konsistencija. Vabalai tame pačiame pašare deda kiaušinius, o

lervos rausiasi norinčios pabėgti ar sureguliuoti drėgmės kiekį. Taip pat svarbu paminėti, jog mažesnės pašaro dalelės skatina lervų vystymąsi, todėl substrato dalelės turėtų būti ne didesnės nei 2 mm (Coudron, 2025).

Drėgmei siekiant 40-85 %, didžiojo milčiaus lervos sugeba drėgmę absorbuoti iš oro, tačiau norint pasiekti optimalų svorio ir augimo greitį, būtina pateikti tiesioginius vandens šaltinius. Todėl kaip vandens šaltiniai dažniausiai naudojamos šviežios daržovės, tokios kaip morkos ir bulvės, supjaustytos į griežinėlius. Taip pat, tai svarbu ne tik dėl vandens, bet ir dėl visavertės mitybos, vitaminų bei mikroelementų užtikrinimo, taip patenkinama vabzdžių mitybinius poreikius. Rekomenduojama drėgną pašarą tiekti nedideliais kiekiais, atsižvelgiant į lervų proporcinį masės svorį, maždaug kas 4 dienas, kad būtų spėta suvartoti iki jam sugendant (Coudron, 2025).

1.3.3. Didžiojo milčiaus maistinė vertė

Agregán *et al.*, 2025 darbe buvo lyginamos *Tenebrio molitor* lervos, kaip baltymų šaltinis ir iš jų gaunamas baltymų kiekis 100 g. *T. molitor* lervutės buvo lygintos su kiauliena, jautiena ir vištiena. Tyrimo metu nustatyta jog *T. molitor* lervos 100 g turi 25 g baltymų, kas yra daugiau lyginant su kitais baltymų šaltiniais. Pavyzdžiui 100 g vištienos krūtinėlėje yra 21,5 g baltymų, jautienos nugarinėje (20,1 g/100 g), o kiaulienos mentės išpjovoje (16,9 g/100 g). Taip pat šių vabzdžių baltymai pasižymi nepakeičiamųjų aminorūgščių rinkiniu, o tokių kaip leucino, izoleucino ir lizino kiekiai labai panašūs lyginant su kitais mėsos gaminiais. Pavyzdžiui, milčių leucino koncentracija siekia (14 mg/g), tačiau kiaulienos mentėje tik šiek tiek daugiau (14,3 mg/g), o jautienos nugarinėje (16,8 mg/g) (Agregán *et al.*, 2025). Taip pat labai įdomu tai, kad *T. molitor* lervų pašarai suteikia maistinių skaidulų ir vitamino C, tačiau gyvūninės kilmės produktuose šių medžiagų visai nėra (Orkusz, 2021). Dar viename straipsnyje minima, kad taip pat gausu geležies, cinko, magnio, B grupės vitaminų, ypač pabrėžiama B₁₂ grupės vitaminų gausa (Grau, 2017).

Didžiojo milčiaus lervos pasižymi ir naudingais riebalais. Jose be gausaus baltymų kiekio, dominuoja ir tokios riebalų rūgštys kaip oleinas (omega-9) ir linolis (omega-6) kurie kartu sudaro ir didžiąją riebalų masės dalį. Svarbu tai, kad šios riebalų rūgštys pasižymi mažesniais aterogeniškumo ir trombogeniškumo indeksais, kas parodo jog šių vabzdžių įtraukimas į mitybą yra palankus kraujagyslių ir širdies sveikatos atžvilgiu lyginant su kitomis gyvūninės kilmės riebalų šaltinio rūšimis. Taip pat gausu ir kitų riebalų rūgščių tokių kaip laurino rūgštis, dėl savo vidutinės riebalų rūgšties grandinės yra lengviau panaudojama energijai, taip pat savo turimų antimikrobinių savybių pagalba gali teigiamai veikti žarnyno mikrobiotą. Dar gausiai randama kitaip vadinamos nepakeičiamosios penta-dekano rūgšties, ji pasižymi kaip ir anksčiau minėtoms rūgštims padedančiomis išvengti širdies ir kraujagyslių ligų, taip pat imuninių medžiagų apykaitos ir kepenų ligoms. Svarbu paminėti jog riebalų

kiekis priklauso ir nuo lervų mitybos, tačiau be jos svarbų vaidmenį perima ir perdirbimo technologijos. Nustatyta, jog naudojant impulsinį elektrinį lauką (apie 5 kJ/kg), taip galima padidinti nesočiųjų riebalų išeigą ir taip išsaugoti didesnę polinesočiųjų riebalų kiekį perdirbant *T. molitor* lervas (Bogusz, 2024).

Kaip ir dauguma maisto produktų neišvengiama ir alergenų galimybė. Apibrėžime alergija maistui įvardijama kaip imuninė reakcija į baltymus, gaunamus su maistu. Todėl vienas iš svarbių aspektų, vertinant *Tenebrio molitor* panaudojimą maistui ir pašarams, yra galimos alerginės reakcijos. Viena tyrime, ištyrus didžiojo milčiaus baltymus, nustatyta, kad žmonės, kurie pasižymi alergijomis dulkių erkutėms ir vėžiagyviams, organizme esančiais IgE antikūniais gali kryžmiškai susijungti su *T. molitor* baltymais ir sukelti alerginę reakciją. Šios kryžminės reakcijos reikšmė parodo, jog tų asmenų imuninė sistema neatpažįsta skirtingų, bet struktūriškai panašių baltymų ir taip sukelia alerginę reakciją. Labai svarbu paminėti, kad tyrimas įrodė, jog šis kryžminis jautrumas yra funkcinė reakcija, nes milčių baltymai sukelia bazofilų aktyvaciją, tai patvirtina realią alerginės reakcijos galimybę. Be to, nustatyta ir vidutinis baltymų stabilumas po termiško apdorojimo ir virškinimo veikiant fermentui pepsinui, kas parodo išliekančią galimybę baltymams jungtis prie IgE antikūnio ir sukelti alerginę reakciją. O kalbant apie reakcijų stiprumą, straipsnyje minima, jog simptomai gali svyruoti nuo lengvų formų iki gyvybei pavojingų, tokiu kaip anafilaksinio šoko. Todėl maisto produktuose, kuriuose yra *T. molitor* pėdsakų turi būti žymėjimas įspėjantis, dėl galimų alerginių reakcijų (Verhoeckx, 2014).

1.4. Šalutiniai maisto ir gėrimų pramonės produktai

1.4.1. Kylantys atliekų pramonės iššūkiai

Su didėjančių žmonių kiekiu žemėje ir kylančia maisto paklausa, vis daugiau pagaminama ir į aplinką išmetama šalutinių žemės ūkio ir maisto pramonės produktų. Šalutiniai produktai – tai žemės ūkio ir maisto bei gėrimų pramonės medžiagos susidarancios perdirbimo etapuose. Ankščiau šie šalutiniai produktai buvo laikomi atliekomis ir nepanaudojami, tačiau dabar jie vertinami kaip potencialą turintys didelės maistinės vertės išteklių, bet nepakankamai neišnaudojami. Labiausiai šalutinius produktus vertina, dėl jų bioaktyvių junginių, kurie pasižymi biologiniu poveikiu organizmams ir teikia specifinę naudą. Kasmet žemės ūkio ir maisto bei gėrimų pramonės, pasaulyje sugeneruoja apie 190 milijonų tonų šalutinių produktų (Raštu *et al.*, 2023).

Ne išimtis ir Lietuvoje, remiantis Aplinkos apsaugos agentūros atliekų susidarymo ir tvarkymo duomenimis, maisto pramonės šalutinių produktų ir atliekų susidarymo kiekis Lietuvoje keliantis ne-

rimą ir patvirtinantis opų aplinkosaugos iššūkį organinių atliekų valdymo srityje. Atsižvelgiant į surinktus Aplinkos apsaugos agentūros atliekų susidarymo ir tvarkymo duomenimis, Lietuvoje nuo 2018 metų iki 2021 metų iš viso buvo surinkta net 214 773, 66 t augalinės maisto gaminių ir maisto produktų atliekų (statistinis kodas 09.22). Kasmet surenkamas atliekų kiekis skiriasi, tačiau išlieka panašus ar net didėjantis: 2018 metais surinkta 47 759,97 t, 2019 metais – pakyla iki 62 806,17 t, 2020 metais kiekis sumažėjo iki 45 747,91 t, o 2021 metais vėl išaugo iki 58 459,62 t. Labai svarbu tai, kad iš surinktu 214 773, 66 t tik apie 48 121,49 t buvo perdirbta ir tik labai mažas kiekis, 5 420,22 t – kitaip panaudotas. Atsižvelgiant į šiuos duomenis matyti, kad didesnė dalis – apie 75 % surinktų atliekų nebuvo, efektyviai panaudota ar perdirbta, kas sudaro daugiau nei 161 000 t organinės medžiagos, kurias būtų galima panaudoti, nes šios surinktos organinės medžiagos sudarytos iš skirtingų atliekų grupių, priklausančioms kelioms skirtingiems rūšių srautams kaip, augalų audinių atliekos, žaliavų plovimo ir smulkinimo metu susidariusios liekanos, separavimo ir filtravimo dumblas bei medžiagos, kurios pripažintos netinkamomis vartoti ar perdirbti pagal įprastines technologijas (Aplinkos apsaugos agentūra, 2022). Taip pat svarbu pabrėžti, kad remiantis leidiniu *The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks and Climate Sensitivity*, maisto pramonės ir augalinės kilmės organinės atliekos, kurios patenka į sąvartynus ir nėra perdirbamos, kelia reikšmingai didelį pavojų aplinkosau-gai dėl anaerobinio skaidymosi proceso metu išsiskiriančių metano (CH₄) medžiagų. Šioje ataskaitoje rašoma, jog metanas yra antras pagal svarbumą antropogeninis šiltnamio efektą sukeliantis veiksnys po gerai žinomo anglies dioksido. Taip pat svarbu pabrėžti, kad anksčiau manyta, jog metano poveikis šiltnamio efektui yra mažesnis, tačiau patikslinus mokslinius duomenis, nustatyta jog metano poveikis šiltnamio efektui yra maždaug 25 % didesnis, nei anksčiau buvo manyta, kas rodo jo daroma didelį žalą aplinkai (Forster *et al.*, 2021).

1.4.2. Žemės ūkio, maisto ir gėrimų pramonės atliekos

Kaip jau minėta, šiai dienai šalutiniams produktams skiriama vis daugiau dėmesio, dėl maistinės vertės kiekio (Raštu *et al.*, 2023). Viena gausiausių pramonų kurios generuoja tonas maistingų ir vertingų atliekų, tai alaus pramonė - alaus gamybos likučiai, kurie sudaro net 85 % visų alaus gamybos atliekų (Neylon *et al.*, 2023). Šios alaus žaliavos kupinos fenolinių rūgščių, tai hidroksicinamatai, kurie pasižymi vėžį slopinančiomis, priešuždegiminėmis ir antioksidantinėmis savybėmis (Ikram *et al.*, 2017). Visame pasaulyje kas metus pagaminama apie 36,4 mln. tonų alaus gamybos likučių, tačiau labai svarbu, tai kad viena tona, patekusi į sąvartyną ir neperdirbta, į aplinką išskiria net 513 kg CO₂ (Neylon *et al.*, 2023). Tačiau maistine verte kupinos angliavandenių kurie sudaro net 60 % iš kurių net 50 % yra skaidulos, 10 % lipidų ir net 30 % baltymų (Ikram *et al.*, 2017). Dėl savo didelio

baltymų kiekio alaus gamybos žaliavos pasižymi labai svarbiu aspektu *T. molitor* auginime, tai efektyvi biokonversija, kurios dėka lervų augimo masė greitesnė, o pačios lervutės didesnės ir riebalų kiekis mažesnis (Vrontaki *et al.*, 2024)

Taip pat kasmet reikšmingus kiekius antrinių žaliavų pagamina ir distiliavimo pramonės gamyklos. Šios pramonės gamyklos kasmet pagamina net tik kietu pavidalu žaliavų likučius, bet ir skystų frakcijų. Pavyzdžiui, šalutiniai produktai iš vyndarystės kupini svarbių antioksidantų kiekiu, tokių kaip polifenoliai, flavonoidai, kondencuoti taninai. Taip pat aptinkama ir daugybė polinesočiųjų riebalų rūgščių, kurių profilis pasižymi žemu prisotintų ir aukštu neprisotintų riebalų rūgščių kiekiu, o tai rodo jų aukštą maistinę vertę (Brai *et al.*, 2023).

Kaip žinoma, avižos yra vienos maistingiausių grūdinių augalų. Avižų nauda pasižymi jų išskirtinėmis maistinėmis savybėmis, kadangi jos praturtintos baltymais, kurie sudaro apie 12-20 %, skaidulų apie 10-40 % ir riebalų 5-9 %. Taip pat pasižymi β -gliukanų, tai tirpios skaidulos, kurios gerina cholesterolio apykaitą ir mažina širdies ligų riziką bei turi mikroelementų, tokių kaip fosforas, cinkas ir magnis (Kröncke & Benning, 2022). Svarbu paminėti tai, jog fermentacijos metu kuomet gaunami avižų antrinių žaliavų likučiai, jos praturtėja organinėmis rūgštimis ir probiotiniais mikroorganizmais. O dėl šiuolaikinių technologijų ir sezoniškumo sudaro pastoviai prieinamą antrinės žaliavos šaltinį (Vrontaki *et al.*, 2024).

Taip pat kasmet pasaulyje pagaminama apie 6 mln. tonų kavos šalutinių produktų, iš kurių kavos pupelių lukštai sudaro reikšmingą dalį. Kavos perdirbimo metu susidaro kavos pupelių lukštų sankaupos, kurios sudaro net 42 % visos kavos pupelių masės dalies. Tačiau kavos pupelių lukštuose kupina maistinių medžiagų, didžiąją dalimi, tai angliavandeniai, kurie gali sudaryti net iki 85 %, taip pat riebalai, baltymai ir net mineralai. Lukštai praturtinti ir tokiomis medžiagomis kaip natūralūs antioksidantai, tokie kaip vitaminas C, polifenoliai ir antocianinai (Sulastri *et al.*, 2022).

Nemažiau vertingų maistinėmis medžiagomis praturtintų žaliavų pagaminama ir vaisių pramonėje. Visame pasaulyje kasmet pagaminama apie dešimtys milijonų tonų obuolių išspaudų. Gaminant obuolių sultis ar sidrą gaunamos obuolių išspaudų antrinės žaliavos, kurios sudaro 25 % perdirbamų obuolių svorio, taip sudaromas milžiniškas antrinių žaliavų srautas visame pasaulyje. Tačiau šios žaliavos praturtintos gausiomis skaidulomis, pektiniais ir mikrokomponentais, tokiais kaip polifenoliai ir lipidų bioaktyvūs junginiai, kurie pasižymi priešuždegiminėmis savybėmis. Obuolių žievelės sudaro didžiausią dalį antrinės žaliavos, kuri yra pagrindinis antioksidantų šaltinis, kupinas tokiu medžiagų kaip flavonoliai, dihidrochalkonai, kvercetino glikozidai ir floridzinas, taip šiomis medžiagomis padeda apsaugoti ląsteles nuo pažeidimų, kadangi jos pasižymi antioksidaciniu aktyvumu (Tsoupras *et al.*, 2024).

Taipogi Europoje labai paplites aviečių auginimas, dėl jų plataus panaudojimo. Pagrindinės aviečių perdirbimo pramonės – kosmetikos gamybos, maisto ar gėrimų, tokiu kaip sulčių ar džemų, ir

dažiklių įmonės. Kasmet sukuriamas didelis kiekis aviečių antrinių žaliavų, kurios susideda iš tokių komponentų kaip minkštimo liekanos, sėklos ir žievelės. Tačiau aviečių antrinės žaliavos pasižymi ir naudingomis medžiagomis, kaip antocianinai, elagotaninai, kvercetinai ir kiti fenolinų junginiai. Visi šie junginiai pasižymi stipriu antioksidaciniu aktyvumu. Taip pat avietėse gausu ir polinesočiųjų riebalų rūgščių, ypač omega-3, omega-6 ir net vitamino E. Dėl šių savybių aviečių antrinės žaliavos yra patonciali žaliava, galinti praturtinti maisto pašarus (Kotsou *et al.*, 2024).

O Italija, Prancūzija ir Ispanija yra pagrindinės vyno pramonės tiekėjos. Kasmet pasaulyje pagaminama apie 9 mln. tonų vynuogių išspaudų. Tai pagrindinė vyno pramonės antrinė žaliava, sudaryta iš 20-30 % visų perdirbamų vynuogių, kurią sudaro sėklų ir minkštimo likučių. Šios žaliavos pasižymi kaip gausus polisacharidų, tokių kaip neutralių polisacharidų ir pektino rūgščių produktų – šaltinis, taip pat turi tokių medžiagų kaip polifenoliai, kondensuoti taninai, ligninas ir baltymai. O luobelėse, kurios sudaro net pusę išspaudų masės dalies, kupinos baltymų, cianidino, malvidino ir delfinidino. Taip šios išspaudos įrodo turinčios sveikatą gerinančias savybes, priešūždegiminį poveikį ir gebėjimą apsaugoti nuo širdies ligų. (Gómez-Brandón *et al.*, 2024).

Be vaisių pramonės gaunamų žaliavų, daržovės ir jų perdirbimo pramonės taip pat puikus žaliavų šaltinis. Žinoma jog burokėliai plačiai naudojami perdirbtiems maisto produktams, pavyzdžiui, sultims arba jau paruošti, marinuoti ar kaip kitaip perdirbti patiekalams, gaminti. Tačiau paruošimo metu lupenos ir išspaudos, kurios susidaro kaip atliekos, gali būti naudojamos didelės vertės maistinėms medžiagoms arba bioaktyviems komponentams išgauti. Burokėlių išspaudos jau dabar plačiai naudojamos kaip pašaras gyvuliams (Vulić *et al.*, 2014). *T. molitor* auginime burokėlių išspaudos kaip pašaras praturtintu jų mityba dėl ekstrakto esančių fenolio rūgščių, flavonoidų ir betalainų, kurie pasižymi stipriomis antioksidacinėmis ir hepatoprotekcinėmis savybėmis (Beals, 2019).

Viena plačiausiai ir dažniausiai naudojamu daržovių visame pasaulyje, bulvės. Net *T. molitor* lervų auginime bulvių griežinėliai naudojami kaip vandens šaltiniai (Rumbos *et al.*, 2020). Iš bulvių pramonėje gaminamų produktu proceso metu lieka daugybe atliekų – lupenos, tai dažniausias bulvių šalutinis produktas. Tačiau lupenose kupina fenolio junginių, kurie turi žinomą poveikį sveikatai, taip pat bulvių lupenos yra gausus bioaktyviųjų junginių, daugiausia tokių kaip fenolio rūgščių ir glikoalkaloidų (Beals, 2019). Tačiau tyrime rašoma jog žalių, daigintų ar paveiktų, pažeistų mechanškai, šviesos poveikio ar netinkamų laikymo sąlygų bulvių lupenose susidaro pavojingi kiekiai glikoalkaloidų. Šios medžiagos perteklius nuodingas žmonėms (Vrontaki *et al.*, 2024). Taip pat kaupiasi lervų organizme, todėl turėtų būti naudojamos atsargiai (Jankauskienė, 2024).

O vienas seniausių paplitusių pramoninių mikroorganizmų, naudojamų fermentacijos produktų gamyboje – mielės. Dažniausiai naudojamos duonos, alaus ar vyno fermentacijoje, tačiau pramonės kasmet sukuria didžiulius kiekius mielių, kurios išmetamos, nors yra vertinamos kaip vertingi šalutiniai produktai. Meilės vertinamos dėl didelio baltymų kiekio, gausių aminorūgščių ir plataus vitamino

B grupės vitaminų (B1, B2, B6, B12 ir folio rūgšties). Taipogi mielėse randama ir mineralų, kaip cinkas, chromas, selenas ir kalis. (Riaz et al., 2023). Dėl šių savybių mielės vertinamos kaip puikus baltymų šaltinis ir dažnai naudojamas kaip priedas įvairiose maisto produktuose ar net gyvūnų pašaruose, taip juos praturtinant papildomu baltymų kiekiu. (Kröncke & Benning, 2022).

1.5. *Tenebrio molitor* ir šalutiniai gamybos produktai

Tyrimai su *Tenebrio molitor* lervomis ir kaip įvairūs mitybiniai substratai iš antrinių žaliavų daro įtaką jų išgyvenamumui, atliekami visame pasaulyje. Pavyzdžiui Lienhard *et al.*, 2023 savo tyrime rašė apie atliktą tyrimą su *T. molitor* lervomis, kurio metu buvo vertinamas lervų masės prieaugis ir išgyvenamumas šeriant 29 skirtingų vietinių maisto pramonės šalutinių produktų ir likučių pašarais. Tyrėjai nustatinėjo ne tik masės prieaugį ir išgyvenamumą, bet ir lervų vystymosi trukmę iki lėliukės stadijos bei pačių vabalų reprodukcines galimybes. Tyrimo rezultatai parodė jog tinkamiausiais maisto substratais buvo tinkamai paruoštos slyklos likučių žaliavos, kuri užtikrino net 99 % išgyvenamumą, didelį masės prieaugį lyginant su kontrole (kviečių sėlenos) ir trumpą vystymosi laikotarpį. Taip pats pasiteisino ir lervos augusios saldžiosios bulvės bei valgomojo kaštainio substratuose kuriuose išgyvenamumas buvo atitinkamai 76 % ir 69 %.

Tačiau net 14 substratų nepasiteisino dėl per didelio skaidulų kiekio, maistinių medžiagų disbalanso arba sudėtyje turėjo vabzdžiams kenksmingų medžiagų junginių, veikiančių kaip natūralūs pesticidai ir taip išsaukė didelį mirtingumą. Dažniausiai pasitaikė tokiose substratuose kaip kavos tirščiai, šiaudai ir česnakų luobelės. Taip pat tyrimo pabaigoje pabrėžiama jog lervoms labai svarbus anglia-vandenių ir baltymų kiekis mitybiniame substrate (Lienhard *et al.*, 2023).

Kitame tyrime bandė nustatyti tinkamiausius vandens šaltinių pakaitalus iš daržovių atliekų, tokių kaip agurkai ir pomidorai, kokį poveikį daro didžiojo milčiaus (*Tenebrio molitor*) lervoms atsižvelgiant į jų augimo rezultatus. Tačiau šį kartą tiriamosios lervos buvo 45 dienų amžiaus, maitintos kviečių sėlenomis ir 6 savaites stebėtas jų pokytis. Kontroliniu vandens šaltiniu buvo purškiamas vanduo, o tiriami šaltiniai agurkai ir pomidorai iš ekologinių ir tradicinių ūkių. Tyrimo pabaigoje nustatyta jog lervos kurioms duota vandens šaltinio papildymas agurkų ir pomidorų atliekomis buvo itin sėkmingas ir lervų svoris beveik padvigubėjo lyginant su kontrole, jos tapo vidutiniškai 15 % ilgesnės, o bendras auginimo laikas sutrumpėjo 3-4 savaitėmis. Taip pat pasikeitė ir pačių lervų maitinė sudėti, baltymų kiekis pasiekė 50 %, o polinesočiųjų riebalų rūgščių kiekis padidėjo net iki 22-37 %. Svarbu ir tai, kad daržovių kilmė ar iš ekologinio ar tradicinio ūkio statistiškai reikšmingos įtakos lervų rezultatams nepadarė (López-Gámez *et al.*, 2024).

Dar viename tyrime aprašomas eksperimentas kuriame tirtos *Tenebrio molitor* lervos buvo maitintos 8 skirtingais (kviečių sėlenas, kviečių vidurines frakcijas, ryžių sėlenas, kanapių išspaudas,

margainio išspaudas, alaus žlabus, pomidorų išspaudas ir vynuogių išspaudas) agropramoniniais mitybiniais substratais. Kontroliniu pašaru pasirinktos kviečių sėlenos ir su jomis lyginti substratai. Geriausiai tyrime pasiteisino kanapių išspaudų substratas, kuris išsiskyrė dideliu baltymų kiekiu ir praporiškai subalansuotu skaidulų kiekiu, kurie lėmė greitesnį lervų augimą. O kviečių sėlenos ir kviečių šalutiniai produktai pasiteisino trumpiausiu lervų vystymosi laikotarpiu ir mažiausiu *T. molitor* lervų mirtingumu tyrimo metu. Tačiau lervos augusios ryžių sėlenose dėl nesubalansuoto angliavandenių ir lipidų santykio pašare, lėmė didžiausią mirtingumą (virš 51 %). Taip pat visų lervų baltymų sudėtis išliko tokia pati (nuo 17,9 % iki 19,9 %) visose grupėse, kas rodo vabzdžių gebėjimą išlaikyti biocheminę homeostazę (Trevisanato *et al.*, 2026).

1.5.1. Tyrimai Lietuvoje

Viename iš Lietuvoje atliktų tyrimų, kuriame tirtos *T. molitor* lervos buvo maitinamos 4 skirtingais variantais ir lyginama su kontrole, norint išsiaiškinti, koks ūkio ir pramonės atliekų poveikis didžiojo milčiaus lervoms, taip kuriant žiedinę ekonomiką. Kiekvienas testuotas pašaras sudarytas iš sausos pašaro dalies, papildant šlapia pašaro dalimi (drėgmės šaltinis). Kontrolinis pašaras sudarytas iš kviečių sėlenų, papildant sausomis alaus mielėmis, drėgmės šaltinis – agaras (10 g/l). Pirmasis tirtas variantas sudarytas iš kviečių sėlenų, papildant alaus mielėmis, drėgmės šaltinis – sudrygusios žalios bulvės, antrasis sudarytas iš kviečių sėlenų papildant alaus mielėmis, drėgmės šaltinis – morkos ir trečiasis variantas alaus gamybos atliekos papildant alaus mielėmis, drėgmės šaltinis – morkos, taip pat visos sauso pašaro dalys maišytos santykiu (9:1). Tyrimas pasiteisino iš dalies kadangi jis nutrauktas 56 dieną, tačiau lervutės augo. Tyrimo pabaigoje lervos liofilizuotos, sutrintos, taip ištirta lervų sudėtis ir pastebėta, kad jų kūnuose kaupėsi glikoalkaloidai. Tai natūrali bulvinių augalų medžiaga, leidžianti jiems apsiginti nuo kenkėjų, tačiau toksiška žmonėms. (Jankauskienė, 2024). Bei lėtina lervų vystymąsi ir maisto suvartojimą (Spochacz, 2018). Lyginant kontroliniu šaltiniu maitintomis lervomis su lervomis, augintomis ant žalių bulvių, pastarosiose nustatyta net tris kartus didesni kaupimasi α -solanino nei pačiame substrate, o bendras glikoalkaloidų kiekis 317,87 mg/kg. EFSA pripažįsta 200 mg/kg kaip saugią ribą, o Šiaurės šalyse rekomenduojama neviršyti 100 mg/kg ribos (Jankauskienė, 2024).

1.6. Didžiojo milčiaus panaudojimas

1.6.1. Pašarai

Nuolat augantis augintinių pašarų sektorius priverčia ieškoti tvaresnių baltymų šaltinių, kurie pakeistu įprastus gyvūninės kilmės baltymus. *Tenebrio molitor* lervų miltai tampa vis plačiau naudojami dėl savo maistinių medžiagų savybių. Todėl Zhang *et al.*, (2024) atliktame tyrime lygino šešių skirtingų baltymų šaltinių (žuvų miltų, mėsos ir kaulų miltų, kukurūzų glitimo miltų, sojos miltų, *T. molitor* miltų ir mielių ekstrakto) daroma įtaką energetinės vertės ir maistinių medžiagų virškinimui šunų pašaruose. Tyrimo rezultatai parodė, *T. molitor* pasižymėjimą aukščiausiu žaliųjų baltymų kiekiu, taip pat išsiskyrė esminių aminorūgščių koncentracija, tačiau nepaisant aukštesnių baltymų kiekio tirti šunys juos įsisavino prasčiau nei kitų tirtų šaltinių, tai siejama su vabzdžiuose esančiu chitinu, kuris galėjo trukdyti įsisavinti medžiagas (Zhang *et al.*, 2024).

Komercijoje kiauliena ir broileriai maitinami sojų ir žuvų miltais, tačiau norint rasti alternatyva šiems pašarams ir pagerinti auginamų gyvūnų savybes, buvo atliktas tyrimas, kurio metu tirtos *T. molitor* lervos ir jų įtaka augimo rodikliams. Tyrimo metu *T. molitor* lervos pasirinktos dėl savo aukštos maistinės vertės ir didelio baltymų kiekio. Tyrimo pabaigoje nustatyta, jog *T. molitor* lervų priedas broilerių mityboje pagerino augimo rodiklius ir nepaveikė skerdienos savybių, o kiaulienos tyrime pastebėta nujunkytų paršelių augimo rezultatų pagerėjimas. Taip pat įtraukiant 10 % *T. molitor* lervų kaip pašaro dalį į kiaulių mitybą, nustatytas geresnis aminorūgščių įsisavinimas, ir taip pat neturėjo jokios neigiamos įtakos žuvų miltus pakeitus į lervas. Taipogi autoriai pastebėjo jog vabzdžių kutikulėje esantis chitinas teigiamai veikia kiaulių imuninę sistemą (Hong *et al.*, 2020).

1.6.2. Trąšos iš vabzdžių atmatų

Tenebrio molitor lervų auginimo metu susidaro šalutinis produktas, vabzdžių atmatos, į kurių sudėtį įeina lervų ekskrementai, egzoskeleto likučiai ir nesuvirškintos organinės medžiagos. Atliktame tyrime vabzdžių atmatos buvo naudojamos kaip trąšos auginant salotas. Kadangi šių atmatų cheminė sudėtis gausiai pasižymi makroelementais, kaip azotas (3,64 %), fosforas (fosfatų pavidalu– 5780 mg/L) ir kalio (3440 mg/L), taip pat gausu ir mikroelementų, tai varis (Cu), cinkas (Zn), geležis (Fe) ir manganas (Mn), šios medžiagos skatina augalų biomasės augimą ir fotosintezę. (Fuertes-Mendizábal *et al.*, 2023). Taip pat Zunzunegui *et al.*, 2024 atliktame tyrime, kurio metu kaip organinės trąšos naudotos su įvairiomis kultūromis, nustatyta, jog *T. molitor* lervų tarp devynių tirtų vabzdžių

rūšių pasižymėjo aukščiausiu magnio ir fosforo kiekiu bei šis trąšų produktas iš vabzdžių atmatų gausus makroelementų, tokių kaip fosforas (P), kalis (K), azotas (N).



5 pav. *Tenebrio molitor* vabzdžių atmatos

Tyrimo metu išbandyti keli skirtingų koncentracijų tyrimo metodai ir nustatyta, jog salotose kurios buvo tręšiamos 1 % organinių trąšų koncentracija, pastebimai padidėjo antžeminė biomasė, tačiau padidinus dozę iki 2,5 % pastebėtas neigiamos poveikis, kuris ypač paveikė šaknų sistemą. Taip pat atliktas tyrimas ir su lauko sąlygomis auginamomis daržovėmis, kurios tręštos 0,5 % vabzdžių atmatomis ir pastebėta, jog tokių daržovių kaip burokėlių, gražgarstės, kopūstų, vyšninių pomidorų, agurkų ir kukurūzų valgomoji biomasė padidėjo. Dar pastebėta, kad atmatose esančios medžiagos skatina naudingų dirvožemio mikroorganizmų veiklą, taip dirvoje padaugėja augalų augimą skatinančių bakterijų ir biomolekulių. Tačiau autoriai pabrėžia, tai kad vabzdžių atmatų maistinė sudėtis ir mikrobiologinės savybės tiesiogiai priklauso nuo maisto šaltinių, kuriais maitinasi *T. molitor* lervos, ir atmatų apdorojimo būdų (Zunzunegui *et al.*, 2024).

2. MEDŽIAGOS IR METODAI

2.1. Tyrimo vieta, laikas ir eiga

Auginimo tyrimo pradžia 2024 metų lapkritis, pabaiga 2026 metų sausis. Tyrimas buvo atliekamas VMTI Gamtos tyrimų centre Cheminės ekologijos ir elgsenos laboratorijoje.

2.2. Vabzdžių auginimas

Didžiojo milčiaus (*Tenebrio molitor*) rūšies lervoms gauti buvo naudojamos vabzdžių kultūros augintos VMTI Gamtos tyrimų centro Cheminės ekologijos ir elgsenos laboratorijoje nuo 2019 metų. Pirmiausia kiaušinėliams gauti pasitelkiami vabzdžiai iš minėtos kultūros. Vabzdžiai patalpinami į dėžes sudarytas iš dviejų sluoksnių, pirmame yra dėžė su kviečių miltais, ant jų uždedamas tinklelis (tinklelio akučių plotis 1,5 x 1,5 mm), taip apsaugant kiaušinėlius, po patelių sudėjimo į miltus, tai svarbus aspektas kadangi šie vabalai pasižymi kanibalizmu. Po 4-5 dienų tinklelis su vabzdžiais nuimamas ir 0,5 mm sieteliu išsijojami miltai, taip atskiriami ir surenkami kiaušinėliai. Sijojimo ir rinkimo metu svarbu elgtis atsargiai, dėl kiaušinėlių trapumo juos lengva pažeisti.



6 pav. *Tenebrio molitor* kiaušinėlių svėrimas

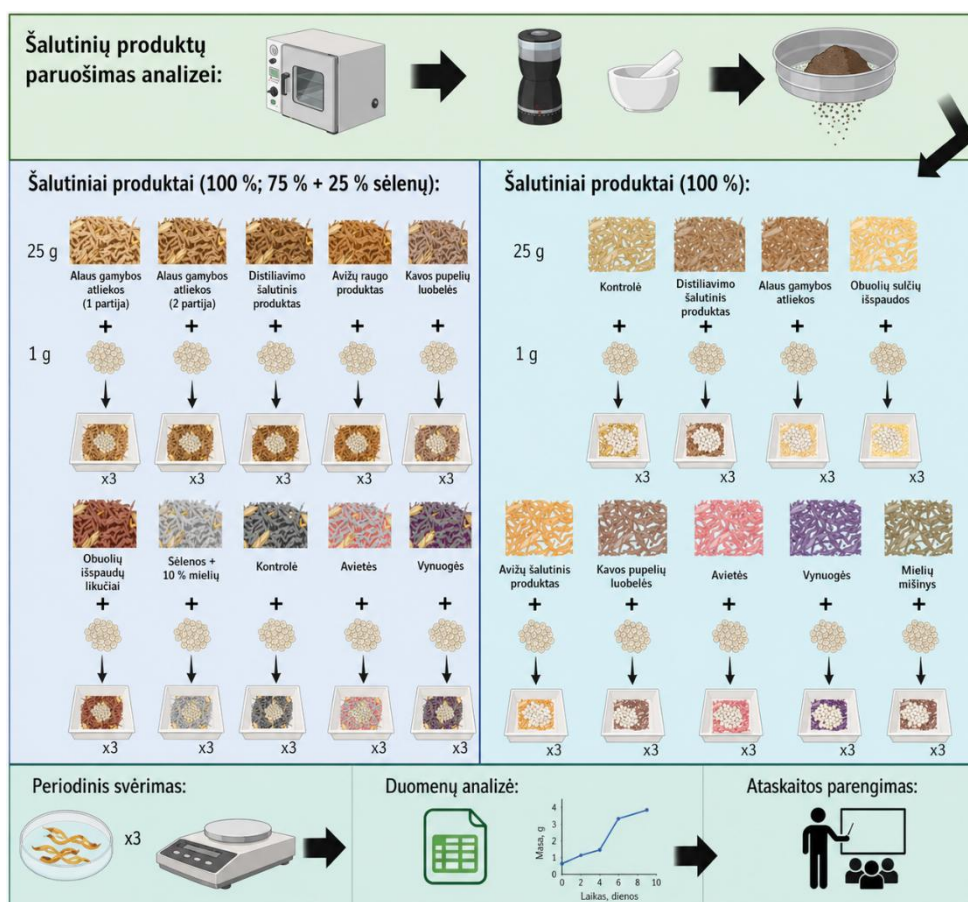
Kontroliniam pašarui buvo pasirinktos didmeninėje prekyboje ir lervų auginimo sektoriuje naudojamos kviečių sėlenos (UAB „Malsena plius“). Tyrimo metu buvo tiriami antriniai maisto šaltiniai gauti iš didmeninių gamyklų (dėl konfidencialumo susitarimo, negalime nurodyti konkrečių šalutinių produktų tiekėjų). Pašarai sudaryti iš :

- Spirito varyklos antrinių žaliavų;
- Alaus varyklų antrinių žaliavų;

- Obuolių sulčių spaudyklų išspaudų;
- Aviečių sulčių spaudyklų išspaudų;
- Vynuogių sulčių spaudyklų išspaudų;
- Kavos pupelių luobelės;
- Avižų išrūgų;
- Daržovių likučių mišinio sudaryto iš moliūgų, morkų ir obuolių išspaudų.

Visi produktai buvo išdžiovinami džiovyklėse nuo 12 iki 24 valandų (priklausomai kiek drėgmės buvo produkte), 60-70 °C, tuomet sumalti elektriniu smulkintuvu ir persijojami 2 mm dydžio akučių sieteliais.

Paruoštas kiekvienas substratas buvo supilamas į tris 21 cm × 15 cm × 11 cm dydžio dėžutes po 25 g ir į kiekvieną dėžutę patalpinama po 1 g *T. molitor* kiaušinėlių. Visos lervos dėžutėse patalpinamos į Fitotron klimatinės kameras. Auginimo laikotarpiu vabzdžių *T. molitor* lervų laikymo temperatūra siekė 26 °C, o drėgmė – 60 %, taip pat buvo naudojami šviesos ir tamsos periodai 12:12 šviesos foto periodai. Taip pat du kartus per savaitę buvo įdedama po gabaliuką morkos kaip vandens šaltinis nuo 0,5 g. iki 5 g priklausomai nuo lervų dydžio.



7 pav. Tyrimo naudotų alternatyvių maisto šaltinių paruošimas ir eksperimentinis planas. Apdorojimo metuose buvo naudojami skirtingi šalutiniai produktai: alaus speltos grūdai (BSG-1 ir BSG-2) yra

tas pats šalutinis produktas, gautas iš dviejų skirtingų alaus daryklų. Kiekvienas apdorojimo metodas buvo išbandytas pakartojamuose bandymuose, periodiškai sveriant lervas ir registruojant duomenis.



8 pav. Tyrimo dėžės su maisto substratais

Po 3 savaičių nuo tyrimo pradžios, pradedami svėrimai. Iš kiekvienos dėžutės atsitiktinai atrenkamos po 10 lervų į 3 Petri lėkštutes, viso iš vienos dėžutės pasverama po 50 atsitiktiniu būdu pasirinktų lervučių. Svėrimai nutraukiami, kai lervos pradeda virsti į lėliukės stadiją.

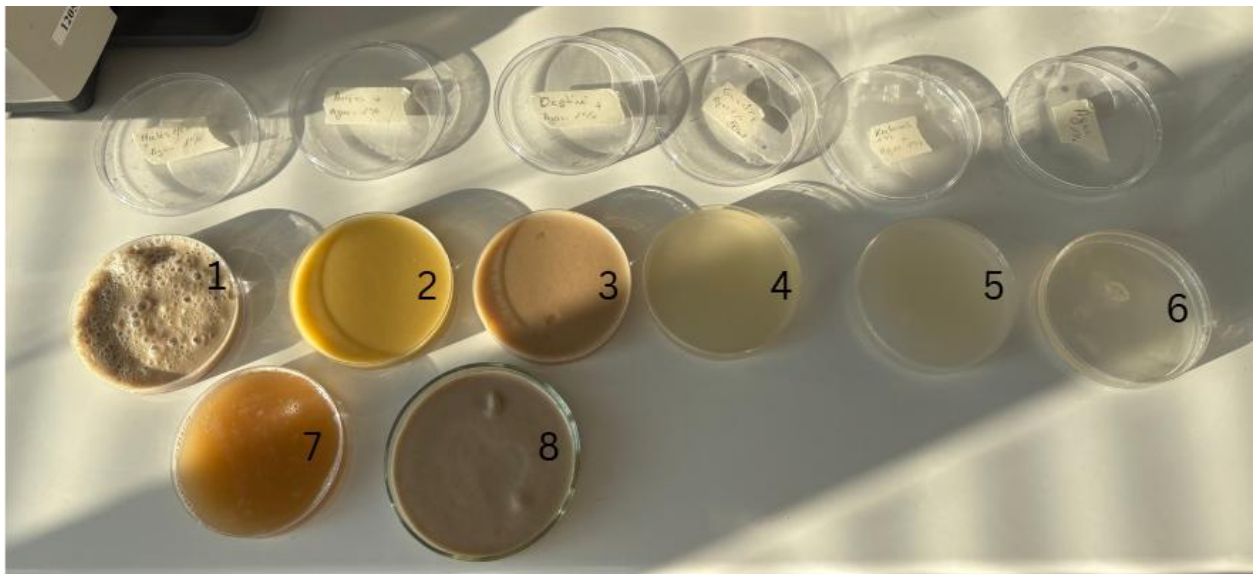
2.3. Vandens šaltiniai ir jų paruošimas

Vandens šaltinių tyrimo metu visų lervų mitybinis substratas buvo kviečių sėlenos (UAB „Mal-sena plus“). Tiriant skirtingų vandens šaltinių įtaką buvo pasirinkti alternatyvūs vandens šaltiniai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Alternatyvių vandens šaltinių sudedamųjų dalių lentelė

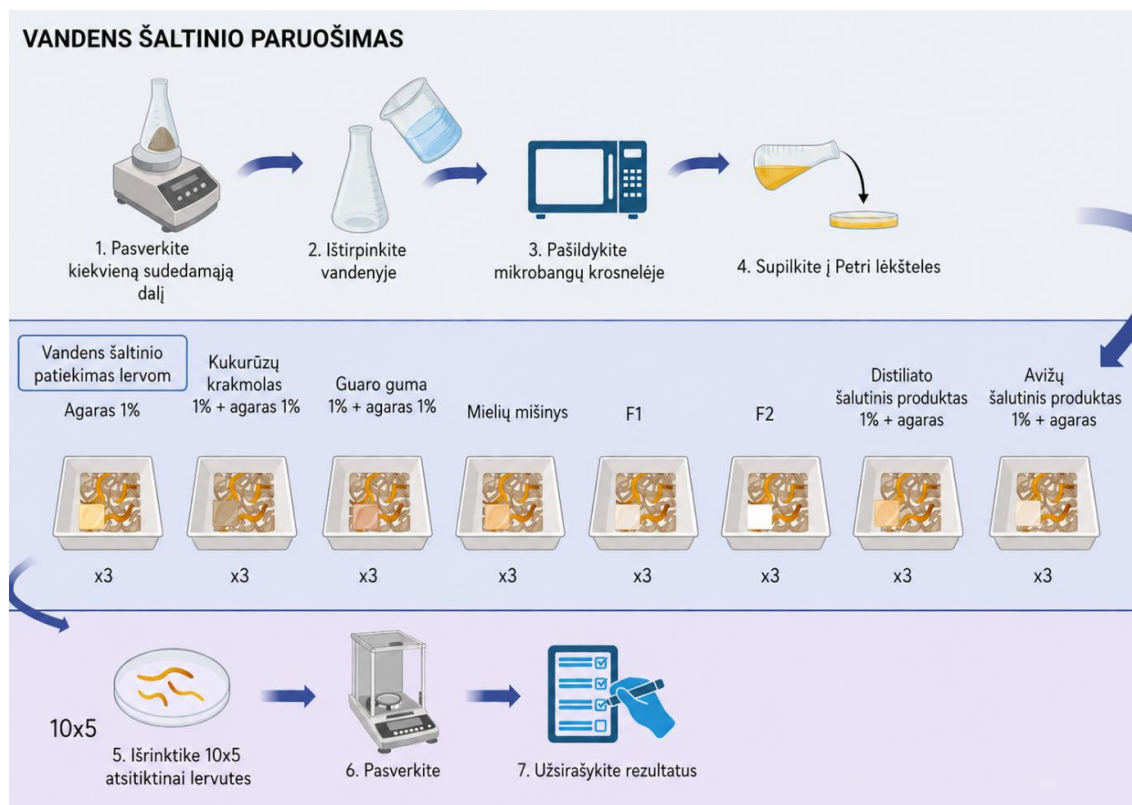
Substratas	Sudedamosios dalys
I	0,5 g agaro milteliai + 50 ml vanduo
II	0,5 g ekologiškas kukurūzų krakmolai + 0,5 g agaras + 50 ml vanduo
III	0,5 g guaro gumos milteliai + 0,5 g agaras + 50 ml vanduo
IV	50 ml mielių išspaudų skystoji frakcija + 0,5 g agaras
V	50 ml mielių išspaudų skystoji frakcijos nuosėdos + 0,5 g agaro
VI	50 ml mielių išspaudų skystosios frakcijos skaidri dalis + 0,5 g agaras
VII	50 ml spirito varyklos išspaudų sunka + 0,5 g agaras
VIII	50 ml avižų išspaudų sunka + 0,5 g agaras

Kontroliniu vandens šaltiniu buvo pasirinktos morkos, kadangi jos plačiai naudojamos ir sudaro didžiausią dalį komercinių, didmeninių *T. molitor* lervų auginimo ūkių vandens šaltinių. Taip pat morkos plačiai taikomos dėl didelio vandens kiekio ir palygintinai lėto gedimo laikotarpio, taip išvengiant pelėsio ir užtikrinant saugesnį naudojimą auginimo sistemose. Visi substratai buvo ruošiami komponentų homogenizavimo būdu, maišant su 0,5 g (1% bendros masės) ekologiško agaro tirštikliu. Taip pat visi, išskyrus guaro gumos mišiniai kaitinami iki agaro ištirpimo. Po to leidžiama mišiniams atvėsti ir sustingti kambario temperatūroje, taip siekiama užtikrinti vienodą konsistenciją ir drėgmės pasiskirstymą visų bandymų metu.



9 pav. Pagaminti vandens šaltiniai iš skirtingų antrinių žaliavų: 1 – mielių mišinys, 2 – avižų sunka, 3 – spirito varyklos išspaudos, 4 – guaro guma, 5 – kukurūzų krakmolos, 6 – agaras, 7 – mielių išspaudų skystosios frakcijos skaidri dalis, 8 – išspaudų skystoji frakcijos nuosėdos (šaltinis: autorės nuotrauka)

25 g kviečių sėlenų išpilstoma į 21 cm × 15 cm × 11 cm dydžio dėžutėse ir į kiekvieną dėžutę patalpinama po 1 g *T. molitor* kiaušinėlių. Dėžutės laikomos Fitotron klimatinėse kamerose. Auginimo laikotarpiu vabzdžių *T. molitor* lervų laikymo temperatūra siekė 26 °C, o drėgmė – 60 %, taip pat buvo naudojami šviesos ir tamsos periodai 12:12 šviesos foto periodai. Po 3 savaičių nuo lervų išsiritimo iš kiaušinėlių, du kartus per savaitę buvo įdedama po gabaliuką vandens šaltinio nuo 0,5 g iki 5 g priklausomai nuo lervų dydžio. 30-tą dieną pradedamas lervų svėrimas. Iš kiekvienos dėžutės atrenkamos po 10 lervų į 5 Petri lėkštutes, viso iš vienos dėžutės pasveriami po 50 atsitiktiniu būdu parinktų lervučių. Svėrimai nutraukiami, kai lervos pradeda virsti į lėliukės stadiją.



10 pav. Tyrime naudotų alternatyvių vandens šaltinių paruošimas ir eksperimentinis planas. Apdorojimui buvo naudojami agaras ir šalutinių produktų pagrindu pagaminti drėgmės šaltiniai, įskaitant 1F – pirmąją mielių frakciją; 2F – antrąją mielių frakciją. Kiekvienas apdorojimo būdas buvo išbandytas kartotiniuose bandymuose, periodiškai sveriant lervas ir registruojant duomenis.

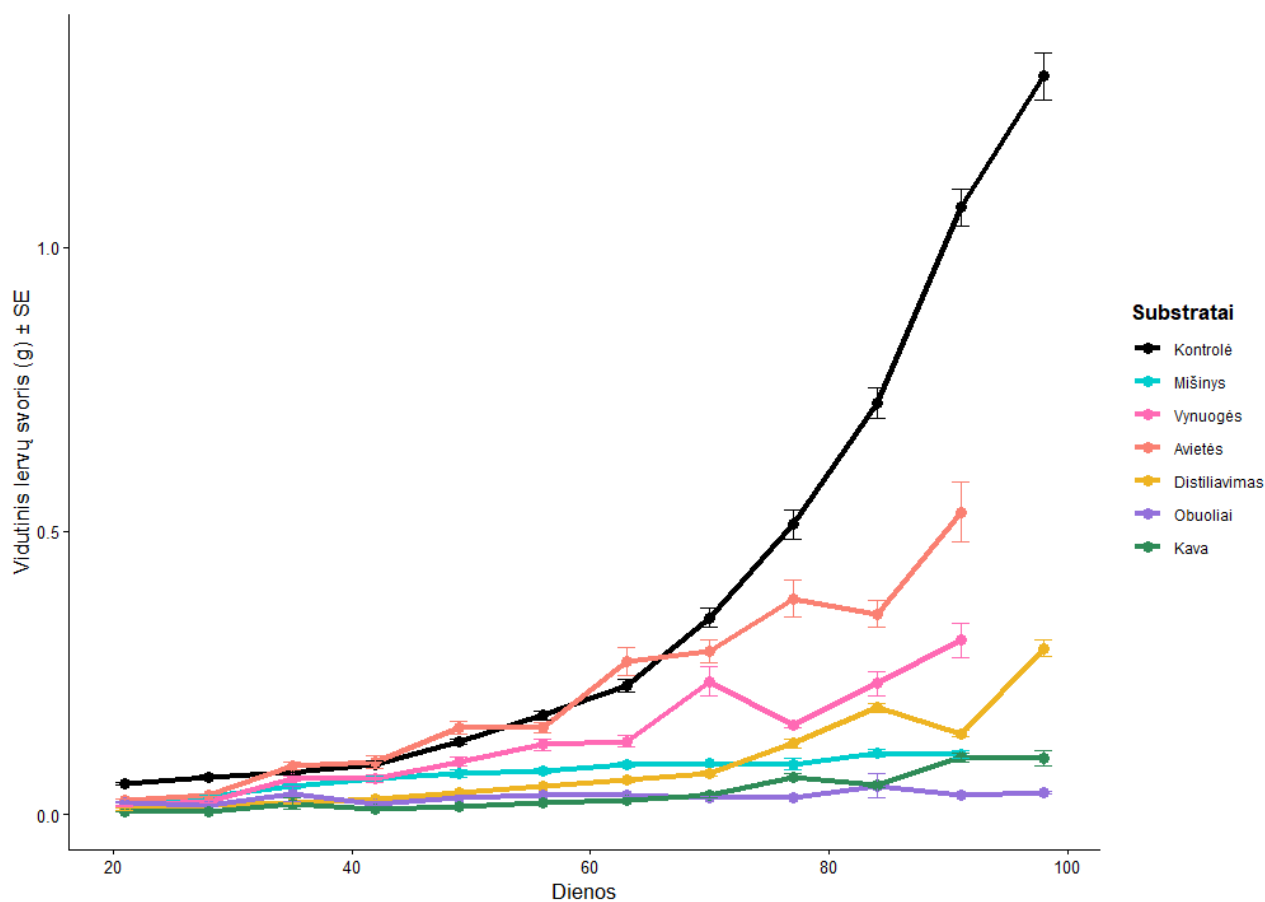
2.4. Statistiniai analizė

Eksperimento rezultatai ir statistinė analizė atlikta naudojant MS Excel (Microsoft Co., 2021) ir R (versija 4.4.1) programinę įrangą. Duomenų tvarkymui ir vizualizacijai naudotas *tidyverse* (v. 2.0.0) paketų rinkinys, duomenų įkėlimui iš Excel formato failų – *readxl* (v. 1.4.3) paketas. Grafikai braižyti naudojant *ggplot2* (v. 3.5.1) paketą – linijinės diagramos su standartinės paklaidos (SE) klaidų juostomis lervų svorio dinamikai laike vaizduoti ir stulpelinės diagramos galutiniam lervų svoriui palyginti. Statistiniai skirtumai tarp kiekvieno substrato ir kontrolinės grupės nustatyti taikant Mann-Whitney U testą (Wilcoxon rank-sum test), atliktą naudojant bazinę R funkciją *wilcox.test()* su parametru *exact = FALSE*. Testas taikytas kiekvienam substratui atskirai, lyginant su kontroline grupe kiekvieną matavimo dieną. Statistiškai reikšmingi skirtumai grafike pažymėti žvaigždute (*). Skirtumai laikyti statistiškai reikšmingais, kai $p < 0,05$.

3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

3.1. Grynų (100 %) substratų įtaka lervų augimui

Lyginant *Tenebrio molitor* lervų vidutinio kūno svorio dinamiką skirtinguose 100 % substratu, statistinė analizė (Mann-Whitney U testas) parodė, kad Vynuogių substrate 35 dieną ($p = 0,134$) ir Aviečių substrate 35-63 dienomis ($p = 0,292-0,978$) lervų vidutinis svoris statistiškai reikšmingai nuo kontrolės nesiskyrė. Visais kitais tyrimo laikotarpiais visuose substratuose lervų vidutinis svoris statistiškai reikšmingai skyrėsi nuo kontrolės ($p = 0,004$).

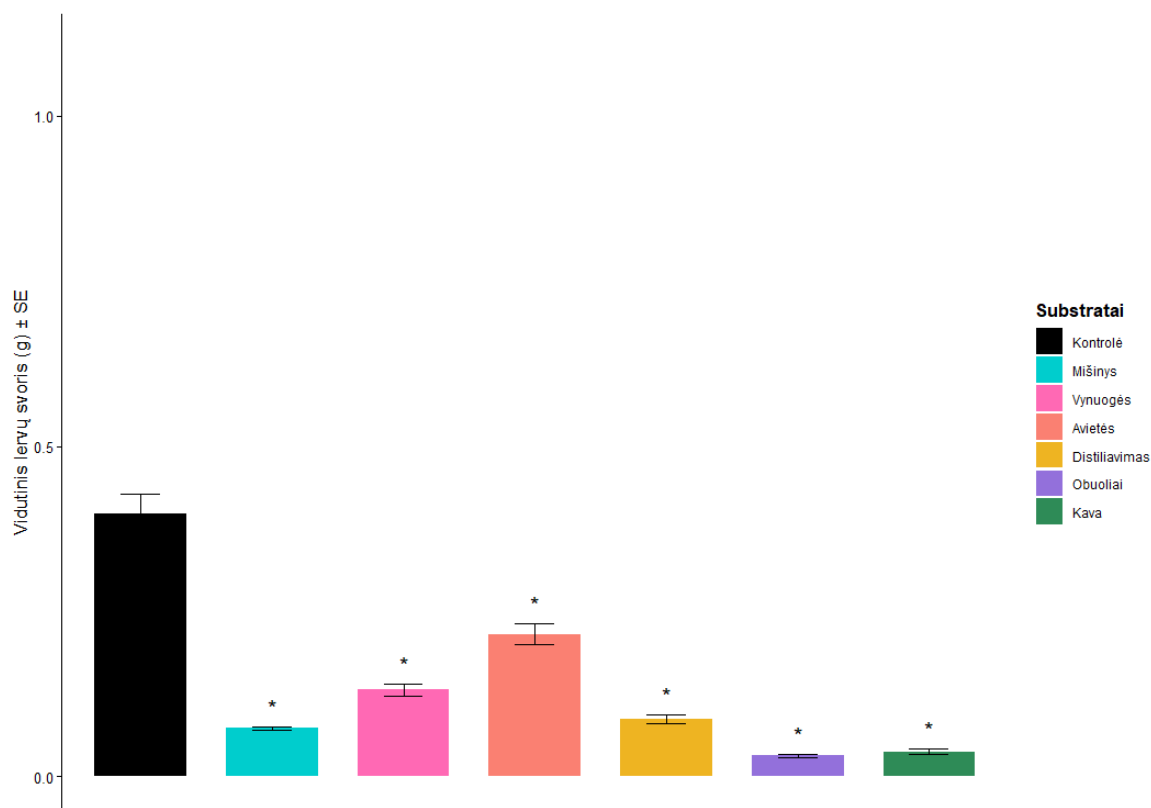


	Dienos											
	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98
Mišinys	0,004	0,004	0,004	0,010	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	
Vynuogės	0,004	0,004	0,134	0,023	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	
Avietės	0,004	0,004	0,292	0,978	0,091	0,071	0,338	0,031	0,010	0,004	0,004	
Distiliavimas	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Obuoliai	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Kava	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004

11 pav. *Tenebrio molitor* lervų vidutinio kūno svorio pokyčio dinamika laikui bėgant, auginant ant skirtingų 100 % substratų: kontrolinio (kviečių sėlenos), MIX, vynuogių, aviečių, spirito gamybos šalutinio produkto, obuolių ir kavos. Vertės pateikiamos kaip vidurkis $\pm$ SE. Lentelė paveikls apačioje nurodo statistinius skirtumus tarp substrato ir kontrolinio pašaro (Mann-Whitney U testas). Žalia spalva – $p > 0,05$.

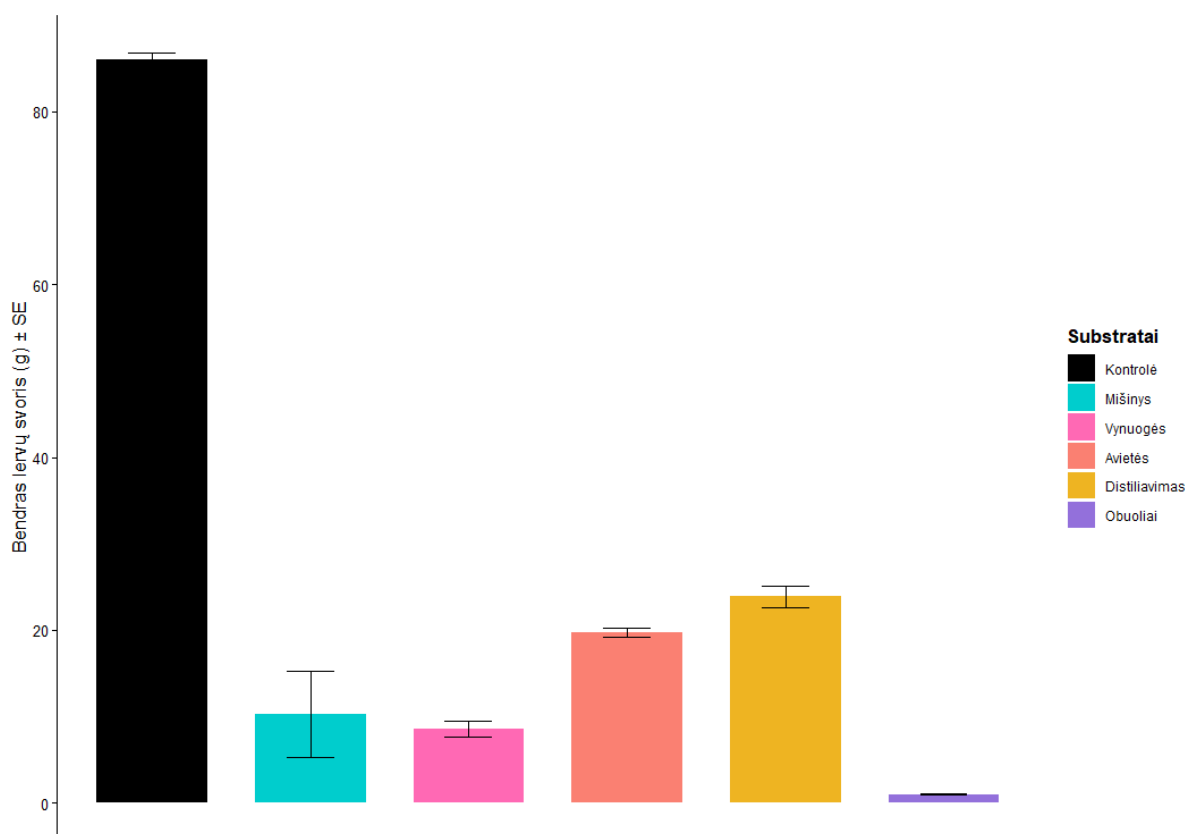
Sparčiausiai augo kontrolės grupės lervos, kurių vidutinis kūno svoris 98 dieną siekė $1,302 \pm 0,042$ g. Antras pagal augimo intensyvumą buvo aviečių substratas – 91 dieną lervų vidutinis svoris siekė $0,534 \pm 0,053$ g, tačiau statistiškai reikšmingas skirtumas nuo kontrolės užfiksuotas tik nuo 70 dienos ($p = 0,004$). Vynuogių substrate 91 dieną lervų vidutinis svoris siekė $0,307 \pm 0,030$ g, distiliavimo – $0,293 \pm 0,014$ g (98 d.), mišinio – $0,106 \pm 0,006$ g (91 d.), kavos – $0,099 \pm 0,014$ g (98 d.). Mažiausias lervų vidutinis kūno svoris nustatytas obuolių substrate – $0,038 \pm 0,002$ g (98 d.). Avižų ir alaus substratuose lervos žuvo iki pirmojo svėrimo, todėl šie substratai į statistinę analizę ir grafikus neįtraukti. Viso tyrimo metu vidutinis lervų svoris kontrolėje buvo didesnis nei kituose tirtuose substratuose, tad 100 % substratai nėra palankūs lervų svorio prieaugiui.

100 % koncentracijos kaip pašaro šaltinis yra nepakankamas optimaliam *Tenebrio molitor* lervų augimui užtikrinti, nes nė viename substrate lervų svoris nebuvo panašus ar didesnis nei kontroliuotame pašare. Taip pat gauti Lienhard et al., (2023) tyrimo duomenis rodo jog iš 29 substratų nustatyta, kad 14 substratų buvo netinkami – kavos tirščiuose, šiauduose ir česnakų luobelėse užfiksuotas didžiausias mirtingumas, lyginant su kontroliniu pašaru. Tačiau tame pačiame tyrime geriausiu alternatyviu substratu pripažintos salyklo likučių granulės, kurių grupės lervos pasiekė didžiausią vidutinę bendrą biomasę (7,12 g), beveik lygią kontrolinei grupei (7,11 g), o išgyvenamumas siekė 99 %, nors mūsų tyrime lervos šiame substrate neišgyveno. Tai rodo, jog ne visada 100 % substratai tinkami pakaitalai tradiciniams pašarams ir tyrimo sėkmė priklauso nuo konkrečios substrato cheminės sudėties, o ne tik substrato kilmės.



12 pav. Vidutinis *Tenebrio molitor* lervos svoris paskutinę eksperimento dieną, auginant su skirtingais 100 % pašaro substratais. Statistiškai reikšmingas skirtumas žymimas *, lyginta su kontroline grupe (kviečių sėlenomis), Mann-Whitney U testas ($p < 0,05$).

Tyrimo paskutinę dieną (98 d.) užfiksuoti vidutiniai *T. molitor* lervų svoriai statistiškai reikšmingai skyrėsi nuo kontrolės visuose tirtuose substratuose (Mann-Whitney U testas, $p < 0,001$). Kontrolės grupės lervų mediana siekė 1,036 g. vynuogių substrate lervų svoris buvo 3,4 karto mažesnis nei kontrolėje (mediana 0,301 g; $W = 150$; $p < 0,001$), mišinio substrate – 10,3 karto mažesnis (mediana 0,100 g; $W = 150$; $p < 0,001$), aviečių substrate – 2,0 karto mažesnis (mediana 0,509 g; $W = 150$; $p < 0,001$), distiliavimo substrate – 7,6 karto mažesnis (mediana 0,136 g; $W = 225$; $p < 0,001$), obuolių substrate – 32,4 karto mažesnis (mediana 0,032 g; $W = 225$; $p < 0,001$), o kavos substrate – 9,5 karto mažesnis (mediana 0,109 g; $W = 135$; $p < 0,001$). Taigi visų 100 % substratų lervų svoris paskutinę tyrimo dieną buvo statistiškai reikšmingai mažesnis nei kontrolės grupėje, o didžiausias augimas stebėtas aviečių substrate, mažiausias – obuolių substrate. Pagal bendrą užauginto svorio dinamiką nėra tinkami pašarai lervoms auginti.

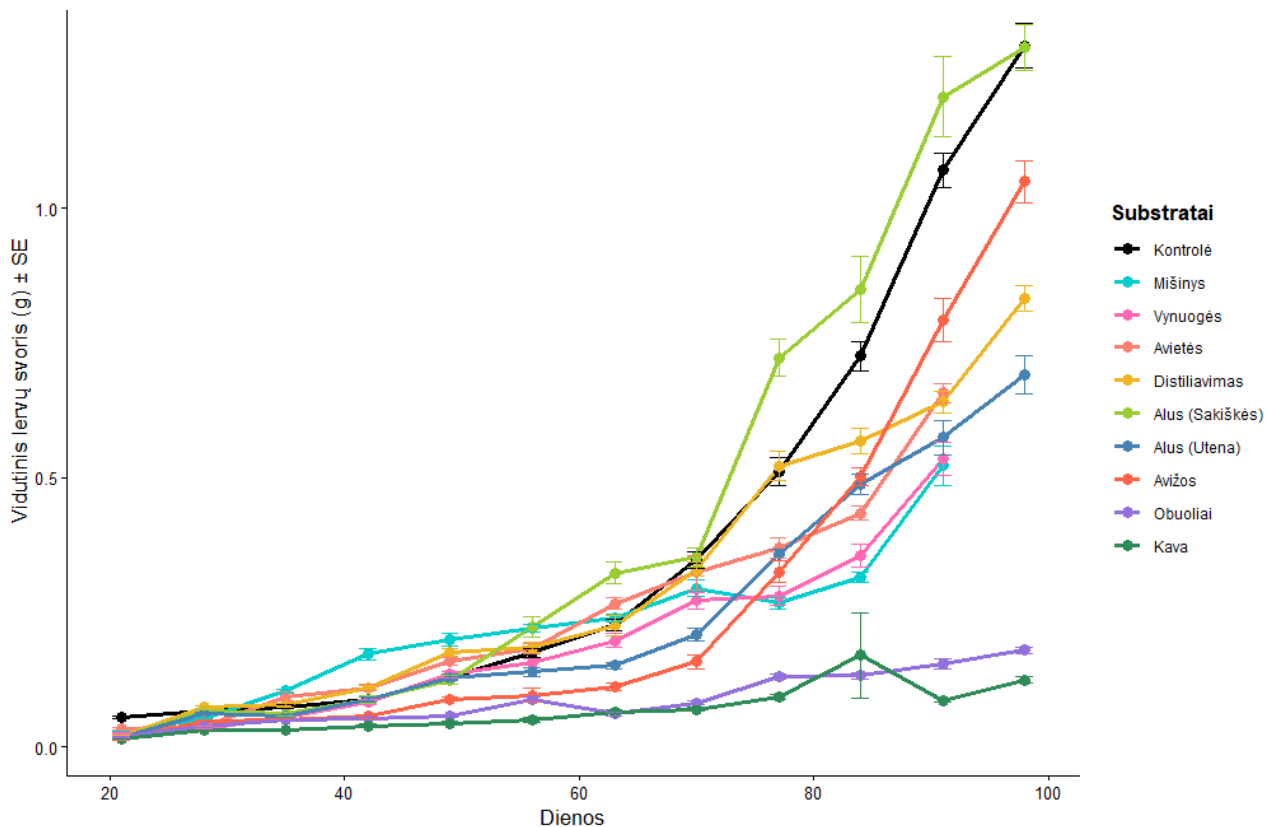


13 pav. Bendras *Tenebrio molitor* lervų svoris paskutinę eksperimento dieną, auginant su skirtingais 100 % pašaro substratais.

Paskutinę tyrimo dieną užfiksuotas bendras *Tenebrio molitor* lervų svoris augusių 100% pašarų substratų grupėse statistiškai reikšmingai nuo kontrolės nesiskyrė nė viename augusiame substrate (Mann-Whitney U testas, $p > 0,05$). Paskutinę dieną lervų medianos svoris kontrolėje buvo 86,17 g., distiliavimo substrate mediana siekė 23,89 g, aviečių – 19,73 g, vynuogių – 8,57 g, mišinio – 5,62 g, o mažiausias bendras svoris užfiksuotas obuolių substrate – 0,99 g. Nors statistiškai reikšmingų skirtumų lyginant su kontrole nebuvo, bendro svorio dinamika aiškiai rodo, jog kontrolėje augusių lervų augimas buvo intensyvesnis nei visų kitų 100 % substratų grupių. Tai patvirtina, jog 100 % koncentracijos substratai yra nepakankamas pašaras optimaliam *T. molitor* lervų augimui užtikrinti.

3.2. Mišinių (75 %) substratų įtaka lervų augimui

Lyginant *Tenebrio molitor* lervų vidutinio kūno svorio dinamiką skirtinguose 75 % substratų, statistinė analizė (Mann-Whitney U testas) parodė, kad mišinio substrate 63 dieną ($p = 0,698$), vynuogių substrate 42–63 dienomis ($p = 0,212–0,718$) ir 70 dieną ($p = 0,071$), aviečių substrate 63 dieną ($p = 0,803$), distiliavimo produkto substrate 35 dieną ($p = 0,905$), 56 dieną ($p = 0,676$), 63 dieną ($p = 0,858$), 70 dieną ($p = 0,551$) ir 77 dieną ($p = 0,721$), alaus Sakiškės substrate 28 dieną ($p = 0,720$), 42 dieną ($p = 0,633$), 49 dieną ($p = 0,551$), 70 dieną ($p = 0,811$), 84 dieną ($p = 0,170$), 91 dieną ($p = 0,283$) ir 98 dieną ($p = 0,952$) bei alaus Utena substrate 28 dieną ($p = 0,676$), 42–49 dienomis ($p = 1,000$) lervų vidutinis svoris statistiškai reikšmingai nuo kontrolės nesiskyrė. Visais kitais tyrimo laikotarpiais ir substratuose lervų vidutinis svoris statistiškai reikšmingai skyrėsi nuo kontrolės ($p < 0,05$). Viso tyrimo metu vidutinis lervų svoris alaus Sakiškės substrate buvo didesnis nei kontroliuotame substrate, tad 75 % alaus Sakiškės substratas yra palankūs lervų svorio prieaugiui.



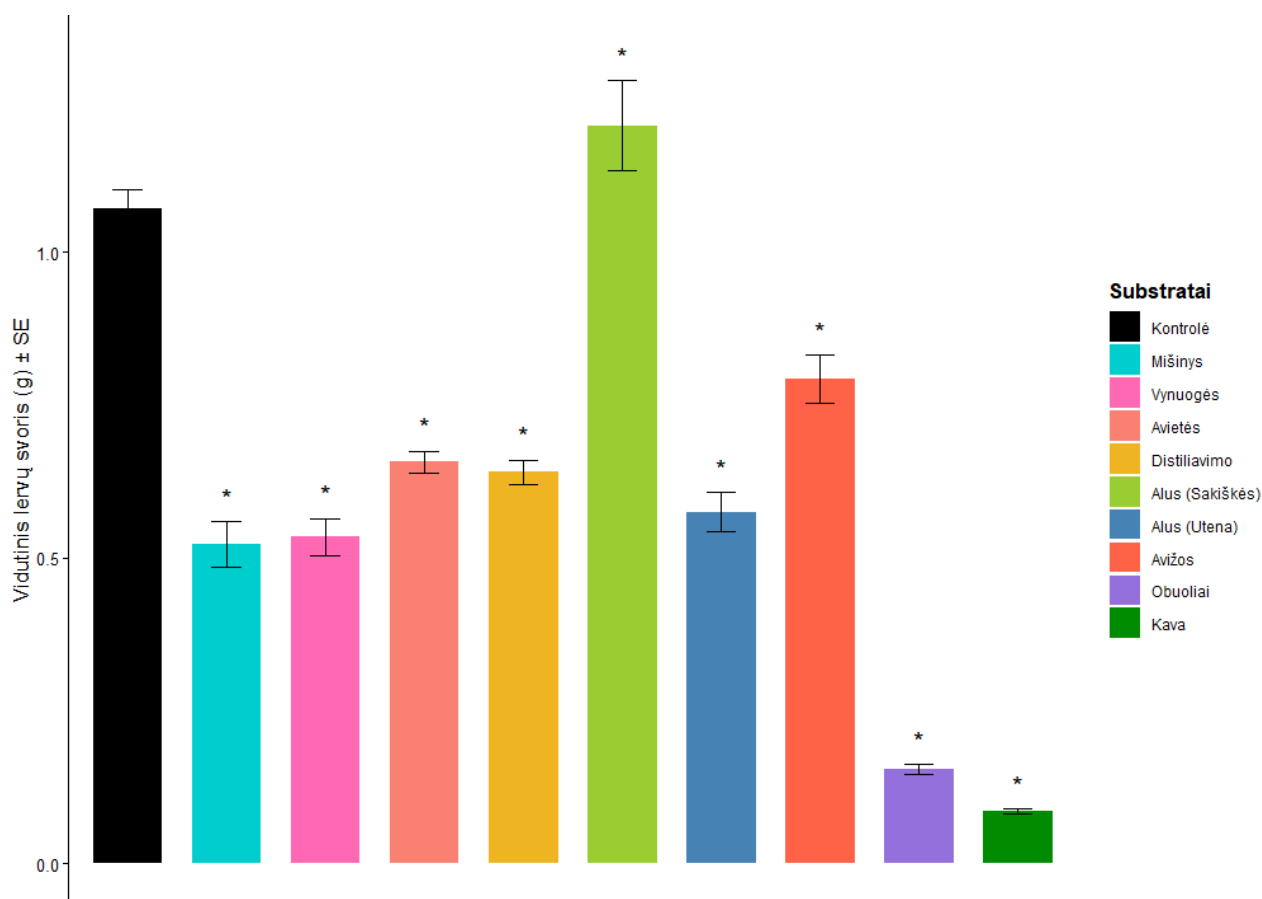
SUBSTRATAI	Dienos											
	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98
Mišinys	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,001	0,698	0,049	0,000	0,000	0,000	
Vynuogės	0,000	0,000	0,002	0,212	0,718	0,114	0,071	0,005	0,000	0,000	0,000	
Avietės	0,001	0,000	0,012	0,049	0,004	0,598	0,033	0,803	0,002	0,000	0,000	
Distiliavimo produktas	0,000	0,043	0,905	0,020	0,000	0,676	0,858	0,551	0,721	0,002	0,000	0,000
Alus Sakiškės	0,000	0,720	0,037	0,633	0,551	0,014	0,000	0,811	0,001	0,170	0,283	0,952
Avižos	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
Alus Utena	0,000	0,676	0,004	1,000	1,000	0,014	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Obuoliai	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Kava	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000

14 pav. *Tenebrio molitor* lervų vidutinio kūno svorio pokyčio dinamika laikui bėgant, auginant jas skirtinguose mišriuose substratuose: kontrolinėje grupėje (kviečių sėlenos), MIX , vynuogėse, avietėse, spirito varykloje, alaus darykloje (Sakiškės), alaus darykloje (Utena), avižose, obuoliuose ir kavoje. Visus pašarų substratus (išskyrus kontrolinę grupę) sudarė 75 % antrinių žaliavų, sumaišytų su 25 % kviečių sėlenų. Vertės pateikiamos kaip vidurkis $\pm$ standartinė paklaida (SE). Lentelė paveikslą apačioje nurodo statistinius skirtumus tarp substrato ir kontrolinio pašaro (Mann-Whitney U testas). Žalia spalva – $p > 0,05$.

Kontrolės grupės lervų vidutinis kūno svoris 98 dieną siekė $1,302 \pm 0,042$ g. Artimiausi kontrolei rezultatai užfiksuoti alaus Sakiškės substrate – 98 dieną lervų vidutinis svoris siekė $1,298 \pm 0,043$ g ir statistiškai reikšmingai nuo kontrolės nesiskyrė ($p = 0,952$). Avižų substrate lervų vidutinis svoris 98 dieną siekė $1,050 \pm 0,040$ g, distiliavimo produkto – $0,833 \pm 0,024$ g, alaus Utena – $0,690 \pm 0,035$ g (98 d.), aviečių – $0,657 \pm 0,018$ g (91 d.), vynuogių – $0,534 \pm 0,031$ g (91 d.), mišinio – $0,522 \pm 0,037$ g (91 d.). Mažiausias lervų vidutinis kūno svoris nustatytas obuolių substrate – $0,180$

$\pm 0,006$ g (98 d.) ir kavos substrate – $0,124 \pm 0,006$ g (98 d.). Visuose 75 % substratų lervos išgyveno visą tyrimo laikotarpį. Pagal bendrą užauginto svorio dinamiką alus (Sakiškės) yra tinkamas pašaras lervoms auginti.

Alaus iš Sakiškių šalutinis produktas 75 % koncentracijos buvo geriausias pašarų substratas, jame augusių lervų vidutinis svoris paskutinę dieną buvo didesnis, lyginant su kontroliniu pašaru. Trevisanato et al. (2026) tyrime geriausi rezultatai lyginant su kontrole buvo kviečių atsijos ir kanapių išspaudos, tačiau šiuose substratuose lervų svoris vis vien nepasiekė lygaus ar didesnio svorio lyginant su kontrole. Bet tuo tarpu kito autoriaus Ferri et al. (2025) tyrimas rodo panašius rezultatus kaip ir mūsų, jame kviečių sėlenos papildytos 25 % žaliavų parodė didžiausius lervų svorio rezultatus augusių su alaus gamybos atliekų papildymu ($116,9 \pm 1,07$ g), po jų sekė saldžiavaisio pupmedžio substratas ($114,8 \pm 1,26$ g), tai reiškia, kad tradiciniai substratai nėra visais atvejais geriausias variantas.

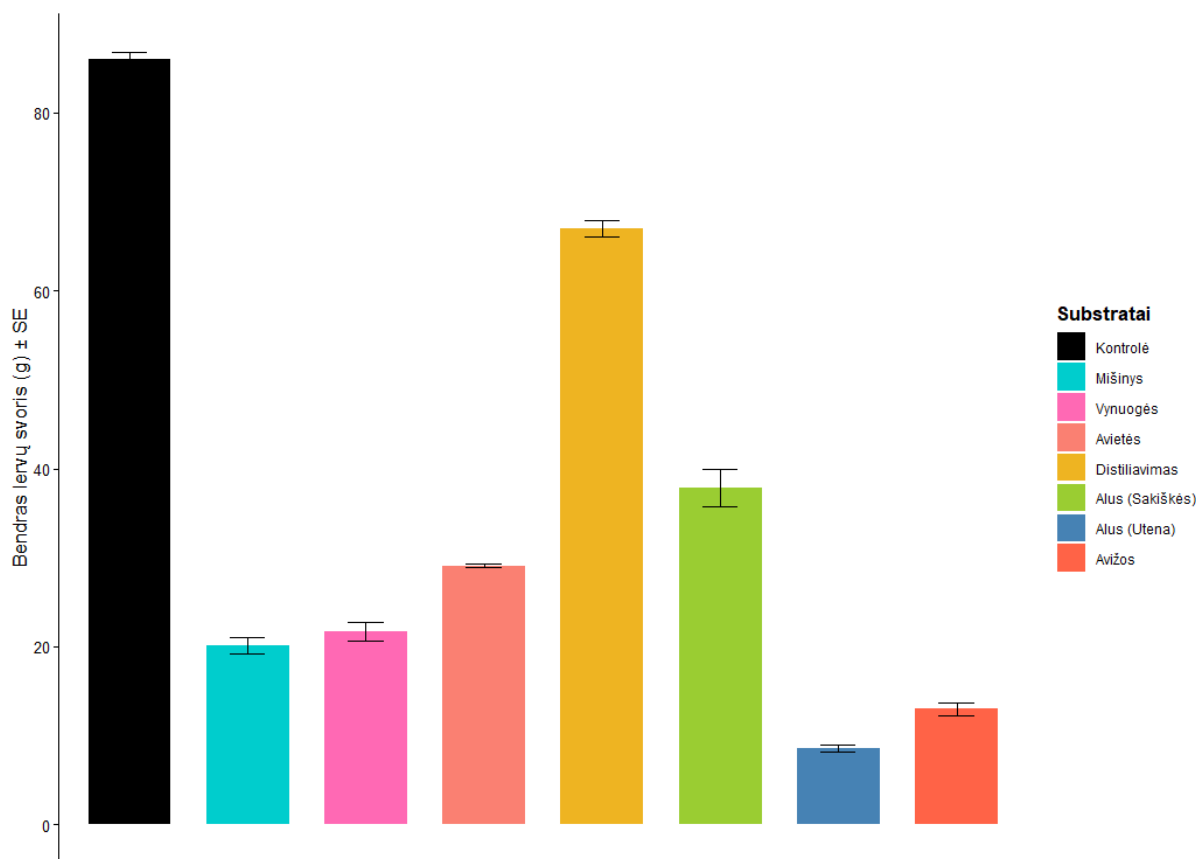


15 pav. Vidutinis *Tenebrio molitor* lervų svoris paskutinę eksperimento dieną, auginant su skirtingais 75 % pašaro substratais. Statistiškai reikšmingas skirtumas žymimas *, lyginta su kontroline grupe (kviečių sėlenomis), Mann-Whitney U testas ($p < 0,05$).

Tyrimo paskutinę dieną (91 dieną) užfiksuoti vidutiniai *T. molitor* lervų svoriai statistiškai reikšmingai skyrėsi nuo kontrolės daugelyje tirtų substratų (Mann-Whitney U testas) ($p < 0,05$). Kontrolės

grupės lervų mediana siekė 1,036 g. vynuogių substrate lervų svoris buvo statistiškai reikšmingai mažesnis nei kontrolėje (mediana 0,529 g; $W = 150$; $p < 0,001$), mišinio substrate – taip pat reikšmingai mažesnis (mediana 0,495 g; $W = 150$; $p < 0,001$), aviečių substrate – mažesnis (mediana 0,641 g; $W = 150$; $p < 0,001$), distiliavimo substrate – mažesnis (mediana 0,648 g; $W = 135$; $p < 0,001$), avižų substrate – mažesnis (mediana 0,760 g; $W = 131$; $p < 0,001$), alaus (Utena) substrate – mažesnis (mediana 0,548 g; $W = 135$; $p < 0,001$), obuolių substrate – mažesnis (mediana 0,153 g; $W = 135$; $p < 0,001$) ir kavos substrate – mažesnis (mediana 0,085 g; $W = 135$; $p < 0,001$). Vienintelis išimtis – alaus (Sakiškės) substratas, kuriame lervų svoris (mediana 1,211 g) statistiškai reikšmingai nuo kontrolės nesiskyrė ($W = 49$; $p = 0,283$). Mažiausias lervų svoris paskutinę tyrimo dieną užfiksuotas kavos substrate, didžiausias – alaus (Sakiškės) substrate, kuris viršijo net kontrolės grupės lervų svorį.

Viso tyrimo metu pastebėta, jog lervos augusios su 75 % substrato pašarais, pasireiškė didesniu svorio prieaugiu ir lervų judrumo aktyvumu, lyginant su 100 % substratais. Tad, galbūt sukūrus pašaro substratų mišinius, galima pasiekti dar geresnių svorio prieaugio rezultatų ir taip pakeisti kviečių sėlenų naudojimą komercijoje bei sukurti žiedinę ekonomiką neišvaistant naudingųjų antrinių žaliavų.



16 pav. Bendras *Tenebrio molitor* lervų svoris paskutinę eksperimento dieną, auginant su skirtingais 75 % pašaro substratais.

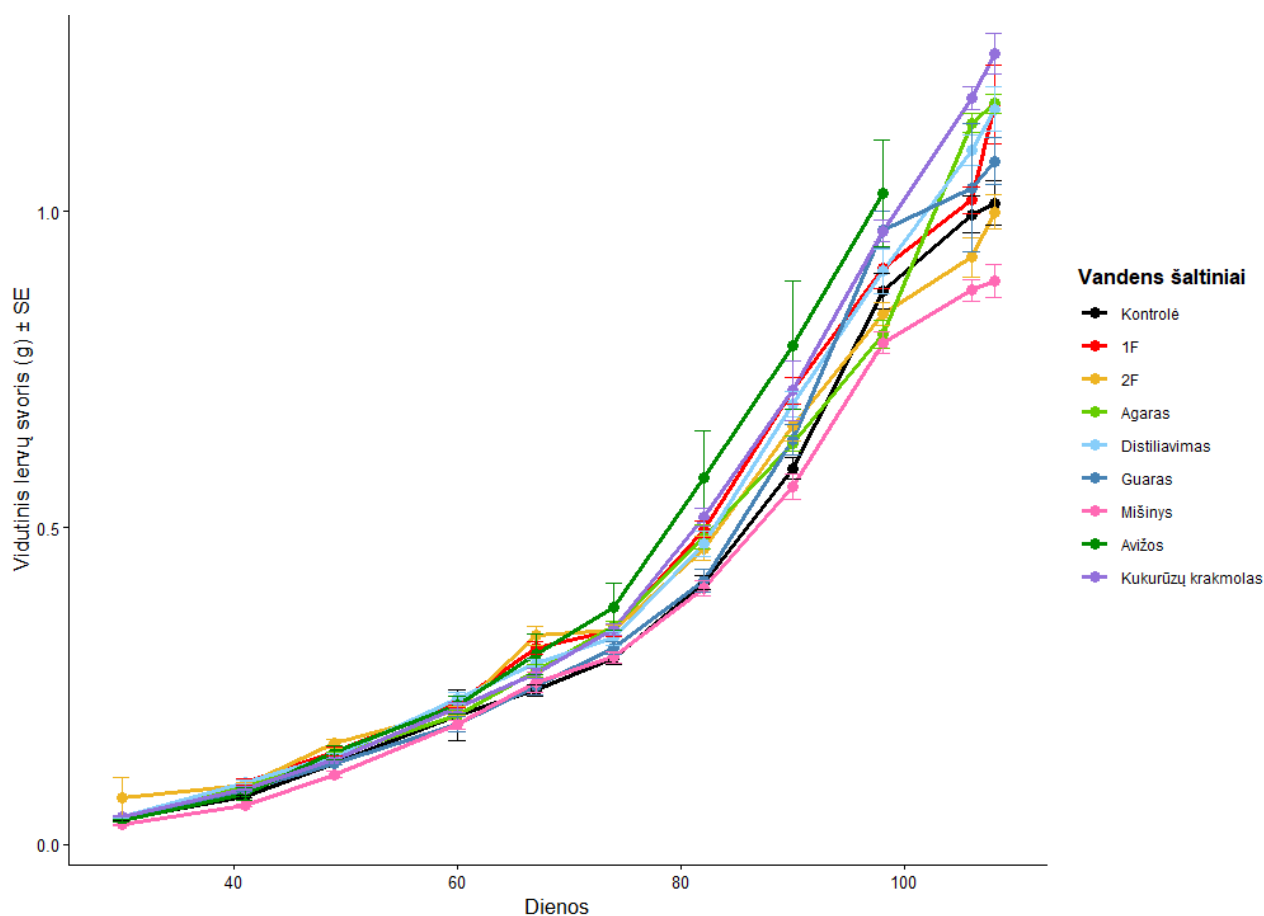
Paskutinę tyrimo dieną užfiksuotas bendras *Tenebrio molitor* lervų svoris augusių 75% pašarų substratų grupėse statistiškai reikšmingai nuo kontrolės nesiskyrė nė viename augusiame substrate

(Mann-Whitney U testas, $p > 0,05$). Paskutinę dieną lervų medianos svoris kontrolėje buvo 86,17 g., didžiausias bendras svoris užfiksuotas distiliavimo substrate (mediana 66,30 g), po jo sekė alaus (Sakiškės) substrate – 36,20 g, vynuogių – 21,69 g, aviečių – 29,10 g, mišinio – 20,16 g, avižų – 12,96 g, o mažiausias bendras svoris nustatytas alaus (Utena) substrate – 8,55 g. Nors statistiškai reikšmingų skirtumų lyginant su kontrole nebuvo, bendro svorio dinamika aiškiai rodo, jog 75 % substratų grupėse lervų augimas buvo intensyvesnis nei 100 % substratų grupėse, tačiau nepasiekė kontrolės grupės lygio, išskyrus Alaus (Sakiškės) substratą, kuriame individualus lervų svoris viršijo kontrolę.

3.3. Lervų augimas skirtinguose vandens šaltiniuose laiko periode

Lyginant *Tenebrio molitor* lervų vidutinio kūno svorio dinamiką skirtinguose vandens šaltiniuose, statistinė analizė (Mann-Whitney U testas) parodė, kad distiliavimo substrate 30 dieną ($p = 0,157$), 49 dieną ($p = 0,058$), 74 dieną ($p = 0,077$) ir 98 dieną ($p = 0,377$), 2F substrate 30 dieną ($p = 0,536$), 98 dieną ($p = 0,185$), 106 dieną ($p = 0,185$) ir 108 dieną ($p = 1,000$), avižų substrate 30 dieną ($p = 0,216$), 49 dieną ($p = 0,791$), 98 dieną ($p = 0,377$), 1F substrate 30 dieną ($p = 0,251$), 98 dieną ($p = 0,289$), 106 dieną ($p = 0,724$), guaro guma substrate 30 dieną ($p = 0,480$), 49 dieną ($p = 1,000$), 67 dieną ($p = 1,000$), 82 dieną ($p = 0,596$), 90 dieną ($p = 0,185$), 106 dieną ($p = 0,596$) ir 108 dieną ($p = 0,185$), agaras substrate 30 dieną ($p = 0,354$), 98 dieną ($p = 0,064$), mišinio substrate 67 dieną ($p = 0,930$), 74 dieną ($p = 0,724$), 82 dieną ($p = 0,860$), 90 dieną ($p = 0,251$) bei kukurūzų krakmolo substrate 30 dieną ($p = 0,064$), 49 dieną ($p = 0,158$), 67 dieną ($p = 0,077$) lervų vidutinis svoris statistiškai reikšmingai nuo kontrolės nesiskyrė. Visais kitais tyrimo laikotarpiais lervų vidutinis svoris

statistiškai reikšmingai skyrėsi nuo kontrolės ($p < 0,05$). Pagal bendrą užauginto svorio dinamiką kukurūzų krakmolą, agarą, distiliavimo, 1F, guaro gumą, avižą, yra tinkamas vandens šaltinis lervoms auginti.

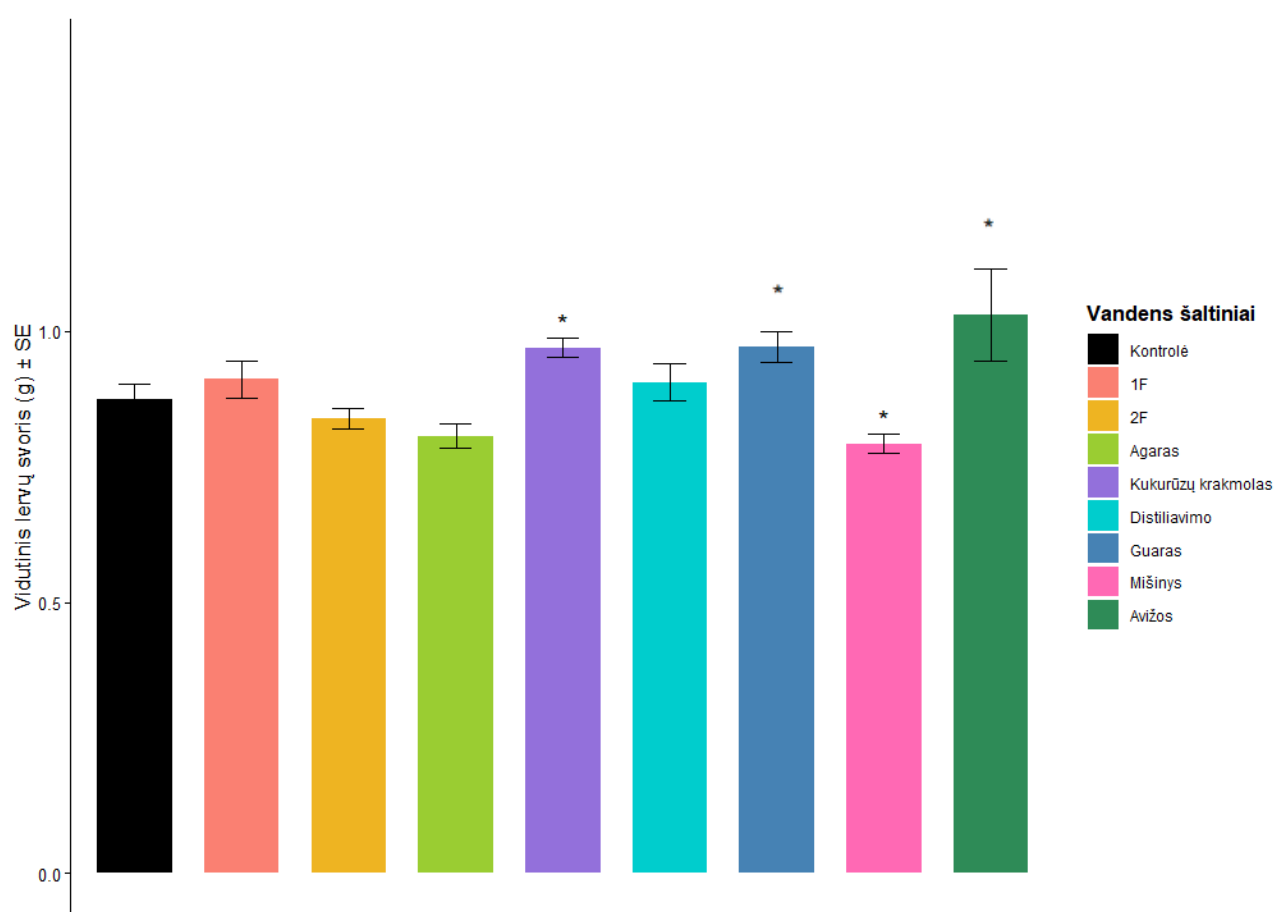


	Dienos										
SUBSTRATAI	30	41	49	60	67	74	82	90	98	106	108
Distiliavimo	0,157	0,001	0,058	0,006	0,002	0,077	0,022	0,004	0,377	0,013	0,022
2F	0,536	0,001	0,008	0,010	0,002	0,010	0,034	0,027	0,185	0,185	1,000
Avižos	0,216	0,216	0,791	0,010	0,112	0,042	0,052	0,093	0,377		
1F	0,251	0,001	0,027	0,010	0,000	0,008	0,001	0,001	0,289	0,724	0,064
Guaras	0,480	0,013	1,000	0,158	1,000	0,289	0,596	0,185	0,064	0,596	0,185
Agaras	0,354	0,001	0,052	0,022	0,052	0,003	0,017	0,133	0,064	0,004	0,008
MIX	0,001	0,002	0,006	0,042	0,930	0,724	0,860	0,251	0,034	0,008	0,027
Krakmolai	0,064	0,005	0,158	0,006	0,077	0,017	0,001	0,010	0,034	0,001	0,001

17 pav. *Tenebrio molitor* lervų vidutinio kūno svorio pokyčio dinamika laikui bėgant, auginant jas naudojant skirtingus vandens šaltinius: 1F – pirmoji mielių frakcija; 2F – antroji mielių frakcija; MIX – pirmosios ir antrosios mielių frakcijų derinys; agaras; avižos; distiliavimo šalutinis produktas; guaro guma; kontrolė; kukurūzų krakmolai. Lentelė paveikslo apačioje nurodo statistinius skirtumus tarp šaltinio ir kontrolinio vandens šaltinio (Mann-Whitney U testas). Žalia spalva – $p > 0,05$.

Kontrolės grupės lervų vidutinis kūno svoris 98 dieną siekė $1,014 \pm 0,036$ g. Didžiausias lervų vidutinis kūno svoris užfiksuotas kukurūzų krakmolo substrate – $1,250 \pm 0,032$ g (108 d.), agaras substrate – $1,170 \pm 0,016$ g (108 d.), 1F substrate – $1,169 \pm 0,062$ g (108 d.) ir distiliavimo substrate

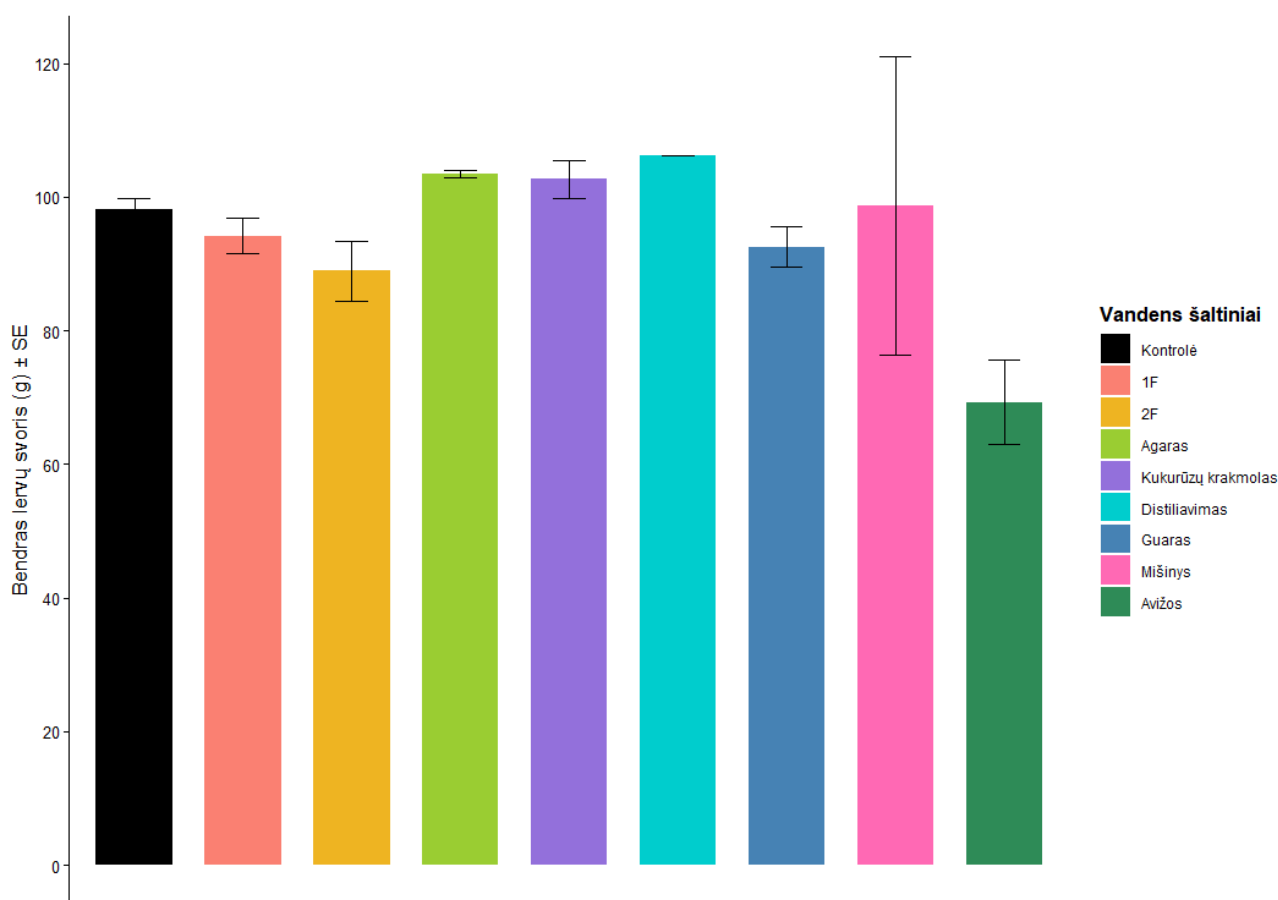
– $1,162 \pm 0,035$ g (108 d.), kurie viršijo kontrolės grupės lervų svorį. Guaro gumos substrate lervų vidutinis svoris siekė $1,080 \pm 0,037$ g (108 d.), avižų – $1,029 \pm 0,085$ g (98 d.). Mažesnis už kontrolę vidutinis svoris nustatytas 2F substrate – $0,999 \pm 0,027$ g (108 d.) ir mišinio substrate – $0,890 \pm 0,026$ g (108 d.). Visuose vandens šaltinių substratuose lervos išgyveno visą tyrimo laikotarpį. Vandens šaltinių tyrimo metu pastebėti labai reikšmingi ir daug žadantys rezultatai, lervų svoris, aktyvumas ir noras būti alternatyvius vandens šaltinius tokius kaip 1F, kukurūzų krakmolos, distiliavimas, guaro guma ir avižos buvo didesnis lyginant su kontrole. Taip pat pastebėta, jog lervos dažnu atveju morkų nesuėsdavo iki galo, jos greičiau pradėdavo gesti. Tačiau morkos esančios šaldytuve prieš pateikiant lervom ilgai išlieka šviežios nei antrinais šaltiniai. Vandens šaltiniai iš guaro guma nesustingsta iki standžios želė ir būna tik drebučių pavidale, bet tai netrukdo lervom būti.



18 pav. Vidutinis *Tenebrio molitor* lervų svoris paskutinę eksperimento dieną, auginant su skirtingais vandens šaltiniais. Statistiškai reikšmingas skirtumas žymimas *, lyginta su kontroline grupe (kviečių sėlenomis), Mann-Whitney U testas ($p < 0,05$)

Tyrimo paskutinę dieną (98 dieną) užfiksuoti vidutiniai *Tenebrio molitor* lervų svoriai skirtinguose vandens šaltiniuose statistiškai reikšmingai nuo kontrolės skyrėsi tik dviejuose substratuose (Mann-Whitney U testas). Kontrolės grupės lervų mediana siekė 0,897 g., tačiau kukurūzų krakmolo (mediana 0,972 g; $W = 16$; $p = 0,034$), guaro guma (mediana 0,950 g; $W = 19$; $p = 0,064$) ir avižų (mediana

0,945 g; $W = 30$; $p = 0,377$) substrate lervų svoris buvo statistiškai reikšmingai didesnis nei kontrolėje, o mišinio substrate – statistiškai reikšmingai mažesnis (mediana 0,774 g; $W = 65$; $p = 0,034$). Likusiuose substratuose – agaras (mediana 0,821 g; $W = 62$; $p = 0,064$), 2F (mediana 0,841 g; $W = 56$; $p = 0,185$), 1F (mediana 0,937 g; $W = 28$; $p = 0,289$), distiliavimo (mediana 0,930 g; $W = 30$; $p = 0,377$) ir substratuose – lervų svoris statistiškai reikšmingai nuo kontrolės nesiskyrė. Atsižvelgiant į vandens šaltinius, kukurūzų krakmolo substrate užfiksuotas statistiškai reikšmingai didesnis lervų vidutinis svoris paskutinę tyrimo dieną (mediana 0,972 g; $W = 16$; $p = 0,034$), lyginant su kontrole (morkos; mediana 0,897 g), taip pat guaro gumos substrate lervų svoris buvo didesnis (mediana 0,950 g). Jan-kauskienė (2024) tyrime, kuriame kontroliniu drėgmės šaltiniu buvo pasirinktas agaro gelis, morkos parodė geresnius lervų augimo rezultatus nei kontrolė, tai rodo, kad tradiciniai vandens šaltiniai gali būti pranašesni už kai kuriuos alternatyvius. Tuo tarpu mūsų tyrime agaras (mediana 0,821 g; $W = 62$; $p = 0,064$) nors ir nereikšmingai atsiliko nuo kontrolės (morkų) paskutinę dieną, tačiau viso tyrimo dinamikoje lervų svoris agaro substrate vėliau pranoko kontrolę, pasiekdamas $1,170 \pm 0,016$ g (108 d.), lyginant su kontrolės $1,014 \pm 0,036$ g (98 d.). Tai rodo, jog tradiciniai vandens šaltiniai ne visais atvejais yra optimalus pasirinkimas auginant *T. molitor* lervas, o alternatyvūs šaltiniai, tokie kaip kukurūzų krakmolai, guaro guma ir agaras, gali užtikrinti lygiavertį ar net geresnį lervų augimą.



19 pav. Bendras *Tenebrio molitor* lervų svoris paskutinę eksperimento dieną, auginant su skirtingais vandens šaltiniais.

Paskutinę tyrimo dieną užfiksuotas bendras *Tenebrio molitor* lervų svoris augusių skirtinguose vandens šaltinių grupėse statistiškai reikšmingai nuo kontrolės nesiskyrė nė viename augusiame substrate (Mann-Whitney U testas, $p > 0,05$). Paskutinę dieną lervų medianos svoris kontrolėje buvo 98,24 g. Didžiausias bendras svoris užfiksuotas distiliavimo substrate (mediana 106,26 g) ir agaras substrate (mediana 103,48 g), kurie viršijo kontrolės grupės reikšmę, taip pat kukurūzų krakmolo substrate (mediana 102,65 g). Guaro gumos substrate mediana siekė 92,55 g, 2F – 88,97 g, 1F – 94,22 g, mišinio – 81,66 g, o mažiausias bendras svoris nustatytas avižų substrate – 69,31 g. Nors statistiškai reikšmingų skirtumų lyginant su kontrole nebuvo, bendro svorio dinamika aiškiai rodo, jog daugelis alternatyvių vandens šaltinių užtikrino panašų ar net didesni bendrą lervų svorį nei kontrolė, kas ir patvirtina jų tinkamumą *T. molitor* auginime.

IŠVADOS

1. Nustatyta, kad 100 % koncentracijos distiliavimo, alaus daryklos, avižų, kavos, aviečių, vynuogių, morkų, obuolių ir moliūgų šalutiniai produktai nėra tinkami optimaliam *Tenebrio molitor* lervų augimui palaikyti.
2. Nustatyta, kad 25 % kviečių sėlenų priedas užtikrino optimalų *Tenebrio molitor* lervų augimą. Didžiausią individualų svorį lervos pasiekė augintos terpėje su Sakiškių alaus daryklos šalutiniu produktu, o didžiausia bendra biomasė nustatyta naudojant distiliavimo pramonės šalutinį produktą.
3. Nustatyta, kad didžiausias vidutinis *Tenebrio molitor* lervų svoris pasiektas naudojant avižų, guaro gumos ir kukurūzų krakmolo vandens šaltinius, o didžiausia biomasė – distiliavimo šalutinio produkto, agaro ir kukurūzų krakmolo vandens šaltinius.

PADĖKA

Dėkoju VMTI Gamtos tyrimų centro Ekologijos instituto Cheminės ekologijos ir elgsenos laboratorijai už suteiktą galimybę atlikti baigiamojo magistro darbo tyrimus, o už pagalbą atliekant tyrimus laboratorijoje, konsultacijas bei pagalbą ruošiant magistro darbą – darbo vadovei dr. Gabrielėi Bumbulytei-Žukevičienei.

VILNIAUS UNIVERSITETAS
GYVYBĖS MOKSLŲ CENTRAS

Felicija Kvedaraitė

Magistro baigiamasis darbas

Mitybinių substratų įtaka didžiojo milčiaus (*Tenebrio molitor* L.) augimui

SANTRAUKA

Sparčiai augant pasaulio gyventojų skaičiui ir didėjant maisto atliekų kiekiui, itin aktualu ieškoti alternatyvių sprendimų, kurie leistų atliekas panaudoti vertingas antrines žaliavas ir taip spręsti globalias pasaulio problemas. Vienas tokių sprendimų – didžiojo milčiaus (*Tenebrio molitor* L.) lervų auginimas maisto pramonės šalutiniuose produktuose, pakeičiant šiuo metu naudojamus komercinius pašarus, taip mažinant etinius klausimus ir prisidedant prie žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimo ir tvaraus vabzdžių auginimo plėtros. Šio darbo tikslas – nustatyti antrinių žaliavų kaip mitybinių substratų įtaką didžiojo milčiaus (*Tenebrio molitor* L.) lervų augimui.

Tyrime buvo vertinamas 100 % antrinių žaliavų substratų tinkamumas kaip alternatyvus pašaras, 75 % substratų mišinių įtaka lervų augimo rodikliams bei skirtingų vandens šaltinių poveikis lervų augimo dinamikai ir paskutinės dienos svoriui. Tyrimų rezultatai parodė, kad visi 100 % koncentracijos distiliavimo, alaus daryklos, avižų, kavos, aviečių, vynuogių, morkų, obuolių ir moliūgų šalutiniai produktai nėra tinkami optimaliam *Tenebrio molitor* lervų augimui palaikyti. Vertinant 75 % substratų mišinius nustatyta, kad 25 % kviečių sėlenų priedas užtikrino optimalų *Tenebrio molitor* lervų augimą. Didžiausią individualų svorį lervos pasiekė augintos terpėje su Sakiškių alaus daryklos šalutiniu produktu, o didžiausia bendra biomasė nustatyta naudojant distiliavimo pramonės šalutinį produktą.

Tiriant skirtingus vandens šaltinius, nustatyta, kad didžiausias vidutinis *Tenebrio molitor* lervų svoris pasiektas naudojant avižų, guaro gumos ir kukurūzų krakmolo vandens šaltinius, o didžiausia biomasė – distiliavimo šalutinio produkto, agaro ir kukurūzų krakmolo vandens šaltinius.

VILNIUS UNIVERSITY
LIFE SCIENCES CENTER

Felicija Kvedaraitė

Master's thesis

Influence of Nutritional Substrates on the Growth of the Mealworm (*Tenebrio molitor* L.)

ABSTRACT

As the world's population grows rapidly and the amount of food waste increases, it is particularly important to seek alternative solutions that would allow waste to be used as valuable secondary raw materials, thus addressing global problems. One such solution is the rearing of yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae in food industry by-products, replacing currently used commercial feeds, thereby reducing ethical concerns and contributing to the implementation of circular economy principles and the development of sustainable insect farming. The aim of this study was to determine the influence of secondary raw materials as nutritional substrates on the growth of yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae.

The study evaluated the suitability of 100 % secondary raw material substrates as alternative feed, the influence of 75 % substrate mixtures on larval growth parameters, and the effect of different water sources on larval growth dynamics and final day weight. The results showed that all 100 % concentration by-products of distillation, brewery, oats, coffee, raspberries, grapes, carrots, apples, and pumpkin are not suitable for maintaining optimal *Tenebrio molitor* larval growth. When evaluating 75 % substrate mixtures, it was found that a 25 % wheat bran supplement ensured optimal *Tenebrio molitor* larval growth. The highest individual weight was achieved by larvae reared in a medium with Sakiškės brewery by-product, while the highest total biomass was recorded using distillation industry by-product.

When investigating different water sources, it was found that the highest average *Tenebrio molitor* larval weight was achieved using oat, guar gum, and corn starch water sources, while the highest biomass was recorded using distillation by-product, agar, and corn starch water sources.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Agregán, R., Echegaray, N., Moraga-Babiano, L., Pateiro, M., & Lorenzo, J. M. (2025). Feasibility of using *Tenebrio molitor* larvae as an alternative protein source. *Foods*, 14(23), 4068. <https://doi.org/10.3390/foods14234068>
2. Aplinkos apsaugos agentūra. (2022). *Atliekų susidarymo ir tvarkymo duomenys* [Duomenų rinkinys]. Lietuvos atvirų duomenų portalas. <https://data.gov.lt/datasets/460/>
3. Beals, K. A. (2019). Potatoes, nutrition and health. *American Journal of Potato Research*, 96(1), 102–110. <https://doi.org/10.1007/s12230-018-09705-4>
4. Bogusz, R., Nowacka, M., Bryś, J., Rybak, K., & Szulc, K. (2024). Quality assessment of yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) powders processed by pulsed electric field and convective drying. *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17034>
5. Brai, A., Vagaggini, C., Pasqualini, C., Poggialini, F., Tarchi, F., Francardi, V., & Dreassi, E. (2023). Use of distillery by-products as *Tenebrio molitor* mealworm feed supplement. *Journal of Insects as Food and Feed*, 9, 611–623. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0066>
6. Coudron, C. L., Adamaki-Sotiraki, C., Yakti, W., Pascual, J. J., Wiklicky, V., Sandrock, C., Van Peer, M., Athanassiou, C., Peguero, D. A., Rumbos, C., Naser El Deen, S., Veldkamp, T., Deruytter, D., & Cambra-López, M. (2025). Bugbook: Basic information and good practices on how to maintain stock populations for *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens* for research. *Journal of Insects as Food and Feed*. <https://doi.org/10.3920/JIFF2024.0107>
7. Europos Komisija. (2021). *2021 m. birželio 1 d. Komisijos įgyvendinimo reglamentas (ES) 2021/882, kuriuo leidžiama pateikti rinkai džiovintas Tenebrio molitor lervas kaip naują maisto produktą pagal Europos Parlamento ir Tarybos reglamentą (ES) 2015/2283 ir kuriuo iš dalies keičiamas Komisijos įgyvendinimo reglamentas (ES) 2017/2470*. Europos Sąjungos oficialusis leidinys, L 194, 16–21. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX:32021R0882>
8. FAO. (2024). *FAO statistical yearbook 2024: World food and agriculture*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd3521en>
9. Forster, P., Storelvmo, T., Armour, K., Collins, W., Dufresne, J.-L., Frame, D., Lunt, D. J., Mauritsen, T., Palmer, M. D., Watanabe, M., Wild, M., & Zhang, H. (2021). The Earth's energy budget, climate feedbacks and climate sensitivity. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC* (pp. 923–1054). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.009>
10. Fuertes-Mendizábal, T., Salcedo, I., Huérfano, X., Riga, P., Estavillo, J. M., Ávila Blanco, D., & Duñabeitia, M. K. (2023). Mealworm frass as a potential organic fertilizer in synergy with

- PGP-based biostimulant for lettuce plants. *Agronomy*, 13(5), 1258. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051258>
11. Gómez-Brandón, M., Gandarillas, M., Fernández-Delgado, M., Verdú, I., Vidal-Verdú, À., Lazcano, A., & Domínguez, J. (2024). Grape pomace – advances in its bioactivity, health benefits, and food applications. *Foods*, 13(3), 381. <https://doi.org/10.3390/foods13030381>
 12. Grau, T., Vilcinskis, A., & Joop, G. (2017). Sustainable farming of the mealworm *Tenebrio molitor* for the production of food and feed. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 72(9–10), 337–349. <https://doi.org/10.1515/znc-2017-0033>
 13. Hill, D. S. (2002). *Pests of stored foodstuffs and their control*. Kluwer Academic Publishers.
 14. Hong, J., Han, T., & Kim, Y. Y. (2020). Mealworm (*Tenebrio molitor* larvae) as an alternative protein source for monogastric animal: A review. *Animals*, 10(11), 2068. <https://doi.org/10.3390/ani10112068>
 15. Ikram, S., Huang, L., Zhang, H., Wang, J., & Yin, M. (2017). Composition and nutrient value proposition of brewers spent grain. *Journal of Food Science*, 82(9), 2232–2242. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13816>
 16. Jankauskienė, A., Aleknavičius, D., Antanaitis, Š., Kiselišvienė, S., Wedi, P., Šumskienė, M., Juknienė, I., Gaižauskaitė, Ž., & Kabašinskienė, A. (2024). The impact of farm and industrial feed waste on the safety parameters of *Tenebrio molitor* larvae. *Insects*, 15(1), 37. <https://doi.org/10.3390/insects15010037>
 17. Kotsou, K., Chatzimitakos, T., Athanasiadis, V., Bozinou, E., & Lalas, S. I. (2024). Exploiting agri-food waste as feed for *Tenebrio molitor* larvae rearing: A review. *Foods*, 13(7), 1027. <https://doi.org/10.3390/foods13071027>
 18. Kröger, T., Dupont, D., Büsing, L., & Fiebelkorn, F. (2022). Acceptance of insect-based food products in Western societies: A systematic review. *Frontiers in Nutrition*, 8, 759885. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.759885>
 19. Kröncke, N., & Benning, R. (2022). Self-selection of feeding substrates by *Tenebrio molitor* larvae of different ages to determine optimal macronutrient intake and the influence on larval growth and protein content. *Foods*, 11(14), 2076. <https://doi.org/10.3390/foods11142076>
 20. Leridon, H. (2020). World population outlook: Explosion or implosion? *Population & Societies*, 573, 1–4. <https://doi.org/10.3917/popsoc.573.0001>
 21. Lešinskas, A., & Pileckis, S. (1968). *Vadovas augalų kenkėjams pažinti iš pažeidimų*. Mintis.
 22. Lienhard, A., Rehorska, R., Pöllinger-Zierler, B., Mayer, C., Grasser, M., & Berner, S. (2023). Future proteins: Sustainable diets for *Tenebrio molitor* rearing composed of food by-products. *Foods*, 12(22), 4092. <https://doi.org/10.3390/foods12224092>

23. López-Gámez, G., del Pino-García, R., López-Bascón, M. A., & Verardo, V. (2024). Improving *Tenebrio molitor* growth and nutritional value through vegetable waste supplementation. *Foods*, 13(4), 594. <https://doi.org/10.3390/foods13040594>
24. Neylon, E., Arendt, E. K., Zannini, E., & Sahin, A. W. (2023). Brewers' spent grain: An unprecedented opportunity to develop sustainable plant-based nutrition ingredients. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(28), 10555–10570. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c02489>
25. Olivadese, M., & Dindo, M. L. (2023). Insects: A valuable food source for human beings. *Foods*, 12(23), 4226. <https://doi.org/10.3390/foods12234226>
26. Orkusz, A. (2021). Edible insects versus meat – Nutritional comparison: Knowledge of their composition is the key to good health. *Nutrients*, 13(4), 1207. <https://doi.org/10.3390/nu13041207>
27. Piras, F., Fois, M., Schirru, E., & Porcedda, C. (2023). Edible insects: A historical and cultural perspective on entomophagy with a focus on Western societies. *Insects*, 14(8), 690. <https://doi.org/10.3390/insects14080690>
28. Podlesnik, J. (2025). Pupal development and adult acclimation temperatures influence the cold and heat tolerance in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Thermal Biology*, 128, 103925. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2025.103925>
29. Rațu, R. N., Velescu, I. D., Stoica, F., Usturoi, A., Arsenoaia, V. N., Crivei, I. C., Postolache, A. N., Lipșa, F. D., Filipov, F., Florea, A. M., Chițea, M. A., & Brumă, I. S. (2023). Application of agri-food by-products in the food industry. *Agriculture*, 13(8), 1559. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081559>
30. Rho, M. S., & Lee, K. P. (2016). Balanced intake of protein and carbohydrate maximizes lifetime reproductive success in the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Insect Physiology*, 91, 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2016.06.004>
31. Riaz, K., Iqbal, T., Khan, S., Usman, A., Al-Ghamdi, M. S., Shami, A., El Hadi Mohamed, R. A., Almadiy, A. A., Al Galil, F. M. A., Alfuhaid, N. A., Ahmed, N., & Alam, P. (2023). Growth optimization and rearing of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as a sustainable food source. *Foods*, 12(9), 1891. <https://doi.org/10.3390/foods12091891>
32. Rumbos, C. I., Karapanagiotidis, I. T., Mente, E., Psoufakis, P., & Athanassiou, C. G. (2020). Evaluation of various commodities for the development of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*. *Scientific Reports*, 10, 11224. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67363-1>
33. Schlüter, O., Rumpold, B., Holzhauser, T., Roth, A., Vogel, R. F., Quasigroch, W., Vogel, S., Heinz, V., Jäger, H., Bandick, N., Kulling, S., Knorr, D., Steinberg, P., & Engel, K.-H. (2017).

- Safety aspects of the production of foods and food ingredients from insects. *Molecular Nutrition & Food Research*, 61(1). <https://doi.org/10.1002/mnfr.201600520>
34. Shafique, L., Abdel-Latif, H. M. R., Hassan, F., Alagawany, M., Naiel, M. A. E., Dawood, M. A. O., Yilmaz, S., & Liu, Q. (2021). The feasibility of using yellow mealworms (*Tenebrio molitor*): Towards a sustainable aquafeed industry. *Animals*, 11(3), 811. <https://doi.org/10.3390/ani11030811>
 35. Skrodenytė-Arbačiauskienė, V., Bumbulytė, G., Auškalnis, A., Marčėnas, J., & Būda, V. (2026). Gut microbiota and frass volatiles: behavioral responses of *Tenebrio molitor* and *Tenebrio obscurus*. *Journal of Pest Science*, 99, 53. <https://doi.org/10.1007/s10340-025-02012-y>
 36. Spochacz, M., Chowański, S., Szymczak, M., Lelario, F., Bufo, S. A., & Adamski, Z. (2018). Sublethal effects of *Solanum nigrum* fruit extract and its pure glycoalkaloids on the physiology of *Tenebrio molitor* (mealworm). *PLOS ONE*, 13(3), e0194703. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194703>
 37. Sulastri, E., Zubair, M. S., Rinidar, R., Khairan, K., Idroes, R., Tallei, T. E., Mardhatillah, F., Soraya, C., Nasir, M., & Emran, T. B. (2022). Coffee by-products as the source of antioxidants: A systematic review. *SAGE Open Medicine*, 10, 1–14. <https://doi.org/10.1177/20503121211058252>
 38. Šablevičius, B. (2011). *Vabalai*. Lututė.
 39. Trevisanato, G., Mancini, S., Soglia, D., Schiavone, A., & Colombino, E. (2026). Growth performances and nutritional values of *Tenebrio molitor* larvae: Influence of different agro-industrial by-product diets. *Foods*, 15(2), 393. <https://doi.org/10.3390/foods15020393>
 40. Tsoupras, A., Ni, V. L. J., O'Mahony, É., & Karali, M. (2024). A review on apple pomace bioactives for natural functional food and cosmetic products with therapeutic health-promoting properties. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(19), 10856. <https://doi.org/10.3390/ijms251910856>
 41. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2022). *World population prospects 2022: Summary of results*. United Nations. <https://population.un.org/wpp/>
 42. Verardi, A., Sangiorgio, P., Moliterni, S., Spagnoletta, A., Dimatteo, S., Bassi, D., Cortimiglia, C., Rebuzzi, R., & Palazzo, S. (2025). *Tenebrio molitor* frass: A cutting-edge biofertilizer for sustainable agriculture and advanced adsorbent precursor for environmental remediation. *Agronomy*, 15(3), 758. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030758>
 43. Verhoeckx, K. C. M., van Broekhoven, S., den Hartog-Jager, C. F., Gaspari, M., de Jong, G. A. H., Wichers, H. J., van Hoffen, E., Houben, G. F., & Knulst, A. C. (2014). House dust mite

- (Der p 10) and crustacean allergic patients may react to food containing yellow mealworm proteins. *Food and Chemical Toxicology*, 72, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.06.032>
44. Vrontaki, M., Adamaki-Sotiraki, C., Rumbos, C. I., Anastasiadis, A., & Athanassiou, C. G. (2024a). Bridging the gap: Scaling up the sustainable production of the yellow mealworm with agricultural by-products – Insights into larval growth and body composition. *Agriculture*, 14(4), 520. <https://doi.org/10.3390/agriculture14040520>
 45. Vrontaki, M., Adamaki-Sotiraki, C., Rumbos, C. I., Anastasiadis, A., & Athanassiou, C. G. (2024b). Valorization of local agricultural by-products as nutritional substrates for *Tenebrio molitor* larvae: A sustainable approach to alternative protein production. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(24), 35760–35768. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33564-8>
 46. Vulić, J. J., Čebović, T. N., Čanadanović-Brunet, J. M., Četković, G. S., Čanadanović, V. M., Djilas, S. M., & Tumbas Šaponjac, V. T. (2014). In vivo and in vitro antioxidant effects of beetroot pomace extracts. *Journal of Functional Foods*, 6, 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.10.003>
 47. Zhang, J., Dong, Y., Song, K., Wang, L., Li, X., Tan, B., Lu, K., & Zhang, C. (2022). Effects of the replacement of dietary fish meal with defatted yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) on juvenile large yellow croakers (*Larimichthys crocea*) growth and gut health. *Animals*, 12(19), 2659. <https://doi.org/10.3390/ani12192659>
 48. Zhang, Q., Sun, H., Gao, Z., Zhao, H., Peng, Z., & Zhang, T. (2024). Evaluation of effective energy values of six protein ingredients fed to Beagles and predictive energy equations for protein feedstuff. *Animals*, 14(11), 1599. <https://doi.org/10.3390/ani14111599>
 49. Zunzunegui, I., Martín-García, J., Santamaría, Ó., & Poveda, J. (2024). Analysis of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) frass as a resource for sustainable agriculture in the current context of insect farming industry growth. *Journal of Cleaner Production*, 460, 142608. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142608>
 50. Ferri, I., Dametti, M. R., Frazzini, S., Dell'Anno, M., & Rossi, L. (2025). Valorization of carob and brewer's spent grain as growth-substrate supplements in *Tenebrio molitor* rearing. *Animals*, 15(12), 1697. <https://doi.org/10.3390/ani15121697>