

Akvakultūra klimato kaitos amžiuje

Vytauto Didžiojo universitetas

Vlasta BARTULOVIĆ, Anželika DAUTARTĖ, Ergün DEMİR,
Tatjana DOBROSLAVIČ, Dimitris KLAUDATOS, Halyna KRUSIR,
Maryna MARDAR, Olha SAHDIEIEVA, Muhittin ZENGİN,
Alvydas ŽIBAS, Gražina ŽIBIENĖ

Akvakultūra klimato kaitos amžiuje

Metodinis leidinys

Atsakingoji redaktorė Anželika DAUTARTĖ



Kaunas, 2025

Recenzentai:

doc. dr. Midona DAPKIENĖ, Vytauto Didžiojo universitetas

doc. dr. Daiva ŠILEIKIENĖ, Vytauto Didžiojo universitetas

Metodinis leidinys apsarstytytas ir rekomenduotas leidybai Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto tarybos posėdyje 2025 m. birželio 20 d. (protokolo Nr. 2025-05).

Atsakingoji redaktorė Anželika DAUTARTĖ

Leidinyje parengtas įgyvendinant „Erasmus+“ projektą „Skaitmeninė mėlynoji karjera įveikus anglies krizę – akvakultūros mokymo programos naujovės [DiBluCa]“ (Nr. 2023-1-LT01-KA220-HED-000154247)

Šis projektas finansuojamas Europos Komisijos. Leidinys atspindi tik autorių ir projekto partnerių požiūrį, o Komisija negali būti laikoma atsakinga už bet kokią joje esančios informacijos panaudojimą.

Visos teisės saugomos. Šis leidinys be leidėjo pirminio sutikimo negali būti dauginamas, saugomas paieškos sistemoje ar perduodamas jokia forma ar jokiais priemonėmis, elektroniniu, mechaniniu, kopijavimo, įrašymo ar kitokiu būdu, išskyrus citatas, naudojamas sklaidai.

Vertimas į lietuvių kalbą iš „Aquaculture for a Climate-Resilient Future“

Editor Anželika DAUTARTĖ

© Vytautas Magnus University, Lithuania, 2025

ISBN 978-609-467-671-0 (Print)

ISBN 978-609-467-672-7 (Online)

<https://doi.org/10.7220/9786094676727>

Bibliografinė informacija pateikiama Lietuvos integralios bibliotekų informacinės sistemos (LIBIS) portale *ibiblioteka.lt*.

ISBN 978-609-467-673-4 (spausdintas)

ISBN 978-609-467-674-1 (internetinis)

<https://doi.org/10.7220/9786094676741>

© Vlasta BARTULOVIĆ, Anželika DAUTARTĖ,
Ergün DEMİR, Tatjana DOBROSLAVIĆ,
Dimitris KLAUDATOS, Halyna KRUSIR,
Maryna MARDAR, Olha SAHDIEIEVA,
Muhittin ZENGİN, Alvydas ŽIBAS,
Gražina ŽIBIENĖ (autoriai), 2025

© Anželika Dautartė (vertimas į lietuvių kalbą), 2025

© Vytauto Didžiojo universitetas, 2025

Pasaulis, kuriame gyvename, sparčiai keičiasi. Kylanti temperatūra, ekstremalūs orų reiškiniai, vandenynų rūgštėjimas ir vandens lygio svyravimai – tai tik keli ženklai, rodantys, jog klimato kaita nėra tolima ateitis, o jau dabar vykstantis procesas, paliečiantis visus – žmones, ekosistemas, ūkius ir bendruomenes. Vienas iš sektorių, jautriausiai reaguojančių į šiuos pokyčius, yra akvakultūra – žuvininkystės šaka, kuri ne tik aprūpina vis daugiau pasaulio gyventojų baltymais, bet ir tampa tvarios maisto gamybos simboliu.

Šio leidinio tikslas – padėti suprasti, kaip klimato kaita veikia akvakultūrą, ir kartu parodyti, kokių sprendimų bei žinių reikia, kad galėtume užtikrinti atsparų, etišką ir ilgalaikį šios srities vystymąsi. Čia susipina mokslas, technologijos ir praktika, o svarbiausia – žmonių gebėjimas prisitaikyti, bendradarbiauti ir imtis pokyčių.

Knygoje apžvelgiami ne tik aplinkos pokyčių padariniai – nuo šiluminio streso, ligų plitimo, pašarų efektyvumo iki genetinio prisitaikymo ir biotechnologijų taikymo, – bet ir tai, kokios sistemos, metodai bei politiniai sprendimai gali padėti sektoriui judėti pirmyn. Nagrinėjama, kaip pritaikyti recirkuliacines sistemas ar integruotą daugiapakopę akvakultūrą, kaip valdyti šėrimą kintančios temperatūros sąlygomis ar kaip pasitelkti inovacijas kovojant su rūgštėjančiais vandenimis.

Tačiau šis leidinys – ne tik apie sistemas ir technologijas. Tai – apie žmones. Apie studentus, kurie kurs ateities mėlynąją ekonomiką. Apie dėstytojus, formuojančius vertybes. Apie ūkininkus ir tyrėjus, ieškančius sprendimų vietos ir pasaulio mastu. Apie visus, kuriems rūpi, koki palikimą paliksime ateities kartoms.

Leidinyje parengtas kaip projekto „Skaitmeninė mėlynoji karjera įveikus anglies krizę – akvakultūros mokymo programos naujovės“ (*The Digital Blue Career for a Post-Carbon Future – Curriculum Innovations in Aquaculture*) dalis. Tai – kvietimas pažvelgti giliau, mąstyti tvariai ir veikti atsakingai. Nes akvakultūra klimato kaitos epochoje – tai ne tik iššūkis, bet ir galimybė.

Doc. dr. Anželika Dautartė
VDU ŽŪA Miškų ir ekologijos fakulteto
Aplinkos ir ekologijos katedra

SANTRUMPOS

BE – bendroji energija

DHR – dokozaheksaeno rūgštis (polinesočioji omega-3 riebalų rūgštis)

DO – daugiaobjektis optimizavimas

EPR – eikozapentaeno rūgštis (polinesočioji omega-3 riebalų rūgštis)

GCV – gyvavimo ciklo vertinimas

GE – grynoji energija

IDAS – integruota daugiapakopė akvakultūra

KDŽ – kenksmingų dumblių žydėjimas

PER – pašarų efektyvumo rodiklis

pH – vandens rūgštingumo arba šarmingumo matas

PKK – pašarų konversijos koeficientas

PNRR – polinesočiosios riebalų rūgštys

ppt – dalelių skaičius milijonui

RAS – recirkuliacinės akvakultūros sistemos

ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos

TURINYS

Ižanga	5
Santrumpos	6
1 skyrius. Pasaulinio atšilimo poveikis vandens kokybei ir akvakultūrai.....	9
Įvadas	9
1.1. Pasaulinio atšilimo poveikis vandens kokybei	10
1.2. Pasaulinio atšilimo poveikis akvakultūrai.....	21
Santrauka	28
Literatūra	29
2 skyrius. Akvakultūros poveikis aplinkai pasaulinio atšilimo požiūriu.....	32
Įvadas.....	32
2.1. Šiltnamio efektą sukeliančios dujos ir anglies pėdsakas	33
2.2. Energijos sąnaudos ir tvarumas.....	37
2.3. Žemės naudojimo ir buveinių pokyčiai	39
2.4. Pašarų gamyba ir išteklių naudojimas	42
2.5. Tarša ir likutinės medžiagos	46
Santrauka	49
Literatūra	50
3 skyrius. Pasaulinis atšilimas ir veisimas, biotechnologijų taikymas akvakultūroje... 55	55
Įvadas	55
3.1. Klimato kaita ir vandens rūšių reprodukcija	56
3.2. Pažangūs veislininkystės metodai	58
3.3. Genų inžinerija ir CRISPR	62
3.4. Kriokonservavimas ir pagalbiniis apvaisinimas.....	71
3.5. Etiniai, aplinkosaugos ir reguliavimo aspektai.....	77
Santrauka	82
Literatūra	84

4 skyrius. Kaip dėl pasaulinio atšilimo turėtų keistis žuvų mityba ir šėrimo praktika akvakultūroje?	87
Įvadas.....	87
4.1. Klimato kaitos įtaka žuvų mitybos fiziologijai	89
4.2. Tvarūs pašarų ingredientai akvakultūroje	91
4.3. Šėrimo valdymo strategijos.....	101
4.4. Vandenyne rūgštėjimo poveikio mažinimas.....	103
4.5. Pašarų efektyvumo didinimas.....	106
Santrauka	111
Literatūra	112
5 skyrius. Ligos akvakultūroje klimato kaitos kontekste ir apsaugos priemonės	121
Įvadas	121
5.1. Dažniausios ligos ir jų poveikis vandens organizmams.....	123
5.2. Apsaugos priemonės ir inovatyvūs sprendimai	134
5.3. Klimato kaitos įtaka ligų plitimui ir ateities iššūkiai.....	144
Santrauka.....	147
Literatūra	147
6 skyrius. Akvakultūros sistemų pasirinkimas atsižvelgiant į pasaulinį atšilimą	149
Įvadas	149
6.1. Pasaulinio atšilimo keliamų iššūkių poveikis akvakultūros sistemoms.....	151
6.2. Klimato kaitai atsparių sistemų atrankos kriterijai	152
6.3. Inovatyvios sistemos klimato iššūkiams spręsti	156
6.4. Politiniai, ekonominiai ir socialiniai aspektai	158
Santrauka.....	160
Literatūra	161
Žodynas.....	164



Funded by
the European Union



Skaitmeninė mėlynoji karjera įveikus anglies krizę – akvakultūros mokymo programos naujovės [DiBluCa]
2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

1 skyrius. Pasaulinio atšilimo poveikis vandens kokybei ir akvakultūrai

Doc. dr. Anželika Dautartė
Vytauto Didžiojo universitetas

Įvadas

Dėl klimato kaitos kylanti pasaulinė temperatūra daro reikšmingą poveikį vandens ekosistemoms, ypač vandens organizmų medžiagų apykaitos ir augimo procesams. Aukštesnė temperatūra spartina medžiagų apykaitą ir didina deguonies poreikį, todėl gali kilti sunkumų augimo ir dauginimosi procesuose. Šiame skyriuje analizuojama temperatūros pokyčių sąveika su vandens rūšių fiziologiniais procesais bei pateikiamos išvalgos apie tai, kaip ši dinamika veikia vandens kokybę ir visos ekosistemos sveikatą. Klimato kaita taip pat daro didelį poveikį pakrančių bei estuarijų ekosistemoms, kur druskingumo svyravimai yra vienas svarbiausių padarinių. Tirpstant poliariniam ledui ir keičiantis kritulių režimui, ypač regionuose, esančiuose šalia gėlo vandens pritekėjimo zonų, druskingumo lygio pokyčiai tampa ryškesni. Šie pokyčiai kelia iššūkių vandens organizmams, kurie yra priklausomi nuo stabilių druskingumo sąlygų, ir gali keisti ekosistemų struktūrą bei kelti grėsmę biologinei įvairovei (Guimbeau et al., 2024; Mensah et al., 2025).

Dėl klimato kaitos vykstantys druskingumo pokyčiai dar labiau trikdo jūrų ekosistemas. Dėl tirpstančio poliarinio ledo, pakitusio kritulių režimo ir didėjančio garavimo intensyvumo atsirandantys druskingumo svyravimai veikia jūrinių rūšių pasiskirstymą, mažina biologinę įvairovę ir apsunkina akvakultūros veiklą. Dėl žemės ūkio nuotekų, pramonės teršalų ir miestų taršos stiprėja eutrofikacijos

procesai, kurie sukelia žalingą vandens žydėjimą, deguonies trūkumą ir rimtus jūrų bei gėlo vandens ekosistemų sutrikimus. Eutrofikacija, vis labiau plintanti dėl antropogeninio poveikio ir klimato kaitos, sukelia plataus masto ekologines ir ekonomines pasekmes (Zhang et al., 2024; Mensah et al., 2025).

Vandens prieinamumui ir kokybei vis didesnę grėsmę kelia klimato kaita ir žmogaus veikla. Dėl kylančios temperatūros ir nenusipėjamo kritulių kiekio visame pasaulyje keičiasi hidrologiniai ciklai. Kartu dėl taršos ir netinkamo valdymo blogėjanti vandens kokybė kelia didelių problemų ekosistemoms ir žmonių populiacijoms (DeNicola et al., 2015; Moussa et al., 2025). Pasaulinis atšilimas taip pat kelia iššūkių akvakultūrai, nes keičiasi aplinkos sąlygos, būtinos vandens rūšims. Kylant vandens temperatūrai, daugeliui rūšių sunku klestėti už jų optimalaus šiluminio diapazono ribų, todėl mažėja derlius ir didėja mirtingumas. Be to, šiltesniuose vandenyse susidaro palankios sąlygos patogenams ir parazitams, todėl didėja rizika akvakultūrai (DeNicola et al., 2015; Moussa et al., 2025). Šios tarpusavyje susijusios problemos daro didelę įtaką akvakultūros tvarumui ir pelningumui.

Dėl pasaulinio atšilimo keičiasi geografinis akvakultūros zonų pasiskirstymas. Kylanti jūros vandens temperatūra, kintančios vandenyno srovės ir kritulių struktūra keičia tradicinių akvakultūros regionų tinkamumą. Dėl šių pokyčių reikia strategiškai prisitaikyti, pavyzdžiui, perkelti veiklą į naujas tinkamas zonas, taip pat spręsti invazinių rūšių, kurios klesti pakitusiomis sąlygomis ir trikdo vietines ekosistemas, keliamas problemas. Šie trikdžiai turi didelių socialinių, ekonominių ir aplinkosaugos pasekmių, todėl politikos formuotojai, tyrėjai ir pramonės suinteresuotosios šalys turi nedelsiant skirti jiems dėmesio.

1.1. Pasaulinio atšilimo poveikis vandens kokybei

Temperatūros pokyčiai ir jų poveikis ekosistemoms

Šiluminės stratifikacijos ir deguonies trūkumo mechanizmai

Šiluminė stratifikacija atsiranda, kai dėl vandens temperatūros skirtumų vandens telkinyje susiformuoja atskiri sluoksniai. Šį procesą dar labiau stiprina pasaulinis atšilimas, nes, kylant vandens paviršiaus temperatūrai, šiltesnio, lengvesnio paviršinio vandens ir vėsesnio, tankesnio giluminio vandens atskyrimas tampa intensyvesnis. Susidarę sluoksniai trukdo vertikaliam maišymuisi ir riboja deguonies judėjimą žemyn bei maistinių medžiagų kilimą į paviršių. Dėl to gilesniuose

sluoksniuose mažėja deguonies kiekis, susidaro hipoksinės arba anoksinės sąlygos, kurios daro reikšmingą poveikį jūrų ekosistemoms (Bhuiyan et al., 2024; Burke et al., 2022).

Deguonies trūkumas ypač ryškus tose vietovėse, kuriose silpna vandens cirkuliacija ir vyksta intensyvus organinių medžiagų irimas, pavyzdžiui, Ramiojo vandenyno rytinėje atogrąžų dalyje ir Arabijos jūroje yra plačios deguonies minimumo zonos (DMZ), kuriose ištirpusio deguonies koncentracija nesiekia 20 $\mu\text{mol/l}$ ir kurios driekiasi nuo 100 iki 1000 metrų gylyje. Šiuose regionuose išryškėja lėtos vandenynų cirkuliacijos, organinių medžiagų irimo ir riboto deguonies papildymo sąveika (Bhuiyan et al., 2024).

Regioninės ir pasaulinės tendencijos

Nuo 1960 m. visame pasaulyje deguonies kiekis vandenynuose sumažėjo maždaug 2 proc. Ši tendencija siejama su intensyvėjančia stratifikacija, eutrofikacija ir atšilimu. Pakrančių regionuose, įskaitant Meksikos įlanką ir Česapiko įlanką, smarkiai išsiplėtė hipoksinės zonos, paprastai vadinamos „negyvosiomis zonomis“. Šių zonų formavimasi daugiausia lemia maistinių medžiagų nuotėkis, skatinantis dumblių žydėjimą, kuris didina organinių medžiagų irimą ir deguonies suvartojimą (Bhuiyan et al., 2024).

Palydoviniai modeliai suteikia vertingų įžvalgų apie ištirpusio deguonies dinamiką ir parodo, kaip temperatūros bei druskingumo pokyčiai koreliuoja su deguonies kiekiu. Pavyzdžiui, regionuose, kuriuos veikia bangavimas, kaip Kalifornijos srovėje, stebimas didesnis deguonies kintamumas dėl maistingųjų medžiagų turtingų šaltųjų vandenų ir biologinio produktyvumo sąveikos (Sundararaman & Shanmugam, 2024).

Poveikis jūrų gyvybei

Deguonies trūkumas daro tiesioginį poveikį vandens organizmams – mažėja tinkamų gyventi buveinių plotai ir kinta ekosistemų dinamika. Labiausiai nukenčia sėslūs organizmai bei dugno fauna, nes jie negali išvengti žemo deguonies kiekio sąlygų. Judrūs organizmai, tokie kaip žuvis ir kai kurie bestuburiai, susiduria su buveinių suspaudimu – jie verčiami migruoti į seklesnius, deguonies turtingesnius vandens sluoksnius, kur didėja konkurencija dėl išteklių ir plėšrūnų poveikio rizika. Ilgalaikė hipoksija taip pat gali trikdyti organizmų augimą ir dauginimąsi, todėl mažėja ir komerciškai svarbių rūšių populiacijos (Burke et al., 2022; Sundararaman & Shanmugam, 2024).

Poveikio mažinimo strategijos

1. **Glaudesnė stebėseną.** Nuotolinio stebėjimo technologijų ir biogeocheminių modelių pažanga leidžia realiuoju laiku stebėti deguonies bei maistinių medžiagų pokyčius vandenyje. Tai padeda laiku identifikuoti hipoksines sąlygas ir imtis prevencijos veiksmų.

2. **Maistinių medžiagų kontrolė.** Eutrofikacijos ir su ja susijusio deguonies mažėjimo poveikį galima sumažinti mažinant žemės ūkio nuotėkį, skatinant tvaraus ūkininkavimo praktikas bei optimizuojant trąšų naudojimą.

3. **Deguonies tiekimo sistemos.** Kai kuriose akvakultūros arba uždaro tipo vandens telkinių sistemose gali būti taikomos dirbtinio deguonies tiekimo technologijos, siekiant išvengti deguonies stygiaus (Burke et al., 2022).

4. **Klimato kaitos švelninimas.** Siekiant sumažinti temperatūros kilimą ir vandens sluoksnių stratifikaciją, būtina mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų – ypač anglies dioksido – išmetimą. Tokios priemonės padeda apsaugoti jūrų ekosistemas ir palaikyti biologinę įvairovę (Bhuiyan et al., 2024).

Medžiagų apykaitos greitis ir deguonies poreikis

Aukštesnė vandens temperatūra tiesiogiai veikia organizmų medžiagų apykaitą – didėjant temperatūrai, spartėja metaboliniai procesai, todėl padidėja deguonies poreikis. Tuo pat metu deguonies tirpumas vandenyje mažėja, o tai lemia vadinamąją temperatūrinę hipoksiją. Tokios sąlygos riboja organizmų aerobines galimybes (Seibel, 2024). Tyrimai rodo, kad metabolinis indeksas – rodiklis, vertinantis deguonies pasiūlos ir paklausos santykį – mažėja su temperatūra, dėl to deguonies nepakanka augimo ir dauginimosi procesams palaikyti (Deutsch et al., 2020).

Ypač pažeidžiamos žuvis, kurių deguonies poreikis stipriai padidėja šiltesniuose vandenyse. Dėl sumažėjusio deguonies tirpumo ir intensyvios medžiagų apykaitos šios rūšys patiria fiziologinį stresą, kuris riboja jų augimą, mažina išgyvenamumą ir gali sutrikdyti populiacijos dinamiką. Didžiausią riziką patiria rūšys, gyvenančios sekliuose ar stipriai susisluoksniavusiuose (stratifikavusiuose) vandens telkiniuose (Okon et al., 2024).

Įtaka žuvų augimui ir dauginimuisi

Padidėjusi vandens temperatūra ženkliai veikia vandens organizmų augimo ir dauginimosi procesus. Dėl šiltesnių sąlygų daugelis žuvų rūšių pasiekia lytinę brandą anksčiau, tačiau jų gyvenimo trukmė sutrumpėja. Tai sutrikdo populiacijų struktūrą ir gali lemti ilgalaikį ekosistemų disbalansą (Liu et al., 2024). Be to, aukštesnė temperatūra gali neigiamai paveikti gametų (lytinių ląstelių) kokybę ir

sumažinti neršto sėkmę, dėl ko mažėja reprodukcinis produktyvumas. Pavyzdžiui, žuvų rūšys Ramiojo vandenyno šiaurės vakarinėje dalyje parodė pokyčius savo reprodukcinėse strategijose, tiesiogiai reaguodamos į pakitusius šilumos režimus. Tai rodo, kad temperatūra yra svarbus veiksnys, lemiantis gyvenimo istorijos ypatumus (Liu et al., 2024).

Poveikis ekosistemų sveikatai

Padidėjęs medžiagų apykaitos greitis šiltesniuose vandenyse sukelia daugiapakopį poveikį visai ekosistemai. Organizmai intensyviau pasisavina maistines medžiagas ir išskiria daugiau metabolinių atliekų, o tai gali sustiprinti eutrofikacijos procesus, ypač maistingųjų medžiagų turtinguose vandens telkiniuose. Ilgalaikis terminis stresas silpnina organizmų imuninę sistemą, todėl padidėja jų jautrumas ligoms ir patogenams. Toks poveikis jau stebimas pasaulinėse akvakultūros sistemose, kur klimato kaitos sąlygotas stresinis fonas skatina infekcinių ligų protrūkius (Okon et al., 2024). Šios sąveikos pabrėžia būtinybę diegti integruotas ekosistemų valdymo strategijas, kurios leistų sušvelninti klimato kaitos poveikį vandens aplinkai ir išsaugoti jos atsparumą.

Prisitaikymo atsakas ir poveikio mažinimo strategijos

Vandens organizmai pasižymi skirtingo laipsnio fenotipiniu plastiškumu, leidžiančiu jiems prisitaikyti prie kintančių aplinkos sąlygų, įskaitant šiluminį stresą. Pavyzdžiui, eurihalinės rūšys gali keisti savo osmoreguliacijos mechanizmus, kad atlaikytų padidėjusį druskingumą ir temperatūros svyravimus (Esbaugh, 2025). Tačiau tokių fiziologinių prisitaikymų galimybes riboja organizmo energijos ištekliai, todėl vien prisitaikymas nėra pakankamas ilgalaikiam išlikimui. Dėl to būtina diegti aktyvias šiluminio poveikio švelninimo strategijas. Viena iš jų – pakrančių augalijos atkūrimas, kuris padeda sudaryti natūralų pavėsį, mažinantį vandens telkinių išilimą. Kita svarbi priemonė – vandens srauto didinimas stratifikacijai būdingose sistemose, siekiant pagerinti deguonies pasiskirstymą ir palaikyti ekosistemos funkcionalumą. Be šių vietinių sprendimų, būtinos ir globalios priemonės – visų pirma šiltnamio efektą sukeliančios dujų emisijos mažinimas, siekiant sulėtinti klimato kaitos sukeltą temperatūros kilimą (Seibel, 2024).

Cheminė sudėtis: rūgštingumas, druskingumas ir maistinės medžiagos

pH lygis ir vandenynų rūgštėjimas

Vienas iš svarbiausių vandenynų rūgštėjimo veiksnių – anglies dioksido (CO_2) absorbcija iš atmosferos. Nuo priešindustrinės eros vandenynų paviršinio sluoksnio pH reikšmė sumažėjo maždaug 0,1 vieneto, o tai atitinka apie 26 proc. padidėjusią vandenilio jonų koncentraciją (Duarte et al., 2022). Rūgštėjimo procesas vyksta dėl to, kad CO_2 , tirpdamas jūros vandenyje, sudaro angliarūgštę, kuri vėliau disocijuoja į bikarbonato (HCO_3^-) ir vandenilio (H^+) jonus. Pastarieji sumažina pH lygį ir karbonato (CO_3^{2-}) jonų prieinamumą (Grabba et al., 2024). Karbonato jonai būtini kalcifikuojantiems organizmams, tokiems kaip moliuskai ar koralai, kurie naudoja kalcio karbonatą (CaCO_3) savo kiautams ir skeletams formuoti. Dėl karbonatų stokos jų struktūros tampa plonesnės, silpnesnės, o skeleto formavimosi procesai – sutrikę, kas kelia grėsmę šių rūšių išlikimui (Andrejeva et al., 2024).

Vandenynų rūgštėjimas daro didelį poveikį kalcifikuojantiems organizmams, kurie ypač jautriai reaguoja į karbonatų prisotinimo būsenos pokyčius. Laboratoriniai tyrimai su dvigeldžiais moliuskais, tokiais kaip midijos ir austrės, rodo, kad sumažėjęs pH trukdo kriauklių formavimuisi, sulėtina vystymąsi ir padidina mirtingumą ankstyvaisiais gyvenimo etapais (Hamilton et al., 2022). Pavyzdžiui, midija *Mytilus galloprovincialis*, nors ir pasižymi tam tikru atsparumu žemam pH, rūgštinėmis sąlygomis patiria daugiau kiauto pažeidimų, sulėtėja augimo tempas (Andrejeva et al., 2024). Toks fiziologinis stresas kelia pavojų rūšies išlikimui ir produktyvumui tiek natūraliose buveinėse, tiek akvakultūros sistemose.

Vandenynų rūgštėjimas taip pat veikia nekalkines rūšis – keičia jų jutimo funkcijas, augimą ir dauginimąsi. Pastebėti žuvų ir bestuburių elgsenos pokyčiai, tokie kaip sumažėjęs plėšrūnų vengimas ir pakitusios buveinių pasirinkimo strategijos, esant žemam pH (Grabba et al., 2024). Be to, rūgštėjimas, veikiantis kartu su kitais stresą sukeliančiais veiksniais, pavyzdžiui, hipoksija, dar labiau sustiprina neigiamą poveikį, todėl bendras spaudimas jūrų biologinei įvairovei didėja (Andrejeva et al., 2024).

Ekonominės ir ekologinės pasekmės

Vandenynų rūgštėjimo ekonominės pasekmės yra labai didelės, ypač pramonės šakoms, priklausomoms nuo kalcifikuojančių organizmų. Moliuskų žvejyba ir akvakultūra susiduria su dideliais iššūkiais – prognozuojama, kad dėl pablogėjusios kriauklių kokybės ir išlikimo rodiklių sumažės produkcijos ir rinkos vertė (Mangi

et al., 2018). Jungtinėje Karalystėje ekonominiai nuostoliai, priskiriami vandenynų rūgštėjimui, gali siekti nuo 14 proc. iki 28 proc. žuvininkystės grynosios dabartinės vertės pagal didelės emisijos scenarijus (Mangi et al., 2018). Šis ekonominis spaudimas rodo, kad būtina skubiai spręsti rūgštėjimo problemą siekiant apsaugoti jūrų išteklius ir pragyvenimo šaltinius.

Ekologiniu požiūriu jūrų mitybos tinklų suardymas kelia didelį susirūpinimą. Sumažėjusios kalcifikuojančių organizmų populiacijos gali turėti daugiapakopį poveikį plėšrūnų ir grobuonių dinamikai, maistinių medžiagų apykaitai ir bendram ekosistemos stabilumui (Duarte et al., 2022). Integruoti metodai, pavyzdžiui, daugiatautės akvakultūros sistemos, yra perspektyvūs siekiant sušvelninti šį poveikį, naudojant jūrų dumblius pH lygiui sušvelninti ir kalcifikuojančioms rūšims palai-kyti (Hamilton et al., 2022).

Poveikio švelninimo strategijos ir ateities perspektyvos

Vandenynų rūgštėjimas sukelia reikšmingas ekonomines pasekmes, ypač toms pramonės šakoms, kurios priklauso nuo kalcifikuojančių organizmų. Moliuskų žvejyba ir akvakultūra susiduria su dideliais iššūkiais – dėl pablogėjusios organizmų kokybės ir sumažėjusio išgyvenamumo prognozuojamas produkcijos mažėjimas bei rinkos vertės kritimas (Mangi et al., 2018). Pavyzdžiui, Jungtinėje Karalystėje ekonominiai nuostoliai, susiję su vandenynų rūgštėjimu, gali sudaryti nuo 14 proc. iki 28 proc. žuvininkystės grynosios dabartinės vertės pagal didelę emisiją scenarijus (Mangi et al., 2018). Šios prognozės pabrėžia būtinybę skubiai imtis veiksmų, siekiant apsaugoti jūrų išteklius ir su jais susijusius pragyvenimo šaltinius.

Ekologiniu požiūriu didžiausią nerimą kelia jūrų mitybos tinklų destabilizacija. Sumažėjus kalcifikuojančių organizmų populiacijoms, kyla daugiapakopis poveikis plėšrūnų ir grobio santykiams, trikdoma maistinių medžiagų apykaita ir mažėja bendras ekosistemų stabilumas (Duarte et al., 2022). Perspektyvia švelninimo priemonė laikomi integruoti sprendimai, tokie kaip integruotos akvakultūros sistemos. Jose jūrų dumbliai gali būti naudojami pH lygiui mažinti, taip sukuriant palankesnes sąlygas kalcifikuojančių rūšių išlikimui (Hamilton et al., 2022).

Druskingumo pokyčius lemiantys mechanizmai

Pagrindiniai druskingumo svyravimus lemiantys veiksniai yra gėlo vandens pritekėjimas dėl ledynų tirpimo, padidėjęs kritulių kiekis ir sezoniniai upių nuotėkio svyravimai. Pavyzdžiui, šiaurinėje Aliaskos įlankos dalyje gėlo vandens patekimas iš ledynmečio paveiktų baseinų lemia ryškius sezoninius ir erdvinius druskingumo svyravimus. Šiuos pokyčius dar labiau moduliuoja vėjo sukeltas maišymasis

ir pakrantės srovės, kurios daro įtaką gėlo vandens srautų pasiskirstymui (Reister et al., 2024). Panašiai Beringo jūroje dėl sumažėjusio jūros ledo kaupimosi ir padidėjusio tirpstančio vandens kiekio įvyko didelis gėlų vandenų atvėsimas, dėl kurio susilpnėjo stratifikacija ir pasikeitė maistinių medžiagų apykaita (Mensah et al., 2025).

Poveikis jūrų ir estuarijų organizmams

Upių žiotyse ir pakrančių regionuose gyvenantys organizmai yra itin jautrūs druskingumo pokyčiams. Rūšims, kurių fiziologija priklauso nuo pastovaus druskingumo, pavyzdžiui, vėžiagyviams ir tam tikroms žuvims, svyravimai gali sutrikdyti pagrindinius fiziologinius procesus – osmoreguliaciją, augimą ir dauginimąsi (Guimbeau et al., 2024). Pavyzdžiui, tyrimai Bangladeše parodė, kad padidėjęs druskingumas jaunikių vystymosi laikotarpiu lėtina jų augimą, o tai rodo ir didesnes ekologines bei socialines šių pokyčių pasekmes (Guimbeau et al., 2024).

Estuarijose, pavyzdžiui, Čezapeiko įlankoje, dar didesnę stresą kelia druskingumo svyravimų ir maistinių medžiagų pertekliaus derinys. Šiomis sąlygomis stebimas rūšių įvairovės sumažėjimas ir bendrųjų sudėties pokyčiai – mažiau tolerantiškas rūšis dažnai pakeičia oportunistinės, generalistinės (Zhang et al., 2024). Tokie pokyčiai gali turėti daugiapakopį poveikį visos ekosistemos funkcionavimui – silpnėja mitybos tinklų stabilumas ir prastėja ekosistemų teikiamų paslaugų kokybė.

Platesnės ekologinės ir socialinės bei ekonominės pasekmės

Druskingumo pokyčiai daro poveikį ne tik biologinei įvairovei, bet ir pakrančių žvejybos bei akvakultūros produktyvumui. Sūraus vandens skverbimasis į gėlavandenius telkinius sumažina tinkamų buveinių prieinamumą tiek gėlavandenėms, tiek vidutinio druskingumo žuvų rūšims. Tai lemia rūšių pasiskirstymo pokyčius ir mažina tradiciškai žvejojamų išteklių prieinamumą. Akvakultūroje kintantis druskingumas kelia papildomų iššūkių – tampa sunku palaikyti optimalias sąlygas auginamoms rūšims. Tai tiesiogiai veikia jų augimą, sveikatą ir išgyvenamumą, o ilgainiui mažina sektoriaus produktyvumą (Mensah et al., 2025).

Šie pokyčiai taip pat didina socialinį ir ekonominį pažeidžiamumą pakrančių bendruomenėse. Pavyzdžiui, Gango ir Bramaputros deltose stebimas žemės ūkio produktyvumo mažėjimas tiesiogiai susijęs su drėkinimui naudojamo vandens druskėjimu. Tai rodo, kad druskingumo svyravimai daro įtaką ne tik ekosistemoms, bet ir žmonių pragyvenimo šaltiniams bei regiono vystymosi galimybėms (Guimbeau et al., 2024).

Poveikio švelninimo ir prisitaikymo strategijos

Norint veiksmingai spręsti druskingumo svyravimų keliamus iššūkius, būtinos integruotos valdymo strategijos. Viena iš jų – pakrančių augmenijos atkūrimas, ypač mangrovių ir jūros žolių bendrijų. Tokie ekosisteminiai sprendimai padeda stabilizuoti nuosėdas, padidina vandens sulaikymą ir gali sušvelninti staigius druskingumo pokyčius. Kita svarbi priemonė – pažangesnis gėlo vandens įtekėjimo ir druskingumo dinamikos modeliavimas. Šie duomenys leidžia pritaikyti valdymo praktiką vietos lygmeniu, pavyzdžiui, optimizuoti drėkinimo grafikus arba pasirinkti druskai atsparesnes žemės ūkio augalų veisles (Zhang et al., 2024).

Platesniu mastu itin svarbu mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją, siekiant paveikti pagrindines klimato kaitos priežastis, kurios daro įtaką tiek druskingumui, tiek kitiems hidrologiniams procesams. Investicijos į globalias stebėsenos sistemas ir bendruomenių lygmens prisitaikymo planus gali sustiprinti pažeidžiamų regionų atsparumą ilgalaikiams aplinkos pokyčiams (Guimbeau et al., 2024; Mensah et al., 2025).

Druskingumo sukeltų pasiskirstymo pokyčių mechanizmai

Druskingumo svyravimus daugiausia lemia gėlo vandens įtekėjimas, ledynų tirpimas ir kintantys kritulių režimai. Pakrančių regionuose, ypač netoli upių žiočių, dėl sezoninių bei klimato pokyčių stebimi reikšmingi druskingumo svyravimai (Guimbeau et al., 2024). Pavyzdžiui, Vakarų Australijos estuarijose hipersūrumas išsivysto tada, kai sumažėja gėlo vandens įtekėjimas, o garavimo lygis viršija papildomo vandens kiekį. Tokios sąlygos verčia jautrias rūšis migruoti į mažesnio druskingumo teritorijas arba lemia populiacijų mažėjimą (Hoeksema et al., 2023).

Jūrų organizmų gebėjimas toleruoti druskingumo pokyčius yra nevienodas ir daro įtaką jų paplitimui bei bendrijų sudėčiai. Eurihalinės rūšys, galinčios prisitaikyti prie plataus druskingumo intervalo, dominuoja aplinkose, kuriose druskingumas svyruoja. Priešingai, stenohalininės rūšys, kurioms reikalingas pastovus druskingumo lygis, dažnai traukiasi į pastovesnes buveines arba patiria populiacijos nuostolių, kai aplinkos sąlygos nukrypsta nuo optimalių (Rahman & Hung, 2024).

Poveikis rūšių pasiskirstymui ir akvakultūrai

Druskingumo pokyčiai ženkliai keičia jūrinių rūšių erdvinį pasiskirstymą. Pavyzdžiui, giliavandenės rožinės krevetės *Parapenaeus longirostris* Viduržemio jūroje, reaguodamos į klimato atšilimą ir padidėjusį druskingumą, pakeitė savo arealą – populiacijos pasislunko šiaurės kryptimi ir į gilesnius vandens sluoksnius,

siekdamos išvengti mažiau palankių aplinkos sąlygų (Mingote et al., 2024). Tokie poslinkiai trikdo vietos ekosistemas ir žuvininkystės veiklą, nes kinta plėšrūnų ir grobio santykis, keičiasi išteklių pasiskirstymas bei prieinamumas.

Druskingumo kintamumas kelia iššūkių ir akvakultūrai. Pavyzdžiui, šlakių re-produkcija yra itin jautri druskingumui – esant neoptimalioms sąlygoms sumažėja spermos judrumas ir apvaisinimo sėkmė, o tai neigiamai veikia peryklų veiklą, mažėja akvakultūros tvarumas (Rahman & Hung, 2024). Bangladeše laipsniškai didėjantis druskingumas prisidėjo prie akvakultūros produktyvumo mažėjimo ir pakrančių bendruomenių socialinio bei ekonominio pažeidžiamumo didėjimo (Guimbeau et al., 2024).

Platesnis ekologinis ir socialinis bei ekonominis poveikis

Druskingumo sukeltas rūšių pasiskirstymo pokytis daro daugiapakopį poveikį ekosistemų paslaugoms. Bendrijų sudėties pokyčiai veikia maistinių medžiagų apykaitą, pirminę produkciją ir jūrų mitybos tinklų stabilumą (Hoeksema et al., 2023). Pavyzdžiui, estuarinėse sistemose, kuriose susidaro hiperdruskingos sąlygos, mažėja rūšių gausumas, nyksta biologinė įvairovė ir kinta ekosistemų funkcionavimas. Ekonominiu požiūriu žvejyba, priklausanti nuo tam tikrų rūšių, susiduria su neapibrėžtumu, nes tikslinės populiacijos migruoja į mažiau prieinamas ar net visai nepasiekiamas teritorijas. Tai fiksuota Viduržemio jūroje, kur druskingumo ir temperatūros pokyčiai paveikė ekonomiškai svarbių rūšių, tokių kaip rožinės krevetės, prieinamumą (Mingote et al., 2024).

Be to, druskingumo svyravimai kelia ilgalaikių iššūkių akvakultūrai, nes sunku užtikrinti stabilią gamybą. Todėl reikalingos investicijos į prisitaikymo infrastruktūrą, technologijas ir valdymo praktiką, kurios padėtų sumažinti šių pokyčių neigiamą poveikį produkcijai ir ūkių tvarumui.

Poveikio švelninimo strategijos ir ateities kryptys

Siekiant spręsti druskingumo pokyčių poveikio jūrų rūšių paplitimui problemą, reikalingos integruotos valdymo strategijos. Siekiant sušvelninti klimato kaitą ir stabilizuoti aplinkos sąlygas, daugiausia dėmesio reikėtų skirti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo mažinimui. Pakrančių augalijos, pavyzdžiui, mangrovių ir jūros žolių, atkūrimas gali padėti sušvelninti druskingumo pokyčius ir suteikti buveinių jūrų organizmams (Guimbeau et al., 2024).

Akvakultūros operacijoms gali būti naudingos technologinės naujovės, pavyzdžiui, recirkuliacinės akvakultūros sistemos (RAS) ir selektyvus druskai atsparių rūšių veisimas. Geresnė druskingumo pokyčių stebėseną ir prognozavimą

modeliai taip pat gali būti naudojami prisitaikančiose valdymo strategijose, užtikrinant akvakultūros ir žuvininkystės atsparumą druskingumo sukeltiems iššūkiams (Rahman & Hung, 2024).

Maistinių medžiagų apkrovos ir eutrofikacijos mechanizmai

Perteklinės maistingosios medžiagos, ypač azotas ir fosforas, į vandens ekosistemas patenka su nuotėkiu iš žemės ūkio naudmenų, miesto ir pramonės nuotekų. Šios medžiagos skatina fitoplanktono ir dumblių augimą, dėl to prasideda dumblių žydėjimas, o jiems skylant mažėja deguonies kiekis (Reister et al., 2024). Meksikos įlankoje dėl į Misisipės upės baseiną patenkančių maistinių medžiagų susidarė viena didžiausių hipoksinių zonų pasaulyje, daranti poveikį žuvininkystei ir biologinei įvairovei (Day et al., 2024).

Klimato kaita didina maistingųjų medžiagų apkrovą dėl padidėjusio kritulių kiekio ir ekstremalių meteorologinių reiškinių, kurie didina maistingųjų medžiagų nuotėkį į vandens telkinius. Kylanti temperatūra dar labiau prisideda prie eutrofikacijos, nes spartėja dumblių augimas, keičiasi ekosistemų dinamika (Mensah et al., 2025). Dėl šio sudėtinio poveikio dažnėja ir ilgėja kenksmingų dumblių žydėjimas (KDŽ), išskiriančių toksinus, kenksmingus jūrų gyvūnijai ir žmonių sveikatai (Zhang et al., 2024).

Eutrofikacijos poveikis

Eutrofikacija veikia vandens ekosistemas: sutrinka mitybos tinklai, mažėja biologinė įvairovė. Deguonies trūkumas verčia žuvis ir bestuburius migruoti arba žūti, o dugno buveinės kenčia dėl nuosėdų anoksijos (Reister et al., 2024). Pavyzdžiui, Čezapeiko įlankoje atlikti tyrimai atskleidė, kad dėl pasikartojančių hipoksinių reiškinių labai sumažėjo žuvų populiacijos (Zhang et al., 2024).

KDŽ kelia papildomų iššūkių, nes gaminasi toksinai, kurie veikia jūrų organizmus ir žmonių populiacijas. Tokios rūšys kaip *Karenia brevis* ir *Microcystis aeruginosa* siejamos su masiniu žuvų gaišimu, vėžiagyvių užterštumu ir žmonių kvėpavimo problemomis (Mensah et al., 2025). Ekonominiai nuostoliai dėl KDŽ yra dideli, ypač žuvininkystės, turizmo ir visuomenės sveikatos srityse.

Poveikio švelninimo strategijos

Norint veiksmingai sumažinti maistinių medžiagų apkrovą ir eutrofikaciją, reikia integruoto vandens telkinių valdymo ir politinių intervencijų. Žemės ūkio nuotėkio mažinimas taikant tvarius ūkininkavimo metodus, tokius kaip tarpiniai pasėliai, buferinės zonos ir tikslusis tręšimas, gali gerokai sumažinti maistinių

medžiagų patekimą (Reister et al., 2024). Miestų teritorijose gali būti naudingos pažangios nuotekų valymo technologijos, kuriomis pašalinamas maistinių medžiagų perteklius prieš išleidžiant nuotekas.

Šlapynių ir pakrančių zonų atkūrimas yra veiksmingas gamtinis sprendimas, padedantis mažinti eutrofikacijos riziką. Tokios ekosistemos natūraliai filtruoja maistines medžiagas, sulaiko nuosėdas ir gerina paviršinio vandens kokybę. Kartu svarbų vaidmenį atlieka ir socialiniai bei instituciniai veiksniai. Visuomenės švietimas ir politinės reformos, įskaitant maistinių medžiagų valdymo reglamentus bei paskatas imtis tvarios praktikos, būtini siekiant spręsti pagrindines eutrofikacijos priežastis (Day et al., 2024).

Hidrologiniai ekstremumai ir jų pasekmės vandens kokybei

Sausrų ir vandens trūkumo priežastys

Sausras pirmiausia lemia klimato pokyčiai, įskaitant mažėjantį kritulių kiekį ir kylančią temperatūrą, dėl kurių didėja evapotranspiracija. Dėl žmogaus veiklos, pavyzdžiui, netvaraus vandens paėmimo ir žemės degradacijos, šie gamtos reiškiniai dar labiau sustiprėja (Zucca et al., 2021). Pavyzdžiui, tokiuose sausringuose regionuose kaip Saudo Arabija dėl dešimtmečius trukusios perteklinio požeminio vandens gavybos ir netinkamos drėkinimo praktikos išseko svarbiausi vandeniniai sluoksniai, o tai lėmė dar didesnę natūralaus vandens trūkumo poveikį (DeNicola et al., 2015).

Klimato kaita dar labiau sustiprina šiuos iššūkius, nes keičiasi kritulių struktūra, todėl dažnėja ir didėja sausras. Persijos įlankos bendradarbiavimo tarybos šalys, kurioms būdingas itin sausringas klimatas, yra ypač pažeidžiamos. Dėl sparčios urbanizacijos ir gyventojų skaičiaus augimo šiuose regionuose didėja vandens poreikis, todėl mažėja ir taip riboti ištekliai. Šioms problemoms spręsti priimtos novatoriškos strategijos, pavyzdžiui, nuotekų perdirbimas ir gėlinimas, tačiau jos tebėra daug energijos reikalaujančios ir aplinkai kenksmingos (Moussa et al., 2025).

Pablogėjusios vandens kokybės poveikis

Prastėjanti vandens kokybė dažnai sutampa su jo trūkumu, nes ribotus išteklius vis labiau teršia žemės ūkio, pramonės ir miestų nuotekos. Dėl per didelio maistinių medžiagų kiekio upių baseinuose prasideda eutrofikacija, kenksmingas dumblių žydėjimas, susidaro hipoksinės sąlygos, dėl kurių sutrinka vandens ekosistemos ir

kyla grėsmė biologinei įvairovei (Giri, 2021). Dėl Saudo Arabijoje su klimato kaita susijusių ekstremalių meteorologinių reiškinių didėja vandens užterštumas, į gėlo vandens šaltinius patenka patogenų ir teršalų (DeNicola et al., 2015).

Pablogėjusios vandens kokybės socialinės ir ekonominės pasekmės yra labai reikšmingos. Dėl prastos vandens kokybės pasunkėja valymo procesai, didėja išlaidos ir kenkiama visuomenės sveikatai. Pasaulyje per užterštą geriamąjį vandenį plintančios ligos yra pagrindinė sergamumo ir mirtingumo priežastis, ypač mažas pajamas gaunančiose bendruomenėse (Giri, 2021). Persijos įlankos bendradarbiavimo tarybos šalyse dėl vandens trūkumo mažėjanti žemės ūkio produkcija kelia grėsmę apsirūpinimo maistu saugumui, o tai rodo, kad vandens kokybės problemos gali turėti daugiapakopį poveikį (Moussa et al., 2025).

Poveikio švelninimo strategijos

Norint spręsti dėl sausros ir pablogėjusios vandens kokybės kylančias problemas, reikia integruotų metodų, derinant technologines naujoves, politikos reformas ir bendruomenės dalyvavimą. Tvaraus vandens valdymo praktika, pavyzdžiui, lietaus vandens surinkimas ir veiksmingos drėkinimo sistemos, yra labai svarbi siekiant sumažinti priklausomybę nuo pernelyg eksploatuojamų vandens šaltinių (Moussa et al., 2025). Atkuriant natūralias ekosistemas, pavyzdžiui, pelkes, galima pagerinti vandens kokybę filtruojant teršalus ir reguliuojant hidrologinius ciklus (Zucca et al., 2021).

Vandens gėlinimo technologijas ir pažangius nuotekų valymo metodus galima taikyti regionuose, kuriuose trūksta vandens. Tačiau šios technologijos turi būti diegiamos tvariai, kad būtų kuo mažesnis poveikis aplinkai ir užtikrintas pažeidžiamų gyventojų prieinamumas. Tarptautinis bendradarbiavimas ir gebėjimų stiprinimas yra labai svarbūs siekiant dalytis žiniomis ir ištekliais, kad būtų galima spręsti vandens problemas visame pasaulyje (DeNicola et al., 2015).

1.2. Pasaulinio atšilimo poveikis akvakultūrai

Ekologinis ir ekonominis rūšių pažeidžiamumas

Rūšių atsparumo skirtumai

Fiziologiniai ir medžiagų apykaitos procesai priklauso nuo stabilios vandens temperatūros. Nukrypimai nuo optimalių ribų gali pakenkti augimui, dauginimuisi ir išgyvenimui. Pavyzdžiui, atogrąžų rūšys, tokios kaip krevetės ir tilapijos,

yra ypač jautrios temperatūros svyravimams, nes sutrinka fermentų veikla ir medžiagų apykaitos efektyvumas (Giri, 2021). Tyrimai rodo, kad ilgalaikis temperatūros, viršijančios rūšies tolerancijos ribas, poveikis gali lemti streso sukeltą mirtinumą ir mažesnę akvakultūros rūšių produktyvumą (DeNicola et al., 2015).

Tokiuose regionuose kaip Arabijos pusiasalis, kur vandens temperatūra kyla greičiau nei vidutiniškai pasaulyje, akvakultūra susiduria su dar didesniais iššūkiais. Aukštesnė temperatūra ne tik mažina ištirpusio deguonies kiekį, bet ir didina amoniako toksiškumą, o tai kelia dar didesnę grėsmę vandens būklei (Moussa et al., 2025). Šis poveikis pabrėžia prisitaikymo priemonių, tokių kaip temperatūrai atsparių rūšių selekcinis veisimas ir terminę aplinką reguliuojančių akvakultūros sistemų kūrimas, poreikį.

Ligos ir parazitų dauginimasis

Dėl aukštesnės vandens temperatūros pagreitėja patogenų ir parazitų gyvenimo ciklas, todėl vis dažniau kyla jų protrūkiai. Pavyzdžiui, *Vibrio* spp. sukeltos ligos ir parazitai, jūrinės utėlės, klesti aukštesnėje temperatūroje ir atneša didelių ekonominių nuostolių akvakultūroje (Zucca et al., 2021). Padidėjęs šių grėsmių paplitimas užfiksuotas krevečių ūkiuose Pietryčių Azijoje ir lašišų ūkiuose Šiaurės Atlante, kur dėl kylančios jūros paviršiaus temperatūros pradėjo greičiau plisti infekcinės ligos (DeNicola et al., 2015).

Temperatūros ir ligų dinamikos ryšį dar labiau komplikuoja klimato sukelti vandens cheminės sudėties pokyčiai, pavyzdžiui, rūgštėjimas ir druskingumo pokyčiai. Dėl šių veiksnių gali susilpnėti natūralus atsparumas, todėl rūšys tampa jautresnės infekcijoms (Giri, 2021). Taigi, norint veiksmingai valdyti ligas akvakultūroje, reikia derinti stebėsenos sistemas, biologinio saugumo priemones ir ligoms atsparių padermių mokslinius tyrimus.

Poveikio švelninimo ir prisitaikymo strategijos

Norint kovoti su visuotinio atšilimo poveikiu akvakultūrai, reikalingos aktyvios ir integruotos strategijos. Technologinės naujovės, pavyzdžiui, recirkuliacinės akvakultūros sistemos (RAS) ir tvenkiniai su kontroliuojama temperatūra, gali sušvelninti šiluminį stresą vandens rūšims (Moussa et al., 2025). Be to, įgyvendinant vakcinacijos programas ir tobulinant ligų aptikimo technologijas, galima valdyti patogenų riziką.

Politikos formuotojai ir suinteresuotosios šalys taip pat turi teikti pirmenybę aplinkos išsaugojimui, kad būtų stabilizuotos ekosistemos. Atkuriant mangroves ir pelkes galima apsaugoti akvakultūros ūkius nuo temperatūros svyravimų poveikio

ir natūraliai filtruoti ligų sukėlėjus. Be to, siekiant išlaikyti šią gyvybiškai svarbią pramonės šaką besikeičiančiomis aplinkos sąlygomis, labai svarbu skatinti tarptautinį bendradarbiavimą klimato kaitai atsparių akvakultūros metodų srityje (Zucca et al., 2021).

Produktyvumo pokyčiai ir ekonominės pasekmės

Pasaulinis atšilimas pažeidžia vandens ekosistemų pusiausvyrą ir tiesiogiai veikia žuvų ir vėžiagyvių populiacijas. Dėl kylančios jūros temperatūros, rūgštėjimo ir besikeičiančių vandenynų srovių kinta vandens rūšių buveinės ir fiziologija. Dėl vandenynų šiltėjimo vandenyne sumažėja deguonies prieinamumas vandenyje, o tai kelia stresą jūrų gyvūnijai ir lemia mažesnį augimo tempą bei reprodukcinę sėkmę (Baag & Mandal, 2022). Dėl šių stresą sukeliančių veiksnių labai sumažėja žuvų ištekliai ir vėžiagyvių derlius, o tai turi daugiapakopį poveikį akvakultūros pelningumui (Doney et al., 2009).

Dėl bendro klimato atšilimo ir rūgštėjimo poveikio smarkiai sutrinka moliuskų, pavyzdžiui, austrių ir moliuskų, kalcifikacijos procesai. Sumažėjus pH lygiui, jie negali augti ir išgyventi, todėl kyla pavojus, kad jie gali būti naudojami akvakultūroje. Tyrimai parodė, kad kalcifikuojantys organizmai yra ypač pažeidžiami mažėjančios karbonatinių jonų koncentracijos, kurią sukelia padidėjęs atmosferos CO₂ kiekis (Nienhuis et al., 2010). Tad akvakultūros veiklos vykdytojai susiduria su dvejopu iššūkiu – sušvelninti poveikį aplinkai ir išlaikyti gamybos lygį.

Prastėjanti vandens kokybė ir ligų protrūkiai

Vandens kokybė yra labai svarbus akvakultūros veiksnys, o dėl klimato kaitos ji dar labiau blogėja. Padidėjus jūros temperatūrai skatinamas KDŽ, dėl kurio sumažėja deguonies kiekis ir išsiskiria vandens rūšims kenksmingi toksinai. Šie žydėjimai, kuriuos skatina maistingųjų medžiagų turtingas nuotėkis ir šiltėjantys vandenys, siejami su masiniu žuvų gaišimu ir ekonominiais nuostoliais akvakultūroje (USEPA, 2014).

Be to, dėl aukštesnės vandens temperatūros greičiau plinta vandens rūšių ligos. Šiltesnėmis sąlygomis patogenai klesti, todėl akvakultūros sistemose dažniau kyla ligų protrūkiai. Pavyzdžiui, austrių akvakultūros tyrimai atskleidė, kad dėl šiltėjančios temperatūros silpnėja austrių imunitetas ir didėja jautrumas infekcijoms, todėl mažėja jų išgyvenamumas ir gamybos apimtys (Neokye et al., 2024). Dėl šių veiksnių mažėja akvakultūros operacijų ekonominis gyvybingumas, nes didėja mirtingumas ir gydymo išlaidos.

Prisitaikymo prie klimato kaitos išlaidos akvakultūroje

Prisitaikymas prie klimato kaitos keliamų iššūkių reikalauja reikšmingų investicijų į infrastruktūrą, technologijas ir valdymo priemones. Siekiant išlaikyti akvakultūros gamybos apimtis, būtina diegti atsparias sistemas, tokias kaip temperatūros kontrolės įranga ar ligoms atsparesnių rūšių auginimas (Naylor et al., 2023). Tačiau šie sprendimai dažnai susiję su didelėmis finansinėmis sąnaudomis, kurios ypač apsunkina veiklą mažas pajamas gaunančiuose regionuose.

Prisitaikymo poreikį dar labiau sustiprina geografiniai pokyčiai – dėl kylančio jūros lygio ir ekstremalių orų reiškinių kai kuriose teritorijose tampa neįmanoma saugiai vykdyti akvakultūros. Tai verčia perkelti gamybą į stabilesnes zonas, o šis perkėlimas susijęs su papildomomis investicijomis.

Siekiant sumažinti aplinkosauginį pėdsaką, vis griežtėja reguliavimas: taikomos naujos taisyklės dėl atliekų tvarkymo, vandens naudojimo ir taršos kontrolės. Norint atitikti šiuos reikalavimus, būtina investuoti į pažangias technologijas ir valdymo sprendimus (Garlock et al., 2022).

Regioninis ir pasaulinis poveikis

Pasaulinio klimato atšilimo poveikis akvakultūros sektoriui pasiskirsto netolygiai. Didesnį poveikį patiria regionai, kuriuose ekosistemos yra ypač pažeidžiamos, pavyzdžiui, atogrąžų zonos. Šiuose regionuose didėjantis druskingumas, ilgėjantys sausrų laikotarpiai ir plintančios invazinės rūšys trikdo akvakultūros veiklą, ypač auginant tokias rūšis kaip krevetės ar tilapijos. Tuo tarpu vidutinio klimato regionuose klimato kaitos poveikis šiuo metu yra santykinai mažesnis. Vis dėlto šie regionai taip pat nėra apsaugoti nuo ilgalaikių pokyčių – pakitęs kritulių kiekis, dažnėjantys ekstremalūs orai ir jūros lygio kilimas ilgainiui gali paveikti vandens išteklius ir gamybos stabilumą (Mahu et al., 2022).

Visame pasaulyje akvakultūros produktų paklausa nuolat auga dėl gyventojų skaičiaus didėjimo ir tvarių baltymų šaltinių poreikio. Dėl to susidaro paradoksali situacija, kai akvakultūros sektorius turi didinti gamybos apimtis, kad patenkintų paklausą, ir kartu spręsti prisitaikymo prie klimato kaitos ekonomines ir aplinkosaugos problemas. Nesugebant spręsti šių iššūkių, kyla pavojus, kad dar labiau padidės aprūpinimo maistu neužtikrintumas ir ekonominiai skirtumai (FAO, 2022).

Politika ir valdymas

Siekiant sušvelninti ekonominį visuotinio atšilimo poveikį akvakultūrai, labai svarbu sukurti veiksmingas politikos sistemas. Vyriausybės ir tarptautinės organizacijos turi įgyvendinti strategijas, kuriomis būtų remiama tvari praktika ir

skatinami atsparių akvakultūros sistemų moksliniai tyrimai. Pavyzdžiui, investicijos į genetinius mokslinius tyrimus, skirtus klimato kaitai atsparioms rūšims kurti, ir ankstyvojo perspėjimo apie KDŽ sistemas gali sumažinti pažeidžiamumą ir padidinti sektoriaus atsparumą (Handisyde et al., 2017).

Be to, integruojant akvakultūros politiką į platesnius klimato kaitos veiksmų planus, užtikrinamas koordinuotas požiūris į šių iššūkių sprendimą. Politika turėtų užtikrinti ekonomikos augimo ir aplinkos tvarumo pusiausvyrą, kad akvakultūros veiklos vykdytojai galėtų prisitaikyti nepažeisdami ekologinio vientisumo (Naylor et al., 2023).

Geografinis persiskirstymas ir klimato adaptacija

Akvakultūros zonų pokyčiai

Dėl klimato kaitos sukeltų aplinkos pokyčių keičiasi akvakultūros zonų išsidėstymas. Dėl kylančios vandenynų temperatūros rūšys ir ūkinė veikla slenka į naujas teritorijas, nes daugelis tradicinių akvakultūros regionų tampa mažiau tinkami dėl šiluminio streso ir prastėjančios vandens kokybės. Ši reiškinį apibūdina jūros aplinkos tropikalizacija – tropinės rūšys plečiasi į vidutinio klimato zonas, keisdamos ekosistemų struktūras ir formuodamos naujas bendrijas (Zarzychny et al., 2024).

Vidaus vandenų akvakultūrai įtakos turi ne tik temperatūros kilimas, bet ir kintantis kritulių režimas bei gėlo vandens prieinamumas. Pavyzdžiui, estuarijų regionuose sumažėjęs gėlo vandens srautas ir padidėjęs druskingumas daro poveikį rūšims, priklausomoms nuo specifinių druskingumo sąlygų, ir riboja jų augimą bei produktyvumą (Priya et al., 2023). Dėl šių pokyčių akvakultūros veiklą vis dažniau tenka perkelti į aplinkos požiūriu stabilesnius regionus. Tokie perkėlimai susiję su papildomomis finansinėmis sąnaudomis bei būtinybe atlikti išsamius aplinkosaugos vertinimus, siekiant nustatyti zonas, kuriose galima tvariai vykdyti akvakultūrą ir kartu išvengti ekologinės degradacijos (Mdoe et al., 2025).

Šie pokyčiai kelia ne tik techninių, bet ir socialinių bei ekonominių iššūkių. Bendruomenės, kurių gyvenimas priklauso nuo akvakultūros, gali susidurti su priverstiniu persikėlimu arba darbo vietų praradimu. Tad itin svarbu įtraukti suinteresuotąsias šalis, organizuoti perkvalifikavimo programas ir skatinti alternatyvius pragyvenimo šaltinius, kad būtų sumažintas socialinis poveikis.

Invazinės rūšys: ekologiniai ir ūkinės veiklos sutrikimai

Klimato kaitos sukelti aplinkos pokyčiai palengvina invazinių rūšių plitimą ir įsitvirtinimą, ypač vidutinio klimato regionuose. Šių zonų tropikalizacija sudaro palankesnes sąlygas tokioms invazinėms rūšims kaip sparnapelekės (*Pterois spp*) ar tam tikri dumbliai, kurie gali išstumti vietinius organizmus ir trikdyti ekosistemų funkcionavimą (Woods et al., 2016). Tokie pokyčiai neigiamai veikia akvakultūros veiklą – norint išlaikyti gamybos stabilumą, tenka taikyti papildomas, dažnai brangias valdymo priemones. Be to, dėl kylančios temperatūros ir augančios tarptautinės prekybos vis dažniau plinta invaziniai patogenai. Šios grėsmės ypač aktualios jautrioms ir ekonomiškai svarbioms rūšims, tokioms kaip krevetės ir lašišos, kurios šiltėjančiuose vandenyse tampa jautresnės infekcijoms (Ross et al., 2023). Siekiant sumažinti ligų protrūkių riziką, būtina investuoti į biologinio saugumo priemones: patobulintas stebėsenos sistemas, patogenams atsparių veislių kūrimą ir inovatyvias technologijas, įskaitant CRISPR pagrįstą genų redagavimą.

Invazinės rūšys daro poveikį ne tik ūkiui, bet ir natūralioms ekosistemoms. Pavyzdžiui, invaziniai dumbliai gali suformuoti tankius sąžalynus, kurie užstoja šviesą koraliniams rifams ir jūros žolių bendrijoms – svarbioms buveinėms daugybei jūrų rūšių. Tokie ekologiniai pokyčiai mažina biologinę įvairovę ir daro poveikį ne tik akvakultūrai, bet ir žuvininkystei, turizmui bei bendrai jūrų ekosistemų būklei.

Prisitaikymo galimybės

Siekiant prisitaikyti prie šių iššūkių, reikia derinti technologines naujoves, politines intervencijas ir ekosistemomis pagrįstus metodus. Pagrindinės strategijos:

1. **Integruota daugiapakopė akvakultūra:** įtraukdamos įvairių trofinių lygmenų rūšis, IDAS sistemos sušvelnina invazinių rūšių poveikį ir didina ekologinį atsparumą (Mdoe et al., 2025). Šis metodas leidžia maksimaliai padidinti išteklių naudojimo efektyvumą, nes sistemoje perdirbamos maistinės medžiagos.

2. **Genetiniai patobulinimai:** selekcinės veisimo programos ir genominės technologijos padeda sukurti žuvų ir vėžiagyvių padermes, kurios atsparesnės kintančioms aplinkos sąlygoms, įskaitant temperatūros ir patogenų pokyčius (Ross et al., 2023).

3. **Patobulintos stebėsenos ir ankstyvojo perspėjimo sistemos:** realiuoju laiku renkami duomenys ir prognozavimo modeliai leidžia laiku numatyti aplinkos pokyčius bei invazinių rūšių protrūkius. Vis dažniau naudojami palydoviniai vaizdai ir dirbtiniu intelektu pagrįsta analitika, pavyzdžiui, stebint vandens temperatūrą ar dumblių žydėjimą (Wang et al., 2021).

4. **Tvari politika ir reguliavimas:** būtina įgyvendinti veiksmingus teisės aktus, skirtus biologinės įvairovės apsaugai ir invazinių rūšių kontrolei. Tarptautiniai susitarimai, pavyzdžiui, Jungtinių Tautų darnaus vystymosi tikslai, gali suteikti gaires nacionalinėms strategijoms ir skatinti valstybių bendradarbiavimą (Priya et al., 2023).

5. **Vietos bendruomenių įtraukimas:** ilgalaikis prisitaikymas neįmanomas be aktyvaus vietos gyventojų dalyvavimo. Švietimo, konsultavimo ir gebėjimų stiprinimo iniciatyvos padeda užtikrinti, kad prisitaikymo priemonės būtų ne tik veiksmingos, bet ir socialiai teisingos.

Pasaulinio atšilimo poveikis akvakultūros zonoms: regioniniai skirtumai

Pasaulinio klimato atšilimo poveikis akvakultūros zonoms skirtinguose pasaulio regionuose labai skiriasi. Atogrąžų regionuose, kur jau dabar vyrauja aukšta temperatūra, klimato pokyčiai kelia didžiausius iššūkius – daugelis tradicinių rūšių tampa netinkamos auginti dėl šiluminio streso. Tuo tarpu vidutinio klimato regionuose stebimas atogrąžų rūšių plitimas. Tai sukuria naujų diversifikavimo galimybių, tačiau kartu kelia riziką dėl galimo ekosistemų disbalanso ir konkurencijos su vietinėmis rūšimis (Zarzyчны et al., 2024).

Pakrančių regionai yra ypač pažeidžiami dėl kylančio jūros lygio ir dažnėjančių audrų, kurios kenkia infrastruktūrai ir trikdo akvakultūros gamybos ciklus. Atsižvelgdami į šias grėsmes, kai kurie ūkininkai perkelia veiklą į vidaus vandenį ar atviros jūros teritorijas, kur aplinkos sąlygos gali būti stabilesnės. Tačiau toks perkėlimas susijęs su didelėmis sąnaudomis ir logistiniais iššūkiais (Woods et al., 2016). Nors akvakultūra atviroje jūroje laikoma perspektyvia kryptimi, jai reikalinga pažangi inžinerinė įranga, atspari sudėtingoms jūrų sąlygoms, bei aplinkai draugiškos technologijos, mažinančios ekologinį pėdsaką.

Prisitaikymo galimybės taip pat priklauso nuo regionų ekonominių ir institucinių gebėjimų. Šiaurės Europa ir Šiaurės Amerika, turinčios stiprią valdymo sistemą ir išvystytą mokslinių tyrimų bazę, geriau pasirengusios prisitaikyti prie klimato pokyčių poveikio. Tuo tarpu mažas pajamas gaunantys regionai, ypač pasaulio pietuose, susiduria su didelėmis kliūtimis: ribotomis galimybėmis gauti finansavimą, technologijas bei žinias. Šių skirtumų mažinimas yra būtinas siekiant užtikrinti pasaulinį aprūpinimą maistu ir socialiai teisingą vystymąsi.

Santrauka

Terminė stratifikacija ir deguonies trūkumas kelia rimtą grėsmę vandens ekosistemoms, turi tiek ekologinių, tiek ekonominių pasekmių. Norint sukurti veiksmingas klimato kaitos švelninimo strategijas, būtina suprasti šiuos pokyčius lemiančių fizinių, cheminių ir biologinių procesų sąveiką. Integruojant technologinę pažangą ir tvarią praktiką, galima geriau valdyti visuotinio atšilimo poveikį vandens sistemoms. Kylanti pasaulinė temperatūra kelia didelį iššūkį vandens rūšims: spartėja medžiagų apykaita, trikdomas augimas ir dauginimasis. Šie fiziologiniai pokyčiai kelia pavojų tiek pavienėms rūšims, tiek visų ekosistemų stabilumui, todėl būtinas išsamus šios dinamikos supratimas ir kryptingos švelninimo priemonės, padedančios apsaugoti vandens biologinę įvairovę ir palaikyti vandens kokybę klimato kaitos sąlygomis.

Druskingumo svyravimai, susiję su klimato kaita, daro poveikį pakrančių ir jūrų ekosistemoms, trikdo rūšių pasiskirstymą ir apsunkina akvakultūros veiklą. Tam tikrose vietovėse tai sukelia socialinių ir ekonominių sunkumų. Šiam poveikiui sušvelninti būtinas holistinis požiūris, apimantis ekologinius, socialinius ir politinius sprendimus bei tvarią išteklių vadybą. Maistinių medžiagų perteklius ir eutrofikacija išlieka viena pagrindinių grėsmių vandens ekosistemoms. Jos skatina žalingą dumblių žydėjimą, deguonies trūkumą ir ekosistemų degradaciją. Klimato kaitos švelninimo strategijos turi būti nukreiptos į maistinių medžiagų mažinimą, ekosistemų atkūrimą ir suinteresuotųjų šalių bendradarbiavimą siekiant ilgalaikio poveikio.

Vandens trūkumas, atsirandantis dėl klimato kaitos ir žmogaus veiklos, kelia grėsmę tiek ekosistemoms, tiek žmonių sveikatai bei saugumui. Dėl sausros, nenuspėjamų kritulių ir blogėjančios vandens kokybės būtina plėtoti tvarią vandentvarkos praktiką, skatinti tarptautinį bendradarbiavimą ir diegti inovatyvius sprendimus, kurie padėtų užtikrinti ilgalaikį vandens prieinamumą. Klimato kaita daro didelį poveikį akvakultūrai – didėja temperatūros svyravimai, plinta ligos ir parazitai, o tai silpnina rūšių atsparumą. Šie veiksniai turi ilgalaikių pasekmių tiek aprūpinimui maistu, tiek pakrančių bendruomenių ekonominiam stabilumui. Sprendžiant šiuos iššūkius, būtinas glaudus mokslininkų, politikos formuotojų ir verslo atstovų bendradarbiavimas. Galiausiai dėl klimato kaitos kintantis akvakultūros zonų geografinis pasiskirstymas reikalauja aktyvių prisitaikymo veiksmų. Kylanti jūros temperatūra, pakitusios srovės ir kritulių režimas lemia veiklos perkėlimą ir naujų, tvarių sprendimų paiešką. Derinant vietos ekologines žinias su šiuolaikiniais moksliniais pasiekimais, galima užtikrinti akvakultūros pramonės atsparumą ir jos indėlį į pasaulinį maisto saugumą.

Literatūra

- Andreyeva, A. Y., Kukhareva, T. A., Gostyukhina, O. L., & Vialova, O. Y. (2024). Impacts of ocean acidification and hypoxia on cellular immunity, oxygen consumption, and antioxidant status in Mediterranean mussel. *Fish and Shellfish Immunology*, 154, 109932. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109932>
- Baag, S., & Mandal, S. (2022). Combined effects of ocean warming and acidification on marine fish and shellfish: A molecule to ecosystem perspective. *Science of the Total Environment*, 802, 149807. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149807>
- Bhuiyan, M. M. U., Rahman, M., Naher, S., Shahed, Z. H., Ali, M. M., & Islam, A. R. M. T. (2024). Oxygen declination in the coastal ocean over the twenty-first century: Driving forces, trends, and impacts. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100621. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100621>
- Burke, M., Grant, J., Filgueira, R., & Swanson, A. (2022). Oxygenation effects on temperature and dissolved oxygen at a commercial Atlantic salmon farm. *Aquacultural Engineering*, 99, 102287. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102287>
- Day, J. W., Rybczyk, J. M., & Stephens, J. R. (2024). Climate change effects on nutrient loading and coastal eutrophication. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, 6(18), 627–637. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90798-9.00112-8>
- DeNicola, E., Aburizaiza, O. S., Siddique, A., Khwaja, H., & Carpenter, D. O. (2015). Climate change and water scarcity: The case of Saudi Arabia. *Annals of Global Health*, 81(3), 342–353. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2015.08.005>
- Deutsch, C., Penn, J. L., & Seibel, B. A. (2020). Climate change constrains fish metabolic scope and habitat suitability globally. *Science Advances*, 6(22), eaax0194. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0194>
- Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A., & Kleypas, J. A. (2009). Ocean acidification: The other CO₂ problem. *Annual Review of Marine Science*, 1(1), 169–192. <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163834>
- Duarte, J. A., Villanueva, R., Seijo, J. C., & Vela, M. A. (2022). Ocean acidification effects on aquaculture of a high resilient calcifier species: A bioeconomic approach. *Aquaculture*, 559, 738426. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738426>
- Esbaugh, A. J. (2025). Physiological responses of euryhaline marine fish to naturally-occurring hypersalinity. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 299, 111768. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2024.111768>
- FAO. (2022). *The state of world fisheries and aquaculture 2022*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <http://www.fao.org>
- Garlock, T., Asche, F., Anderson, J., Bjørndal, T., Kumar, G., Lorenzen, K., Ropicki, A., Smith, M. D., & Tveterås, R. (2022). Aquaculture's role in sustainable food systems. *Food Policy*, 116, 102422. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102422>
- Giri, S. (2021). Water quality prospective in the twenty-first century: Status of water quality in major river basins, contemporary strategies, and impediments. *Environmental Pollution*, 271, 116332. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116332>
- Grabba, K. C., Ghosh, A., Adekunbi, F. O., Williamson, P., & Widdicombe, S. (2024). Ocean acidification: Causes, impacts, and policy actions. In *Encyclopedia of the Anthropocene* (pp. 51–59). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-14082-2.00011-9>

- Guimbeau, A., Ji, X. J., Long, Z., & Menon, N. (2024). Ocean salinity, early-life health, and adaptation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 125, 102954. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2024.102954>
- Hamilton, S. L., Elliott, M. S., deVries, M. S., Adelaars, J., & Rintoul, M. D. (2022). Integrated multi-trophic aquaculture mitigates the effects of ocean acidification: Seaweeds raise system pH and improve growth of juvenile abalone. *Aquaculture*, 560, 738571. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738571>
- Handisyde, N., Ross, L. G., Badjeck, M.-C., & Allison, E. H. (2017). Climate change and aquaculture: Vulnerability and adaptation in the tropics. *Aquaculture*, 467, 357–367. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.012>
- Hoeksema, S. D., Chuwen, B. M., Tweedley, J. R., & Potter, I. C. (2023). Ichthyofaunas of near-shore, shallow waters of normally-closed estuaries are highly depauperate and influenced markedly by salinity and oxygen concentration. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 291, 108410. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108410>
- Liu, S., Liu, Y., & Xing, Q. (2024). Climate change drives fish communities: Changing multiple facets of fish biodiversity in the Northwest Pacific Ocean. *Science of the Total Environment*, 955, 176854. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176854>
- Mahu, E., et al. (2022). Climate-induced hazards and their impacts on aquaculture. *Environmental Research*, 259, 119535. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119535>
- Mangi, S. C., Lee, J., Pinnegar, J. K., & Law, R. J. (2018). The economic impacts of ocean acidification on shellfish fisheries and aquaculture in the United Kingdom. *Environmental Science and Policy*, 86, 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.008>
- Mdoe, C. N., Mahonge, C. P., & Ngowi, E. E. (2025). Mapping the trends, knowledge production, and practices of climate-smart aquaculture. *Aquaculture*, 598, 741939. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741939>
- Mensah, V., Chen, Y.-C., & Ohshima, K. I. (2025). Multidecadal decline in sea ice meltwater volume and implications for nutrient dynamics. *Progress in Oceanography*, 230, 103377. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2024.103377>
- Mingote, M. G., Galimany, E., Sala-Coromina, J., Bahamon, N., Ribera-Altimir, J., Santos-Bethencourt, R., & Clavel-Henry, M. (2024). Warming and salinization effects on the deep-water rose shrimp, *Parapenaeus longirostris*, distribution along the NW Mediterranean Sea: Implications for bottom trawl fisheries. *Marine Pollution Bulletin*, 198, 115838. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115838>
- Moussa, L. G., Mohan, M., Arachchige, P. S. P., Rathnasekara, H., Abdullah, M., & Abulibdeh, A. (2025). Impact of water availability on food security in GCC: Systematic literature review-based policy recommendations for a sustainable future. *Environmental Development*, 54, 101122. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2024.101122>
- Naylor, R., et al. (2023). A global view of aquaculture policy. *Food Policy*, 116, 102422. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102422>
- Neokye, E. O., et al. (2024). Climate change impacts on oyster aquaculture: Part II. *Environmental Research*, 259, 119535. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119535>
- Nienhuis, S., et al. (2010). Ocean acidification effects on calcifying organisms. *Marine Ecology Progress Series*, 400, 287–302. <https://doi.org/10.3354/meps08307>
- Okon, E. M., Oyesiji, A. A., & Eissa, E. H. (2024). The escalating threat of climate change-driven diseases in fish: Evidence from a global perspective. *Environmental Research*, 263, 120184. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120184>

- Priya, A. K., Muruganandam, M., & Sivarethinamohan, R. (2023). Impact of climate change and anthropogenic activities on aquatic ecosystems. *Environmental Research*, 238, 117233. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117233>
- Rahman, M. M., & Hung, T.-C. (2024). Impact of salinity and body size on sperm motility in three California smelt species. *Aquaculture Reports*, 39, 102503. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102503>
- Reister, I., Danielson, S., & Aguilar-Islas, A. (2024). Perspectives on Northern Gulf of Alaska salinity field structure, freshwater pathways, and controlling mechanisms. *Progress in Oceanography*, 229, 103373. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2024.103373>
- Ross, F. W. R., Boyd, P. W., & Filbee-Dexter, K. (2023). Potential role of seaweeds in climate change mitigation. *Science of the Total Environment*, 885, 163699. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163699>
- Seibel, B. A. (2024). On the validity of using the Metabolic Index to predict the responses of marine fishes to climate change. *Encyclopedia of Fish Physiology*, 3, 549–558. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90801-6.00167-1>
- Sundararaman, H. K., & Shanmugam, P. (2024). Estimates of the global ocean surface dissolved oxygen and macronutrients from satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 311, 114243. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114243>
- USEPA. (2014). *Harmful algal blooms: Impacts on aquatic ecosystems*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov>
- Wang, Y.-S., & Gu, J.-D. (2021). Ecological responses, adaptation and mechanisms of mangrove wetland ecosystems to global climate change. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 162, 105248. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2021.105248>
- Woods, J. S., Veltman, K., & Huijbregts, M. A. J. (2016). Towards a meaningful assessment of marine ecological impacts in life cycle assessment. *Environment International*, 89–90, 48–61. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.033>
- Zarzyczny, K. M., Rius, M., & Williams, S. T. (2024). The ecological and evolutionary consequences of tropicalisation. *Trends in Ecology & Evolution*, 39(3), 267–279. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.10.006>
- Zhang, T., Liu, H., Lu, Y., Wang, Q., & Loh, Y. C. (2024). Impact of climate change on coastal ecosystem and outdoor activities: A comparative analysis among four largest coastline covering countries. *Environmental Research*, 250, 118405. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118405>
- Zucca, C., Middleton, N., Kang, U., & Liniger, H. (2021). Shrinking water bodies as hotspots of sand and dust storms: The role of land degradation and sustainable soil and water management. *Catena*, 207, 105669. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105669>



Funded by
the European Union



Skaitmeninė mėlynoji karjera įveikus anglies krizę – akvakultūros mokymo programos naujovės [DiBluCa]
2023-I-LT01-KA220-HED-000154247

2 skyrius. Akvakultūros poveikis aplinkai pasaulinio atšilimo požiūriu

Prof. dr. Vlasta Bartulović
Doc. dr. Tatjana Dobroslavič
Dubrovniko universitetas, Kroatija

Išvadas

Atsižvelgiant į klimato kaitą, vis didesnę susirūpinimą kelia akvakultūros pramonės poveikis aplinkai. Ši veikla prisideda prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijos, buveinių nykimo ir gamtos išteklių išsekimo. Tarp pagrindinių ŠESD yra anglies dioksidas (CO_2), metanas (CH_4), azoto oksidas (N_2O) ir fluorintos dujos – šios medžiagos sulaiko šilumą Žemės atmosferoje ir skatina visuotinį atšilimą. Nors CO_2 laikomas pagrindiniu veiksniu, CH_4 yra ypač galingos dujos, kurių emisiją didina tokia žmogaus veikla kaip miškų kirtimas, biomasės deginimas, kasyba ir pramoniniai procesai (Wróbel et al., 2023). Tarpvyriausybė klimato kaitos komisija (TKKK) yra konstatavusi, kad žmogaus veikla neabejotinai veikia klimatą. Dėl industrializacijos ir urbanizacijos pasiekti rekordiniai ŠESD kiekiai. Didžiausios įtakos tam vis dar turi transporto, energetikos ir žemės ūkio sektoriai – dėl jų veiklos kinta orų modeliai, skatinamas jūros lygio kilimas, mažinama biologinė įvairovė.

Akvakultūra, nors ir labai svarbi pasauliniam apsirūpinimui maistu, taip pat prisideda prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo. Šią emisiją didina daug energijos reikalaujanti veikla, žemės paskirties keitimas, pašarų gamyba ir atliekų tvarkymas (MacLeod et al., 2019). Daugelyje regionų akvakultūros veiklai reikalinga elektros energija vis dar gaminama iš iškastinio kuro – ypač ten, kur dominuoja

anglis, nafta ar gamtinės dujos (Bujas et al., 2022). Be to, spartus akvakultūros plėtojimas dažnai susijęs su ekologiškai jautrių buveinių, pavyzdžiui, mangrovių ar šlapynių, pažeidimu. Tokie pokyčiai lemia biologinės įvairovės mažėjimą ir ekosistemų degradaciją (Barbier et al., 2011).

Vienas didžiausių akvakultūros poveikio aplinkai šaltinių yra pašarų gamyba. FAO (2022) duomenimis, iki 90 proc. visų ŠESD, susijusių su žuvų auginimu, tenka pašarams. Pašarų sudėtyje esantiems žuvų miltams ir augaliniams ingredientams gauti reikia daug žemės, vandens ir energijos, o tai dar labiau didina spaudimą aplinkai. Be to, akvakultūroje susidaro reikšmingas kiekis atliekų – nesuvalgytų pašarų, išmatų, medžiagų apykaitos produktų bei cheminių medžiagų likučių, kurie gali pabloginti vandens kokybę ir trikdyti ekosistemų veikimą (Wu, 1995; Dalsgaard & Krause-Jensen, 2006; Holmer et al., 2008). Šio poveikio mastas priklauso nuo daugelio veiksnių – ūkio vietos, rūšių, gyvulių tankumo bei pašarų efektyvumo.

Kadangi pasaulinė jūrų gėrybių paklausa toliau auga, pagrindinis iššūkis yra sunderinti akvakultūros plėtrą su aplinkos tvarumu. Norint sumažinti anglies pėdsaką ir užtikrinti ilgalaikį aplinkosauginį gyvybingumą, būtina taikyti tvarius energijos vartojimo, žemės valdymo, pašarų gamybos ir atliekų tvarkymo sprendimus.

2.1. Šiltnamio efektą sukeliančios dujos ir anglies pėdsakas

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) išmetimas daro didelį poveikį Žemės atmosferai, nes sulaiko šilumą. Šios dujos yra anglies dioksidas (CO_2), metanas (CH_4), azoto oksidas (N_2O) ir fluorintos dujos. Nors apie CO_2 kalbama dažnai, CH_4 taip pat vaidina svarbų vaidmenį visuotinio atšilimo procese. Dėl antropogeninės veiklos, pavyzdžiui, šlapžemių pertvarkymo, sąvartynų įrengimo, užtvankų statybos, biomasės deginimo, miškų kirtimo, kasybos, dujų ir anglies pramonės smarkiai padidėjo CH_4 emisija. Nepaisant trumpesnio CH_4 gyvavimo atmosferoje laiko, CH_4 yra daug veiksmingesnis šilumos sugėriklis nei CO_2 (Jungtinių Tautų aplinkosaugos programa, 2022). TKKK teigia, kad „žmogaus įtaka klimato sistemai yra akivaizdi, o pastaruoju metu antropogeninės kilmės šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos yra didžiausios per visą istoriją“. Nuo pramonės revoliucijos laikų dėl žmogaus veiklos gerokai padidėjo šių dujų koncentracija, todėl pakilo pasaulio temperatūra ir atsirado klimato kaitos padarinių. Dėl sparčios industrializacijos ir urbanizacijos daugelyje regionų dar labiau padidėjo išmetamų teršalų kiekis. Transporto

sektorius, energijos gamyba ir pramoniniai procesai labai prisideda prie CO₂ išmetimo. Be to, žemės ūkio sektorius, įskaitant gyvulininkystę ir ryžių laukus, yra žymus CH₄ ir N₂O emisijos šaltinis. Šie išmetami teršalai turi didelių pasekmių, nes daro įtaką orų modeliams, jūros lygiui ir biologinei įvairovei. Pasaulinė akvakultūros pramonė, nors ir tvari alternatyva laukinių žuvų gaudymui, yra didelis ŠESD šaltinis. Energijai imli veikla, žemės naudojimo pokyčiai, pašarų gamyba ir atliekų tvarkymas prisideda prie akvakultūros anglies pėdsako (MacLeod et al., 2019).

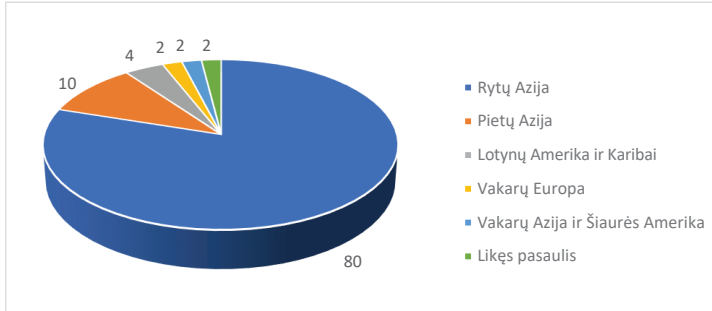
ŠESD emisijos akvakultūros plėtros kontekste

Pastaraisiais dešimtmečiais akvakultūra sparčiai plėtėsi ir tapo svarbia pasaulinės maisto gamybos grandies dalimi. Didėjant jūrų gėrybių paklausai, akvakultūra dažnai įvardijama kaip tvaresnė alternatyva tradicinei gyvulininkystei. Tačiau spartus šios pramonės augimas kartu kelia ir aplinkosaugos iššūkių – vienas svarbiausių iš jų yra šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisija. Didžiausias akvakultūroje išskiriamų ŠESD kiekis siejamas su anglies dioksido (CO₂), metano (CH₄) ir azoto suboksido (N₂O) išmetimu. Ši emisija kyla dėl energijos sąnaudų pašarų gamybai, žemės ūkio veiklų, trąšų naudojimo bei pačių auginamų organizmų medžiagų apykaitos procesų (MacLeod et al., 2019). Ypač daug metano išsiskiria anaerobinėmis sąlygomis akvakultūros tvenkiniuose, kur dėl deguonies stokos vyksta organinių medžiagų skilimas (Pu et al., 2022). Tokios sąlygos būdingos stovinčio ar lėtai tekančio vandens sistemoms su dideliu biomasės kiekiu.

Azoto suboksido (N₂O) emisija dažniausiai atsiranda dėl mikrobiologinių procesų, vykstančių azoto turinčiose aplinkose. Šios sąlygos dažnai susiformuoja dėl per didelio trąšų ar pašarų kiekio, kuris skatina azoto junginių kaupimąsi ir aktyvų denitrifikacijos procesą (Bano et al., 2024). Tiek CH₄, tiek N₂O dujos sukelia stiprų šiltnamio efektą, todėl jų kontrolė ypač svarbi siekiant sumažinti akvakultūros sektoriaus indėlį į klimato kaitą.

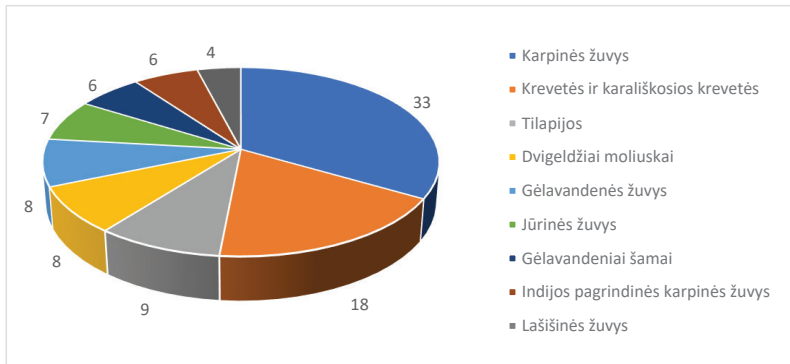
MacLeod ir kt. (2019) atliktoje analizėje buvo įvertintas pasaulinės akvakultūros – kompleksiško sektoriaus, apimančio įvairias rūšis, auginamas skirtingose sistemose ir aplinkose – šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas. Tyrime pagrindinis dėmesys skiriamas svarbiausioms auginamų rūšių grupėms, išskyrus jūrų augalus. Didžiausia ŠESD emisija yra Rytų ir Pietų Azijos regionuose, jiems tenka net 90 proc. visos akvakultūros produkcijos (2.1 pav.). Kinija užima pirmąją vietą pasaulyje pagal vandens produktų gamybą ir vartojimą bei atlieka svarbų vaidmenį užtikrinant pasaulinį aprūpinimą maistu (FAO, 2020). Indonezija, kurios

žuvininkystės sektorius 2023 m. sparčiai augo, taip pat yra gana svarbi šalis – šiai veiklai tenka apie 3,2 proc. šalies bendrojo vidaus produkto (Sulistijowati et al., 2023).



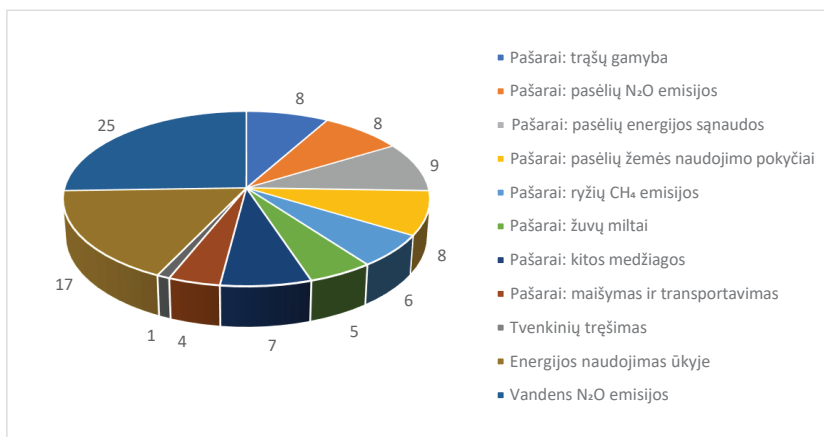
2.1 pav. Bendro išmetamų ŠESD kiekio procentinė dalis pagal regionus (MacLeod et al., 2019; FAO Technical Paper No. 626)

Analizuojant rūšių grupes paaiškėjo, kad didžiausia ŠESD emisija tenka karpių žuvų (33 proc.) ir krevečių (18 proc.) auginimui (2.2 pav.). Ypač didelę emisiją sukelia intensyvaus krevečių auginimo tvenkiniai, kuriuose dėl anaerobinių sąlygų (ypač dumblėtame dugne) susidaro reikšmingas metano (CH_4) kiekis. Šis reiškinys dažniausiai pasireiškia pakrančių regionuose, kurių ekosistemos yra itin jautrios.



2.2 pav. Viso ŠESD kiekio procentinė dalis pagal auginamų rūšių grupes (MacLeod et al., 2019; FAO Technical Paper No. 626)

Tyrimas taip pat parodė, kad didžiausias ŠESD šaltinis yra pašarų gamyba – jai tenka net 55 proc. visos emisijos, susijusios su žuvų auginimu (2.3 pav.). Kiti svarbūs šaltiniai yra energijos vartojimas ūkiuose ir N_2O emisijos iš vandens (ypač tvenkiniuose).



2.3 pav. Išmetamųjų ŠESD kiekio procentinė dalis pagal šaltinių kategorijas (MacLeod et al., 2019; FAO Technical Paper No. 626)

Pagrindiniai šiltnamio efektą sukeliančių dujų šaltiniai

N_2O daugiausia susidaro mikrobiologiškai konvertuojant azotą dirvožemyje auginant augalus, taip pat mikrobiologiškai konvertuojant azoto junginius iš pašarų ir trąšų akvakultūros tvenkiniuose (MacLeod et al., 2019). TKKK (2007) informavo, kad nuo pramonės laikų padidėjo N_2O ir CH_4 koncentracija, o tai kelia susirūpinimą, nes šios dujos, nors jų koncentracija yra mažesnė nei anglies dioksido (CO_2), per 100 metų 298 (N_2O) ir 25 (CH_4) kartus viršija CO_2 visuotinio atšilimo potencialą. N_2O susidarymo greitį lemia daugybė fizikinių ir cheminių veiksnių, tokių kaip temperatūra, druskingumas ir pH, kurie gali kisti pagal sezoną. Pastebėta, kad daugiau N_2O išsiskiria iš akvakultūros didelio tankio žuvų auginimo sistemose, ypač Azijoje, kur akvakultūros plėtra didžiausia (FAO, 2020). Tyrimai rodo, kad net nedidelio masto akvakultūra gali prisidėti prie N_2O emisijos, prilygstančios žemės ūkio veiklos emisijai (Rahman et al., 2022).

CO_2 išsiskiria dėl energijos suvartojimo prieš eksploatavimą (daugiausia susijusios su pašarų ir trąšų gamyba), energijos suvartojimo eksploatavimo metu (pavyzdžiui, vandens pumpavimas, elektros energijos suvartojimas, kito kuro naudojimas) ir paskirstymo bei perdirbimo po eksploatavimo. CO_2 taip pat išmetama dėl antžeminių ir požeminių anglies sandėpų pokyčių, atsirandančių dėl žemės naudojimo ir žemės naudojimo paskirties keitimo (pievų keitimo į dirbamąją žemę). CH_4 , kuris daugiausia susidaro dėl anaerobinio organinių medžiagų skaidymo užliejamuose

ryžių plotuose, taip pat gali susidaryti tvarkant žuvininkystės ūkių atliekas (MacLeod, 2019). Žuvų ūkiuose susidaro organinių atliekų, įskaitant nesuvalgytą pašarą, žuvų ekskrementus ir kitus šalutinius produktus. Šioms medžiagoms skylančioms anaerobinėje aplinkoje, pavyzdžiui, nuosėdose arba prastai tvarkomose atliekų lagūnose, išsiskiria metanas (CH_4) (Pu et al., 2022).

2.2. Energijos sąnaudos ir tvarumas

Akvakultūros veiklos anglies dioksido pėdsakas glaudžiai susijęs su naudojamais energijos šaltiniais. Daugelyje pasaulio regionų akvakultūros operacijos priklauso nuo elektros energijos, kuri dažnai gaminama naudojant iškastinį kurą. Dėl to į atmosferą išmetamas reikšmingas kiekis anglies dioksido (CO_2), prisidedantis prie šiltnamio efekto (Li et al., 2024). Elektros energijos gamybos CO_2 intensyvumas labai priklauso nuo dominuojančių energijos rūšių konkrečiame regione: tose vietovėse, kuriose pagrindinis šaltinis yra anglis, nafta ar gamtinės dujos, emisijos lygis yra gerokai aukštesnis. Ypač didelį poveikį aplinkai daro didelio masto, energijai imlios akvakultūros operacijos, kuriose naudojama daug elektros, kad veiktų filtravimo, aeravimo, temperatūros palaikymo ir automatizuotos šėrimo sistemos. Dėl šių veiksmų būtina diegti energiją taupančias technologijas ir plėtoti atsinaujinančiais ištekliais grįstus sprendimus, kad būtų galima mažinti anglies dioksido emisiją ir pereiti prie tvaresnės akvakultūros praktikos.

Energijos šaltiniai ir jų poveikis aplinkai

Nors akvakultūra yra svarbi globalios maisto gamybos dalis, jos spartus augimas kelia vis didesnį aplinkosauginį susirūpinimą (Naylor et al., 2000). Vieni iš pagrindinių su akvakultūra susijusių iššūkių – pašarų gamyba, energijos vartojimas ir dideli kiekiai maistinių medžiagų turinčių nuotekų, atsirandančių dėl gyvūnų medžiagų apykaitos (Thomas et al., 2021). Aplinkosauginiam tvarumui vertinti plačiai taikoma gyvavimo ciklo vertinimo (angl. *Life Cycle Assessment*, GCV) metodika, apibrėžta ISO 14040 ir 14044 standartuose (ISO, 2006a; 2006b). Ši metodika leidžia kiekybiškai įvertinti produktų, procesų ar paslaugų daromą poveikį aplinkai per visą jų gyvavimo ciklą – nuo žaliavų išgavimo iki atliekų susidarymo – ir padeda nustatyti galimus neigiamus padarinius ekosistemoms, žmonių sveikatai ir gamtos ištekliais (Cucurachi et al., 2019). Akvakultūros energijos poreikis susijęs

su technologiniais sprendimais, reikalingais norint palaikyti optimalias auginamų rūšių gyvenimo sąlygas. Tam būtina užtikrinti efektyvią vandens cirkuliaciją, aeraciją, temperatūros kontrolę, apšvietimą bei automatizuotą šėrimą. Šios technologijos ypač svarbios recirkuliacinėse akvakultūros sistemose (RAS), kurios, nors ir tvaresnės vandens išteklių atžvilgiu, dažnai pasižymi didesniu energijos suvartojimu (2.1 lentelė).

2.1 lentelė. Energijos naudojimas įvairiuose akvakultūros operacijų etapuose

Akvakultūros veiklos	Energijos poreikiai
Inkubatoriai ir jauniklių auginimo patalpos	Temperatūros palaikymas, apšvietimas ir vandens cirkuliacija
Tvenkinių ir rezervuarų sistemos	Aeracija, siurbimas ir filtravimas
Recirkuliacinės akvakultūros sistemos (RAS)	Vandens valymas ir temperatūros reguliavimas
Varžos ir atviros jūros sistemos	Laivų transportas, šėrimo sistemos ir žuvų surinkimas
Pašarų gamyba ir perdirbimas	Daug energijos naudojantys ingredientų šaltiniai, gamyba ir transportavimas

Tačiau šie energijos poreikiai, ypač kai energija gaunama iš iškastinio kuro, reikšmingai prisideda prie anglies dioksido emisijos, kuri skatina visuotinį atšilimą. Kadangi akvakultūros pramonė toliau plečiasi, norint užtikrinti jos ilgalaikį tvarumą, itin svarbu suprasti su energija susijusį poveikį aplinkai ir siekti jį mažinti. Siekiant tvarumo akvakultūroje, būtina derinti energijos suvartojimą su aplinkosaugos tikslais. Vienas iš perspektyviausių sprendimų – atsinaujinančių energijos šaltinių integravimas į akvakultūros veiklą, kuris gali reikšmingai sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją (2.2 lentelė).

2.2 lentelė. Pirminės energijos šaltiniai akvakultūroje

Energijos šaltiniai	Panaudojimo sritys
Iškastinis kuras (dyzelinas, anglis, gamtinės dujos)	Generatoriai, transportas, šėrimo įranga, gamybos ir perdirbimo įrenginiai
Elektra (dažniausiai iš neatsinaujinančių šaltinių)	Vandens siurbiai, aeracijos sistemos, temperatūros reguliavimo ir šaldymo įranga

Parinkus ūkininkavimo sistemą, taip pat auginant mažiau energijos ir pašarų naudojančias rūšis galima reikšmingai sumažinti poveikį aplinkai ir energijos

sąnaudas. Gamybės energijos sąnaudos susijusios ne tik su ekosistemų išteklių efektyvumo ar neatsinaujinančių šaltinių išekvojimo klausimais, bet ir su galimomis ilgalaikėmis pasekmėmis visuomenei dėl aplinkos pokyčių, kylančių dėl taršos ir klimato kaitos (FAO, 2022; Parker et al., 2018).

Akvakultūros energijos sąnaudos: pagrindiniai aspektai

Akvakultūra yra itin daug energijos naudojanti pramonės šaka, kuriai reikalinga didelė energijos dalis, siekiant palaikyti optimalias sąlygas auginamoms rūšims. Įvairūs procesai – nuo vandens cirkuliacijos ir aeracijos iki temperatūros kontrolės bei šėrimo – būtini vandens organizmams augti ir sveikatai, tačiau skirtingai prisideda prie bendro energijos vartojimo, priklausomai nuo veiklos masto ir auginamų rūšių.

1. Vandens cirkuliacija ir aeracija: deguonies koncentracijos palaikymas akvakultūros sistemose yra esminis veiksnys, lemiantis žuvų ir vėžiagyvių gyvybingumą. Aeracijos sistemos, ypač intensyviose sistemose, kuriose didelis gyvūnų tankis, naudoja daug energijos, kad vanduo būtų prisotintas deguonies. Be to, vandens cirkuliacijos sistemos užtikrina tolygų deguonies, maistinių medžiagų ir atliekų pasiskirstymą, o tai dar labiau didina energijos poreikį (Tacon & Metian, 2009).

2. Temperatūros kontrolė: temperatūra stipriai veikia augimo tempą ir medžiagų apykaitą. Šaltuose regionuose arba auginant tropines rūšis vidutinio klimato zonose, būtina aktyviai reguliuoti vandens temperatūrą. Tam naudojami šildytuvai, aušintuvai ar šilumokaičiai – visi šie įrenginiai naudoja daug energijos. Nors šios sistemos padeda užtikrinti tinkamas augimo ir dauginimosi sąlygas, jos reikšmingai prisideda prie bendro energijos suvartojimo (Boyd & McNevin, 2015).

3. Šėrimo sistemos: norint padidinti efektyvumą ir sumažinti pašarų švaistymą, akvakultūros ūkiuose vis dažniau diegiamos automatizuotos šėrimo sistemos. Jos leidžia tiksliai ir tolygiai paskirstyti pašarus, pagerina konversijos rodiklius ir bendrą produktyvumą. Tačiau šioms sistemoms taip pat reikia papildomai elektros energijos (Matulić et al., 2020).

2.3. Žemės naudojimo ir buveinių pokyčiai

Atsižvelgiant į nuolat augančią pasaulinę žuvų ir jūrų gėrybių paklausą, vienas didžiausių iššūkių yra suderinti akvakultūros sektoriaus plėtrą su aplinkosauginio tvarumo principais. Akvakultūros dažnai sparčiai auga ekologiškai jautriose

teritorijose, todėl vyksta reikšmingi žemės naudojimo pokyčiai ir buveinių konversija. Ypač didelį poveikį patiria vertingos ekosistemos, tokios kaip mangrovės, pelkės ir pakrančių zonos. Šių buveinių praradimas ne tik mažina biologinę įvairovę, bet ir lemia padidėjusį anglies dioksido išmetimą bei spartina ekosistemų degradaciją. Tokie pokyčiai kelia rimtų abejonių dėl ilgalaikio akvakultūros sektoriaus tvarumo ir gebėjimo prisidėti prie pasaulinio aprūpinimo maistu (Barbier et al., 2011).

Mangrovių nykimas ir anglies dioksido išmetimas

Viena iš reikšmingiausių neigiamų akvakultūros plėtros pasekmių yra buveinių – ypač pakrančių ekosistemų – nykimas arba blogėjimas. Tai apima ne tik mangrovių miškus, bet ir kitas šlapynes, tokias kaip jūros žolių pievos, druskingosios pelkės, pakrančių lagūnos bei estuarijos (Wu, 1995; Dev, 1998; Naylor et al., 2000; Pérez-Osuna, 2001; Ruiz et al., 2001; Pérez et al., 2008). Mangrovės yra itin svarbios ekosistemos. Jos aprūpina organinėmis medžiagomis, sudaro daugelio ekonomiškai reikšmingų vandens gyvūnų rūšių veisimosi buveines, taip pat suteikia prieglobstį paukščiams bei kitiems sausumos gyvūnams (Tidwell & Allan, 2001; Pérez-Osuna, 2005). Be to, šie miškai atlieka svarbią ekologinę funkciją: jie sulaiko nuosėdas, teršalus, azoto junginius ir anglį, mažina pakrančių eroziją ir padeda apsisaugoti nuo ekstremalių oro reiškinių (Alongi, 2002; Walters et al., 2008).

Tačiau mangrovių nykimas siekia 1–2 proc. per metus, o pagrindinė šio proceso priežastis yra intensyvi krevečių ir žuvų akvakultūra, ypač tokiose šalyse kaip Tailandas, Indonezija, Ekvadoras ir Madagaskaras (Naylor et al., 2000; Harper et al., 2007). Dėl šios veiklos jau sunaikinta milijonai hektarų mangrovių miškų, o Viduržemio jūros regione narvinės akvakultūros poveikis taip pat pasireiškė *Posidonia oceanica* jūros žolių pievų degradacija dėl per didelės organinės apkrovos. Mangrovių pavertimas krevečių fermomis lemia didžiulį biologinės įvairovės praradimą – nyksta žuvų, vėžiagyvių, paukščių ir kitų gyvūnų mitybos, veisimosi ir prieglobsčio vietos (Dev, 1998; Pérez-Osuna, 2001; Ruiz et al., 2001; Pérez et al., 2008). Taip pat prarandama natūrali apsauga nuo potvynių, audrų ir uraganų, o pakrančių bendruomenės tampa dar labiau pažeidžiamos klimato kaitos poveikio.

Ypač didelį susirūpinimą kelia anglies dioksido emisijos, susijusios su mangrovių naikinimu. Alongi (2015) pažymi, kad mangrovių konversija į akvakultūros teritorijas ne tik sustabdo jų gebėjimą kaupti anglį, bet ir išlaisvina jau sukauptą anglį iš dirvožemio į atmosferą. Kadangi mangrovės yra vienos iš daugiausia anglies kaupiančių ekosistemų pasaulyje – viename hektare jos gali sukaupti iki penkis kartus daugiau anglies nei atogrąžų miškai – jų naikinimas laikomas itin žalingu klimato požiūriu (Barbier et al., 2011). Dėl pakrančių pelkių nykimo ne tik prarandamas

anglies kaupimo potencialas, bet ir silpnėja pakrančių apsauga, didėja erozija, o vietos bendruomenės susiduria su didesne rizika dėl klimato kaitos poveikio.

Šlapynių ir žemės ūkio paskirties žemės pokyčiai

Vidaus vandenų akvakultūros plėtra ženkliai paveikė žemės naudojimo struktūrą, ypač transformuojant šlapžemių ir žemės ūkio paskirties žemes į akvakultūros veiklai skirtas teritorijas. Šis pokytis dažnai grindžiamas ekonominiu akvakultūros patrauklumu, nes ji gali generuoti didesnę finansinę grąžą nei tradicinė žemdirbystė (Ahmed & Thompson, 2019). Tačiau tokia plėtra sukelia rimtų aplinkosaugos pasekmių. Viena svarbiausių problemų – natūralių ekosistemų, ypač šlapynių, naikinimas. Šlapynės atlieka kritiškai svarbias ekologines funkcijas: filtruoja vandenį, reguliuoja potvynius, palaiko biologinę įvairovę ir tarnauja kaip anglies kaupimo sistemos. Jas nusiausinant ir konvertuojant į žuvininkystės tvenkinius, prarandamas kraštovaizdžio atsparumas ir gebėjimas susidoroti su aplinkos pokyčiais.

Rahman ir kt. (2022) pabrėžia, kad žemės ūkio paskirties žemės pavertimas akvakultūros plotais gali sukelti didelę, o dažnai ir negrįžtamą, ekologinę žalą. Todėl būtina taikyti tvarią žemės naudojimo praktiką, kad būtų išsaugotos esamos ekosistemos. Be to, intensyvi akvakultūra lemia organinių atliekų, cheminių medžiagų ir perteklinių maistinių medžiagų kaupimąsi dirvožemyje ir vandenyje. Šios medžiagos skatina eutrofikacijos procesus – per didelį maistingųjų medžiagų kiekį vandenyje, kuris sukelia dumblių žydėjimą, mažina deguonies koncentraciją ir trikdo natūralių vandens ekosistemų funkcionavimą (Boyd et al., 2020).

Buveinių fragmentacija ir biologinės įvairovės nykimas

Akvakultūros plėtra prisidėjo prie buveinių fragmentacijos, dėl kurios sutrinka ekologiniai ryšiai ir rūšims tampa sunku migruoti, daugintis ir rasti maisto išteklių. Dėl tokio susiskaidymo gali mažėti populiacijos ir nykti biologinė įvairovė. Svetimų rūšių introdukcija veisimo tikslais dar labiau sustiprina šį poveikį, nes jos konkuruoja su vietinėmis rūšimis arba jas išnaikina, dar labiau destabilizuodamos ekosistemas (Chavez et al., 2020).

Naujausi tyrimai rodo didelį buveinių fragmentacijos poveikį biologinei įvairovei (Marrone et al., 2023). Žemės ūkio paskirties žemės pavertimas akvakultūros plotais lėmė nuolatinius ekologinius pokyčius, todėl išryškėja tvarios praktikos svarba tokiems perėjimams (Rahman et al., 2022). Dėl buveinių naikinimo mažėja populiacijų dydis ir fragmentuojasi rūšių arealai, todėl sutrinka individų judėjimas tarp buveinių plotų ir mažėja jų išlikimo galimybės (Haddad et al., 2015).

2.4. Pašarų gamyba ir išteklių naudojimas

Akvakultūrai skirtų pašarų gamyba yra svarbus šio sektoriaus aspektas, tačiau ji daro didelį poveikį aplinkai. Pašarų ingredientams, pavyzdžiui, žuvų miltams ir augalinės kilmės ingredientams, gauti reikia daug gamtinių išteklių, pavyzdžiui, žemės, vandens ir energijos. Tai prisideda prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo ir aplinkos būklės blogėjimo. Apskaičiuota, kad iki 90 proc. šiltnamio efektą sukeliančių dujų, išmetamų žuvų ūkiuose, tenka akvakultūros pašarų gamybai (FAO, 2022). Didėjant akvakultūros produktų paklausai, siekiant sumažinti poveikį aplinkai ir užtikrinti ilgalaikį šios pramonės šakos tvarumą, labai svarbu taikyti tvarią pašarų gamybos praktiką.

Akvakultūros pašarai ir alternatyvūs baltymų šaltiniai

Norint patenkinti auginamų žuvų ir jūrų gėrybių mitybos poreikius, akvakultūroje naudojami įvairios sudėties kombinuotieji pašarai. Tradiciškai svarbiausia sudedamoji dalis yra žuvų miltai, gaminami daugiausia iš mažų pelaginių žuvų, tokių kaip ančiuviai ir sardinės. Vis dėlto kylant vis didesniai susirūpinimui dėl peržvejojimo, jūrų išteklių išsekimo ir poveikio biologinei įvairovei ieškoma tvaresnių alternatyvų (Tacon & Metian, 2009). Atsižvelgdama į šiuos iššūkius, akvakultūros pramonė vis dažniau eksperimentuoja su alternatyviais pašarų ingredientais. Vieni dažniausiai nagrinjamų variantų – augalinės kilmės baltymai, tokie kaip sojos, kviečiai ir kukurūzai. Šie komponentai laikomi perspektyviais žuvų miltų pakaitalais, galinčiais sumažinti priklausomybę nuo jūrų išteklių (Duarte et al., 2020; O’Flynn et al., 2021).

Be to, pastaraisiais metais vis daugiau dėmesio sulaukia vabzdžių baltymai – ypač juodųjų kareivių musų (*Hermetia illucens*) ir miltinių sliekų (*Tenebrio molitor*). Vabzdžių baltymai gali būti gaunami naudojant organines atliekas kaip substratą, todėl jie vertinami kaip tvari alternatyva, kuriai reikia mažesnių žemės ir vandens resursų ir kuri padeda mažinti ekologinį pėdsaką (Freda et al., 2022).

Apskritai pastangos pakeisti tradicinius pašarų ingredientus alternatyviais sprendimais atspindi didėjančią supratimą apie būtinybę derinti produktyvią akvakultūrą su tvarumo principais. Tinkamai parinkti pašarų šaltiniai gali padėti sumažinti spaudimą jūrų ekosistemoms ir kartu užtikrinti didelę auginamų rūšių maistinę vertę.

Akvakultūros pašarų gamybos poveikis aplinkai

Augalinių pašarų poveikis aplinkai

Žuvų miltų pakeitimas augalinės kilmės ingredientais, tokiais kaip sojos ar kukurūzai, padeda sumažinti spaudimą jūrų ekosistemoms. Tačiau šis perėjimas sukelia naujų aplinkosaugos iššūkių (Tacon & Metian, 2009). Didėjanti augalinių komponentų paklausa skatina keisti žemės paskirtį, ypač tropiniuose regionuose, kur siekiama plėsti žemės ūkio plotus, atitinkančius pašarų gamybos poreikius (Fargione et al., 2023). Tokie pokyčiai daro didelę įtaką aplinkai – plečiant dirbamus plotus dažnai naikinami miškai, nyksta natūralios buveinės, mažėja biologinė įvairovė. Ypač pažeidžiami tropiniai miškai, kurių dideli plotai iškertami siekiant auginti pašarams skirtas kultūras, tokias kaip sojos ir kukurūzai. Dėl to didėja šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija, silpnėja ekosistemų atsparumas, trikdomas natūralus anglies ciklas ir mažėja anglies kaupimo galimybės.

Poveikis klimato kaitai ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijai

Be žemės paskirties keitimo, augalinės kilmės pašarų gamyba tiesiogiai prisideda prie klimato kaitos per šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisiją. Miškų kirtimas, siekiant paversti teritorijas žemės ūkio naudmenomis, sukelia didelius anglies dioksido (CO₂) nuostolius – tiek dėl anglies atsargų praradimo medienoje ir dirvožemyje, tiek dėl energijos, naudojamos kirtimui ir transportavimui (Soussana et al., 2021). Be to, auginant pašarams skirtus augalus intensyviai naudojamos sintetinės trąšos ir pesticidai, dėl kurių į atmosferą išsiskiria azoto suboksidas (N₂O) – itin stiprios šiltnamio efektą sukeliančios dujos (Pardoe et al., 2022). Šios emisijos turi poveikį ne tik globaliu mastu, bet ir veikia vietos klimatą, didina akvakultūros sistemų pažeidžiamumą ir ilgainiui mažina jų tvarumą.

Žemės degradacija, vandens suvartojimas ir biologinės įvairovės nykimas

Sojų pupelės, kurios yra pagrindinė daugelio akvakultūroje naudojamų pašarų sudedamoji dalis, kelia vis daugiau aplinkosaugos iššūkių. Tarp jų – dirvožemio degradacija, per didelis vandens vartojimas ir žemės ūkio biologinės įvairovės mažėjimas (Magrin et al., 2020). Sparčiai plintant intensyvioms sojų monokultūroms, didėja dirvožemio erozija, išplaunamos maistinės medžiagos, o pasėliai tampa jautresni ligoms ir kenkėjams. Tai verčia ūkininkus dažniau naudoti pesticidus ir trąšas, o šios medžiagos patenka į vandens telkinius, tad prisideda prie vandens taršos ir eutrofikacijos (Pardoe et al., 2022). Be to, žemės ūkio plėtra dažnai vyksta vertingų ekosistemų – pelkių, miškų, natūralių pievų – sąskaita. Šių teritorijų naikinimas ne

tik sumažina kraštovaizdžio ekologinę vertę, bet ir sutrikdo vietinius anglies apytakos ciklus. Dėl to mažėja gebėjimas sugerti šiltnamio efektą sukeliančias dujas, silpnėja atsparumas klimato kaitai ir didėja rizika patirti neigiamus ekstremalių orų reiškinių padarinius, tokius kaip potvyniai ar sausros (Fargione et al., 2023).

Anglies dioksido pėdsakas ir energijos sąnaudos

Be žemės naudojimo pokyčių, reikšmingą poveikį klimatui daro ir dideli energijos kiekiai, reikalingi augalinės kilmės pašarų gamybai. Trašų gamyba, transportavimas ir žemės paruošimo darbai dažnai priklauso nuo iškastinio kuro, todėl reikšmingai prisideda prie anglies dioksido (CO₂) emisijų (Soussana et al., 2021). Pašarų gamybos procese daug energijos sunaudojama ir žaliavoms perdirbti – džiovinti, malti, maišyti, granuliuoti. Jei šie procesai vykdomi naudojant neatsinaujinančius energijos šaltinius, jų anglies pėdsakas dar labiau išauga. Dėl šių veiksmų kyla abejonių, ar augalinės kilmės pašarų alternatyvos iš tiesų yra ilgalaikis tvarus sprendimas, ypač vertinant jų bendrą poveikį klimato kaitai.

Pašarų parinkimas ir mityba akvakultūroje

Veiksniai, turintys įtakos pašarų pasirinkimui

Tinkamas žuvų ir vėžiagyvių pašaro pasirinkimas yra vienas svarbiausių sėkmingo akvakultūros ūkio veiksnių. Pašarai parenkami atsižvelgiant į kelis kriterijus: auginamos rūšies mitybos pobūdį (žolėdžiai, visaėdžiai ar mėšėdžiai), šios rūšies ekonominę vertę bei naudojamą auginimo sistemą. Pavyzdžiui, intensyvioms sistemoms (tokioms kaip bėgimo takai, tankūs tvenkiniai ar narvai) dažniausiai reikalingi specialiai suformuluoti, subalansuoti pašarai, užtikrinantys greitą augimą ir gerą pašarų konversijos koeficientą (FCR). Tuo tarpu ekstensyviose sistemose (pavyzdžiui, natūraliuose tvenkiniuose) augintiniai gali pasikliauti ir natūraliais maisto ištekliais, todėl pašarų poreikis yra mažesnis (Tacon et al., 2013).

Ekonominiai ir aplinkosaugos aspektai renkantis pašarus

Augalininkystės ir žuvininkystės ūkiai dažnai susiduria su pašarų kainų, prieinamumo ir kokybės klausimais. Kai komerciniai pašarai nėra lengvai prieinami ar tinkami konkrečioms rūšims, ūkininkai kartais pasirenka vietoje gaminamus pašarus. Šie pašarai gaminami iš lokaliai prieinamų žaliavų, tokių kaip žemos kokybės žuvis, žemės ūkio likučiai ar kiti šalutiniai produktai. Toks pasirinkimas dažnai priklauso nuo ūkininko finansinių galimybių, įskaitant pašarų kainą, sandėliavimo

sąlygas bei darbo sąnaudas (Tacon et al., 2013). Tačiau netinkamai taikomos šėrimo praktikos – ypač perteklinis šėrimas – ne tik didina sąnaudas, bet ir lemia aplinkos taršą dėl nesuvirškintų maistinių medžiagų patekimo į aplinką. Todėl taikant veiksmingą pašarų valdymą reikėtų derinti ekonominį efektyvumą su aplinkos apsaugos principais, siekiant užtikrinti ilgalaikį ūkininkavimo tvarumą (White, 2013).

Pašarų kokybė ir efektyvumas

Svarbus akvakultūros uždavinys – patenkinti žuvų mitybos poreikius, taikant tinkamą pašarų racioną, kuris optimizuotų augimą ir FCR. Žuvų rūšių energijos ir maistinių medžiagų poreikis gali skirtis kasdien, sezoniškai ir priklausomai nuo individo. Nesubalansuotas racionas, nepakankamas šėrimas arba perteklinis šėrimas gali lemti mažą gamybos efektyvumą ir prisidėti prie aplinkos būklės blogėjimo, ypač auginant žuvis narvuose (Bureau et al., 2006; Thorpe ir Cho, 1995). Norint sumažinti nuostolius ir pasiekti ekonominį bei aplinkosauginį tvarumą, būtina taikyti tinkamas pašarų valdymo strategijas (Talbot, Corneillie & Korsøen, 1999; Cho & Bureau, 1998).

Peržvejojimas

Laukinių išteklių ir biologinės įvairovės naudojimas akvakultūros pašarams gaminti ir sėkloms bei jaunikliams tiekti gali padaryti didelės žalos vandens ekosistemoms (Dev, 1998; Choo, 2001; Pérez-Osuna, 2001). Laukinių žuvų rūšys, turinčios mažą komercinę vertę, pavyzdžiui, japoniniai ančiuviai ir skumbrės, dažnai naudojamos mėsėdžių žuvų pašarams arba kaip papildomas pašaras tokioms rūšims kaip krevetės, tilapijos ir pieninės žuvys. Tokia praktika daro papildomą spaudimą jau ir taip pereikvotiems laukinių žuvų ištekliams. Laukinių žuvų, pavyzdžiui, ungurių, gruperių, geltonuodegių ir tunų, išvežimas dar labiau prisideda prie natūralių populiacijų nykimo.

Laukinių krevečių ir vėžiagyvių dauginamosios medžiagos rinkimas yra ypač kenksmingas, nes kelia grėsmę ne tik tikslinėms rūšims, bet ir žūsta netiksliniai organizmai, pavyzdžiui, kitos krevečių rūšys, makrozooplanktonas ir žuvų bei vėžiagyvių jaunikliai. Šis mitybos tinklo sutrikimas daro poveikį įvairiems organizmams, įskaitant vandens paukščius, roplius ir žinduolius, todėl padidėja mirtingumas ir sumažėja veisimosi sėkmė (Choo, 2001). Be to, laukinių rūšių išvežimas gali lemti vietinių populiacijų genetinę degradaciją ir natūralių buveinių sunaikinimą, todėl vandens ekosistema dar labiau sutrinka (Dev, 1998). Ši problema ypač aktuali intensyviai žvejojamoms ir mažai reprodukcinę gebėjimų turinčioms rūšims. Kol nelaisvėje auginamų reproduktorių produkcija yra brangi, tikėtina, kad laukinių nerštaviečių pirkimas tęsis ir dar labiau kenks aplinkai (Nash, 2005).

2.5. Tarša ir likutinės medžiagos

Akvakultūros ūkiuose gali susidaryti didelis kiekis atliekų ir nuotekų, kurių sudėtyje yra įvairių teršalų: nesuėsto pašaro likučių, žuvų išmatų, ištirpusių medžiagų apykaitos produktų (pavyzdžiui, išsiskiriančių per žiaunas ir inkstus) bei cheminių medžiagų, tokių kaip vaistai, trąšos ar sunkieji metalai. Šios medžiagos gali sukelti nepageidaujamą poveikį aplinkai (Wu, 1995; Dev, 1998; Pérez-Osuna, 2001; Read & Fernandes, 2003). Ypač svarbus yra kietųjų dalelių ir ištirpusių organinių bei neorganinių medžiagų poveikis, nes šie junginiai tiesiogiai patenka į vandens telkinius ir veikia tiek vandens stulpą, tiek dugno nuosėdas (Dalsgaard & Krause-Jensen, 2006; Holmer et al., 2007). Atliekų poveikio mastas priklauso nuo daugybės veiksnių: ūkio vietos, auginamų rūšių, gyvulių tankumo, pašarų sudėties ir virškinamumo, šėrimo režimo bei bendros sveikatingumo būklės (Wu, 1995).

2.3 lentelė. Akvakultūros plėtros veiksniai, poveikis ir atsakomieji veiksmai (Serpa & Duarte, 2008)

Veiksny	Veikla	Būsena	Poveikis	Atsakas
Žuvų auginimas	Padidėjęs maistinių medžiagų srautas	Didesnė maistinių medžiagų ir organinių medžiagų koncentracija	Fitoplanktono biomasės didėjimas / eutrofikacija	Jūrų dumblių auginimas maistinių medžiagų pertekliui pašalinti
	Padidėjęs organinių medžiagų srautas	Sumažėjęs deguonies kiekis / padidėjusi deguonies paklausa	Deguonies trūkumas. Organinių medžiagų kaupimasis nuosėdose	Didesnis dugninės gyvūnijos mirtingumas / sumažėjusi įvairovė
	Padidėjusios hidrodinaminės traukos jėgos	Sumažėjęs vandens pratekėjimas / padidėjęs vandens užsilikymo laikas	Intensyvesnis nuosėdų kaupimasis	Ūkių perkėlimas į teritorijas su stipresnėmis srovėmis
	Ksenobiotikų (kenksmingų cheminių medžiagų) išsiskyrimas	Biokoncentracija	Padidėjęs netikslinių rūšių mirtingumas	Mažiau intensyvi akvakultūra siekiant sumažinti ligų plitimą

Meteorologinės (pavyzdžiui, vėjo pobūdis), hidrografinės (pavyzdžiui, batimetrija, srovės, potvynių ir atoslūgių režimas, bangavimas, nuosėdų susidarymo greitis) ir geomorfologinės akvakultūros vietovių charakteristikos (Nordvarg & Hakanson, 2002; Kalantzi & Karakassis, 2006) daro didelę įtaką bet kokio tipo atliekų, patenkančių į vandens stromą, likimui.

Intensyvios gamybos sistemų, kuriose naudojama daug pašarų, nuotekos paprastai turi didesnę neigiamą poveikį nei pusiau intensyvių ar ekstensyvių sistemų, kuriose pašarų dedama nedaug arba visai nededama, nuotekos (Kautsky et al., 2000; Pérez-Osuna, 2001).

Akvakultūros atliekos, įskaitant nesuvalgytus pašarus, žuvų ekskrementus ir cheminių medžiagų likučius, daro didelį poveikį aplinkai. Azoto ir fosforo perteklius prisideda prie vandens taršos ir eutrofikacijos, dėl to mažėja deguonies kiekis ir klesti kenksmingi dumbliai. Akvakultūroje naudojamos cheminės medžiagos gali sukelti atsparumą antibiotikams ir sutrikdyti ekosistemą, o buveinių nykimas, pavyzdžiui, mangrovių kirtimas, kelia grėsmę biologinei įvairovei. Sprendžiant šiuos iššūkius būtina taikyti tvarią praktiką, pavyzdžiui, gerinti atliekų tvarkymą ir taikyti ekologiškus ūkininkavimo metodus, kad būtų sumažintas neigiamas akvakultūros poveikis aplinkai.

Maistinių medžiagų išsiskyrimas ir eutrofikacija

Akvakultūros atliekos, ypač nesuvalgytas pašaras ir žuvų ekskrementai, į aplinkinius vandenius patenka su dideliais azoto ir fosforo kiekiais. Šių maistinių medžiagų perteklius gali sukelti eutrofikaciją – pernelyg spartų dumblių žydėjimą, kuris mažina deguonies koncentraciją ir neigiamai veikia vandens organizmus.

Be organinių teršalų, į nuotekas patenka įvairių neorganinių junginių (pavyzdžiui, amoniakas, nitritai, nitratai ir fosfatai), susidariusių dėl medžiagų apykaitos produktų išsiskyrimo per žiaunas ir inkstus, taip pat tvenkinių tręšimo. Šių junginių kaupimasis gali sukelti rimtų aplinkos problemų: padidėjęs nutekėjimas bei sumažėjusi ištirpusio deguonies koncentracija blogina vandens kokybę (Wu, 1995; Dev, 1998; Tovar et al., 2000; Pérez-Osuna, 2001; Pearson & Black, 2001; Read & Fernandes, 2003; Biao & Kaijin, 2007; Pérez et al., 2008). Maistinių medžiagų perteklius skatina pirminių producentų – dumblių – augimą, dėl to savo ruožtu gali pakisti vandens ekosistemų struktūra ir sudėtis (Read & Fernandes, 2003; Biao & Kaijin, 2007).

Tam tikromis fizikinėmis sąlygomis kartu su kitais veiksniais gali vystytis KDŽ. Pavyzdžiui, 1993 ir 1995 m. Geltonosios jūros šiaurinėje dalyje *Chattonella marina* žydėjimas buvo susijęs su krevečių fermų išleidžiamomis nuotekomis (Biao & Kaijin, 2007). Toks fitoplanktono žydėjimas gamina įvairius toksinus (pavyzdžiui, DSP – diarėjinis apsinuodijimas vėžiagyviais, PSP – paralyžinis apsinuodijimas vėžiagyviais, ASD – amneziją sukeliančios medžiagos), kurie žaloja vėžiagyvius, dugno fauną ir kartais laukines arba ūkiuose auginamas žuvis, taip keldami grėsmę akvakultūros ekonomikai (Pearson & Black, 2001; Read & Fernandes, 2003; Gyllenhammar & Hakanson, 2005).

Nors jūros vanduo natūraliai praskiedžia nuotekas, todėl atviroje jūroje eutrofikacijos rizika narvų ūkiams yra maža (Wu, 1995; Pearson & Black, 2001), lokalūs eutrofikacijos židiniai gali susidaryti vietovėse su ribota vandenų apykaita (pavyzdžiui, pakrančių lagūnose, estuarijose) (Wu, 1995; Pearson & Black, 2001). Tokiomis sąlygomis per didelis maistinių medžiagų kiekis ne tik apsunkina ekosistemos produktyvumą, bet kai kuriais atvejais ir tiesiogiai neigiamai veikia pačią akvakultūros veiklą (Dev, 1998; Pérez-Osuna, 2001).

Cheminių medžiagų ir antibiotikų naudojimo poveikis

Akvakultūroje taikomi įvairūs chemikalai ir vaistai, siekiant užkirsti kelią ligoms ir gerinti auginamų organizmų produktyvumą. Dažniausiai naudojamos šios cheminių medžiagų grupės: vitaminai, pigmentai, mineralai ir hormonai; dezinfekcinės medžiagos (pavyzdžiui, balikliai, malachitinė žaluma) ir pesticidai (moluskoicidai, piscidai); kalkinimo medžiagos; metalai (antifoulantai); veterinariniai vaistai, įskaitant antibiotikus, anestetikus, parazitocidus ir vakcinas (Read & Fernandes, 2003; Costello et al., 2001). Naudojant antibiotikus ir kitus vaistus, jų likučių dažnai patenka į aplinką, ypač kai netaikomos veiksmingos atliekų tvarkymo priemonės. Tokie likučiai gali paveikti vietines ekosistemas: antibiotikai, patekę į natūralią vandens aplinką, lemia atsparių bakterijų atsiradimą ir plitimą. Šios bakterijos gali perduoti atsparumo genus kitiems mikroorganizmams, įskaitant žmonių ir gyvūnų patogenus (Okocha et al., 2018). Be to, antibiotikai gali trikdyti mikroorganizmų ir dumblių bendrijas, kurios yra svarbios vandens ekosistemų sveikatai (Li et al., 2024). Dėl sudėtingo biologinio skaidymo šie junginiai kaupiasi nuosėdose ir vandenyje, o ilgai gali užteršti paviršinius ir požeminius vandenis, lemiant didelius mikroorganizmų bendrijų pokyčius bei biologinės įvairovės mažėjimą (Luthman et al., 2024).

Antibiotikų likučiai akvakultūros produktuose kelia riziką žmonių sveikatai, o ilgalaikis antibiotikų naudojimas gali sutrikdyti ir pačių vandens organizmų žarnyno mikroflorą, sumažinti jų atsparumą ligoms ir augimo efektyvumą. Dėl antibiotikų kaupimosi aplinkoje gali išsivystyti atsparūs patogenai, kurie vėliau gali išplisti ir į kitas ekosistemas bei kelti grėsmę tiek vandens, tiek sausumos gyvūnijai (Farias et al., 2024). Kiti biologiniai produktai, tokie kaip organinės medžiagos skaidytojai (bakterijos, fermentų preparatai), taip pat naudojami vandens kokybei gerinti (Gräslund & Bengtsson, 2001). Cheminių medžiagų naudojimo mastas priklauso nuo auginimo intensyvumo ir technologijos: pusiau intensyviuose ūkiuose cheminių priemonių reikia mažiau, o intensyvėjant gamybai didėja ir naudojamų cheminių medžiagų įvairovė bei kiekis (Boyd & Massaut, 1999; Gräslund & Bengtsson, 2001).

Narvų sistemose dažniausiai naudojamos dezinfekcinės priemonės, antifoulantai ir veterinariniai vaistai (Kelly & Elberizon, 2001; Read & Fernandes, 2003). Pagrindiniai pavojai aplinkai, susiję su cheminių medžiagų naudojimu akvakultūroje, yra šie: vandens kokybės blogėjimas; biogeocheminių procesų sutrikimas; tiesioginis toksiskumas vandens organizmams ir augalams; atsparių patogenų išsivystymas; gydomųjų priemonių veiksmingumo sumažėjimas (Costello et al., 2001). Netinkamas cheminių junginių naudojimas gali kelti grėsmę ne tik aplinkai, bet ir akvakultūros produktų saugai bei žmonių sveikatai (Choo, 2001; Islam et al., 2004).

Santrauka

Akvakultūra yra svarbi pasaulinio maisto tiekimo grandinės dalis, tačiau jos spartus augimas kelia vis daugiau aplinkosaugos iššūkių, ypač klimato kaitos laikotarpiu. Ši veikla yra reikšmingas šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD), buveinių nykimo ir gamtos išteklių išsekvojimo šaltinis. Daug energijos eikvojančios operacijos, pašarų gamyba ir atliekų tvarkymas skatina CO₂, metano ir azoto oksido emisijas. Daugelyje įmonių naudojama elektros energija iš iškastinio kuro, o anaerobinės sąlygos tvenkiniuose didina metano išskyrimą.

Sparčiai plečiantis akvakultūrai, keičiasi žemės naudojimas – nyksta mangrovės ir pelkės, prarandamos svarbios buveinės, mažėja biologinė įvairovė ir anglies sekvestracija, didėja pakrančių erozija. Pašarų gamyba itin veikia aplinką: tradiciškai gaminant žuvų miltus skatinamas jūrų išteklių pereikvojimas, o naudojant augalines alternatyvas – miškų naikinimas ir žemės degradacija. Nors kuriami nauji baltymų šaltiniai, pavyzdžiui, vabzdžių miltai, jų taikymas dar ribotas.

Kita problema – didelis atliekų kiekis: nesuėsti pašarai, žuvų ekskrementai ir cheminių medžiagų likučiai prisideda prie vandens taršos, eutrofikacijos ir kenksmingų dumblių žydėjimo, kurie mažina deguonies kiekį ir trikdo ekosistemų pusiausvyrą. Taip pat išlieka pavojus dėl antibiotikų naudojimo ir atsparumo jiems plitimo, kas gali turėti poveikį ir žmonių sveikatai.

Norint užtikrinti ilgalaikį akvakultūros tvarumą, būtina pereiti prie atsakingesnių praktikų: naudoti atsinaujinančią energiją, efektyvinti pašarų gamybą, atsakingai tvarkyti žemės išteklius ir taikyti veiksmingus atliekų tvarkymo sprendimus. Tvarios akvakultūros plėtra turi būti derinama su aplinkos apsauga, kad didėjanti jūrų gėrybių paklausa nekenktų gamtai ateityje.

Literatūra

- Ahmed, N., & Thompson, S. (2019). The blue revolution and the changing land use pattern in aquaculture development. *Aquaculture Reports*, 14, 100219.
- Alongi, D. M. (2002). Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, 29(3), 331–349.
- Alongi, D. M. (2015). The impact of shrimp farming on mangrove ecosystems. *Environmental Science & Policy*, 56, 1–10.
- Bano, S., Wu, Q., Yu, S., Wang, X., & Zhang, X. (2024). Soil properties drive nitrous oxide accumulation patterns by shaping denitrifying bacteriomes. *Environmental Microbiome*, 19, 94.
- Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, Koch, E.W., Stier, A.C., Silliman, B.R. (2011). The Value of Estuarine and Coastal Ecosystem Services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169–193.
- Biao, X., & Kaijin, Y. (2007). Shrimp farming in China: Environmental impact and sustainability. *Aquaculture International*, 15(5), 21–39.
- Boyd, C. E., et al. (2020). Environmental assessment and management in aquaculture. *Aquaculture International*, 28(2), 697–716.
- Boyd, C. E., & Massaut, L. (1999). Risks associated with the use of chemicals in pond aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 20(2), 113–132.
- Boyd, C. E., & McNevin, A. A. (2015). *Aquaculture, resource use, and the environment*. Wiley-Blackwell.
- Bujas, T., Koričan, M., Vukić, M., Soldo, V., Vladimir, N., & Fan, A. (2022). Review of energy consumption by the fish farming and processing industry in Croatia and the potential for zero-emissions aquaculture. *Energies*, 15(21), 8197.
- Bureau, D. P., & Cho, C. Y. (2006). Feeding strategies and diet formulation to reduce waste outputs in aquaculture. *Aquaculture Research*, 37(3), 123–135.
- Chavez, J., et al. (2020). Effects of aquaculture on habitat fragmentation and ecosystem dynamics. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 452–465.
- Choo, P. S. (2001). Mangroves, shrimps and aquaculture in Malaysia. *Aquaculture Asia Magazine*, 6(2), 5–7.

- Cho, C. Y., & Bureau, D. P. (1998). Diet formulation and feeding systems to reduce environmental impact in aquaculture. *Aquaculture Research*, 29(3), 123–135.
- Cucurachi, S., Scherer, L., Guinée, J., & Tukker, A. (2019). Life Cycle Assessment of Food Systems. *One Earth*, 1(3), 292–297.
- Dalsgaard, T., & Krause-Jensen, D. (2006) Monitoring nutrient release from fish farms with macroalgal and phytoplankton bioassays. *Aquaculture*, 256, 302–310.
- Dev, A. K. (1998) Fake Blue Revolution: Environmental and Socio-Economic Impacts of Shrimp Culture in the Coastal Areas of Bangladesh. *Ocean & Coastal Management*, 41, 63–88.
- Duarte, T. A., Correia, D. M., & Silva, J. L. (2020). The role of alternative protein sources in sustainable aquaculture: Plant-based proteins. *Aquaculture Research*, 51(4), 1234–1247.
- FAO. (2020). *The state of world fisheries and aquaculture 2020: Sustainability in action*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation*. FAO.
- Fargione, J., Tilman, D., & Clark, M. (2023). Agricultural expansion and its impact on biodiversity: A global perspective. *Nature Sustainability*, 6(3), 182–190.
- Farias, D. R., Ibarra, R., Estévez, R. A., Tlustý, M. F., Nyberg, O., Troell, M., Avendaño-Herrera, R., & Norden, W. (2024). Towards Sustainable Antibiotic Use in Aquaculture and Antimicrobial Resistance: Participatory Experts' Overview and Recommendations. *Antibiotics*, 13(9), 887.
- Freda, C. G., Smith, M., & Gupta, M. (2022). Insect protein as a sustainable alternative for aquaculture: An environmental review. *Journal of Insect Science*, 22(1), 10–20.
- Gräslund, S., & Bengtsson, B. E. (2001). Chemicals and biological products used in south-east Asian shrimp farming, and their potential impact on the environment – A review. *The Science of the Total Environment*, 280(1–3), 93–131.
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Diez, J. M., Damschen, E. I., & Holt, R. D. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on biodiversity. *Nature Communications*, 6, 7926.
- Harper, G. J., Steininger, M. K., Tucker, C. J., Juhn, D. & Hawkins, F. (2007). Fifty years of deforestation and forest fragmentation in Madagascar. *Environmental Conservation*, 34(4), 325–333.
- Holmer, M., Hansen, P. K., Karakassis, I., Borg, J. A., & Schembri, P. J. (2008). Monitoring of Environmental Impacts of Marine Aquaculture. In M. Holmer, K. Black, C. M. Duarte, N. Marbà, I. Karakassis (eds.), *Aquaculture in the Ecosystem*. Springer, Dordrecht.
- Holmer, M., Duarte, C. M., & Marbà, N. (2007). Sediment biogeochemical changes associated with fish farms in coastal Mediterranean regions. *Environmental Pollution*, 118(2), 313–319.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Islam, M. S., Kabir, M. S., Khan, S. I., Ekramullah, M., Nair, G. B., Sack, R. B., & Sack, D. A. (2004). Wastewater-grown duckweed may be safely used as fish feed. *Canadian Journal of Microbiology*, 50(1), 51–56.
- Kalantzi, I., & Karakassis, I. (2006). Benthic impacts of fish farming: Meta-analysis of community and geochemical data. *Marine Pollution Bulletin*, 52(5), 484–493.

- Kautsky, N., Berg, H., Folke, C., Larsson, J., & Troell, M. (2000). Ecological footprint and trophic level impact of aquaculture: Implications for sustainability. *Marine Ecology Progress Series*, 199, 1–12.
- Kelly, L. A., & Elberizon, I. R. (2001). Freshwater finfish cage culture. In K. D. Black (ed.), *Environmental Impacts of Aquaculture* (pp. 1–32). Sheffield Academic Press.
- Li, Z., He, H., Ding, J., Zhang, Z., Leng, Y., Liao, M. & Xiong, W. (2024). Effects of Three Antibiotics on Nitrogen-Cycling Bacteria in Sediment of Aquaculture Water. *Water*, 16(9), 1256.
- Li, H., Liu, H., Zhou, X., Gao, L., Liang, J., Chen, L., Guo, Y., & Liang, S. (2024). Carbon footprint assessment and reduction strategies for aquaculture: A review. *Journal of the World Aquaculture Society*, 56(1), n/a.
- Luthman, O., Robb, D. H. F., Jørgensen, P. S., & Troell, M. (2024). Global overview of national regulations for antibiotic use in aquaculture production. *Aquaculture International*, 32, 9253–9270.
- MacLeod, M., Hasan, M. R., Robb, D. H. F. & Mamun-Ur-Rashid, M. (2019). Quantifying and mitigating greenhouse gas emissions from global aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 626*. Rome, FAO.
- Magrin, G. O., Rojas, S. M., & Tschakert, P. (2020). Soybean monocultures and their environmental impact: A case study of the expansion in South America. *Environmental Research Letters*, 15(7), 074010.
- Matulić, D., Tomljanović, T., & Piria, M. (2020). Feeding systems in aquaculture: Efficiency and environmental impact. *Journal of Aquaculture Research and Development*, 11(3), 123–135.
- Marrone, A., Mangano, M. C., Deidun, A., Berlino, M., & Sarà, G. (2023). Effects of habitat fragmentation of a Mediterranean marine reef on the associated fish community: Insights from biological traits analysis. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(10), 1957.
- Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Primavera, J. H., Kautsky, N., Beveridge, M. C. M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., & Troell, M. (2000). Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405(6790), 1017–1024.
- Nash, C. E. (2005). *The history of aquaculture*. Blackwell Publishing.
- Nordvang, L., & Håkanson, L. (2002). Predicting the environmental impacts of fish farms using flow models. *Aquaculture International*, 10(5), 359–379.
- O'Flynn, N., FitzGerald, R. J., & Hayes, M. (2021). Plant-based proteins as alternatives to fish-meal in aquaculture feeds. *Aquaculture Nutrition*, 27(3), 123–135.
- Okocha, R. C., Olatoye, I. O. & Adedeji, O. B. (2018). Food safety impacts of antimicrobial use and their residues in aquaculture. *Public Health Rev*, 39, 21.
- Páez-Osuna, F. (2001). The environmental impact of shrimp aquaculture: Causes, effects, and mitigating alternatives. *Environmental Management*, 28(1), 131–140.
- Paez-Osuna, F. (2005). Retos y perspectivas de la camaronicultura en la zona costera. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 1, 21–31.
- Pardoe, J. R., Leach, D. H., & Minchinton, T. E. (2022). Environmental challenges of plant-based feed ingredients in aquaculture: Implications for water and nutrient management. *Marine Pollution Bulletin*, 162, 111–121.
- Parker, R., Blanchard, J. L., Gardner, C., Green, B. S., Hartmann, K., Tyedmers, P. H., & Watson, R. A. (2018). Fuel use and greenhouse gas emissions of world fisheries. *Nature Climate Change*, 8(4), 333–337.

- Pearson, T. H., & Black, K. D. (2001). *Environmental impacts of aquaculture*. Sheffield Academic Press.
- Pérez, M., Romero, J., & Duarte, C. M. (2008). *Nutrient dynamics in seagrass ecosystems*. Springer.
- Pu, Y., Zhang, Mi., Jia, L., Zhang, Z., Xiao, W., Liu, Shoudong., Zhao, J., Xie, Y & Lee, X. (2022). Methane emission of lake aquaculture farm and its response to ecological restoration. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 330, 107883.
- Rahman, M., et al. (2022). Land use transformation and environmental consequences of aquaculture expansion in Sundarbans. *Environmental Sustainability*, 25(1), 87–104.
- Read, P., & Fernandes, T. (2003). Management of environmental impacts of marine aquaculture in Europe. *Aquaculture*, 226(1–4), 139–163.
- Ruiz, J. M., Pérez, M., & Romero, J. (2001). Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean bay: Seagrass decline after organic loading cessation. *Marine Pollution Bulletin*, 42(1), 38–41.
- Serpa, D., Duarte, P. (2008). Impacts of Aquaculture and Mitigation Measures. *Dynamic Biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology*, 2, Special Issue 1, 1–20.
- Soussana, J. F., Lemaire, G., & Van de Kuilen, S. (2021). Greenhouse gas emissions from agriculture: Global impact of feed production. *Agricultural Systems*, 181, 102808.
- Sulistijowati, R., Yulianti, L., Komariyah, S. & Musaiyaroh, A., (2023). Analysis of Trade, Investment, and Global Value Chain on the Gross Domestic Product of Fisheries Sector in Indonesia. *International Journal of professional business review*, 8(6).
- Sun, Z., Wang, L., Tian, H., Jiang, H., Mou, X., & Sun, W. (2013). Fluxes of nitrous oxide and methane in different coastal Suaeda salsa marshes of the Yellow River estuary, China. *Chemosphere*, 90, 856–865.
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2009). Aquaculture feed and the environment: A global perspective. *Aquaculture*, 292(1–2), 1–13.
- Talbot, C., Corneillie, S., & Korsøen, O. (1999). Optimal feeding strategies for cage farming of salmonids. *Aquaculture International*, 7(2), 123–135.
- Tidwell, J. H., & Allan, G. L. (2001). Fish as food: aquaculture's contribution. Ecological and economic impacts and contributions of fish farming and capture fisheries. *EMBO Reports*, 2(11), 958–963.
- Thomas, M., Pasquet, A., Aubin, J., Nahon, S., & Lecocq, T. (2021). When more is more: Taking advantage of species diversity to move towards sustainable aquaculture. *Biological Reviews*, 96(2), 767–784.
- Thorpe, J. E., & Cho, C. Y. (1995). Nutritional requirements and feeding strategies for salmonids. *Aquaculture Nutrition*, 1(1), 77–87.
- Tovar, A., Moreno, C., Manuel-Vez, M. P., & Garcia-Vargas, M. (2000). Environmental impacts of intensive aquaculture: A critical review. *Marine Pollution Bulletin*, 41(7–12), 550–563.
- United Nations Environment Programme. (2022). *How do greenhouse gases actually warm the planet?* <https://www.unep.org/news-and-stories/story/how-do-greenhouse-gases-actually-warm-planet>
- Walters, B. B., Ronnback, P. J., Kovacs, J. M., Bradley B., Crona, B., Hussain, S. A., Badola, R., Primavera, J. H., Barbier, E., & Dahdouh-Guebas, F. (2008). Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 220–236.

- White, P. (2013). Environmental consequences of poor feed quality and feed management. In M.R. Hasan and M.B. New, eds. On-farm feeding and feed management in aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 583*. Rome, FAO, 553–564.
- Wróbel, J., Gałczyńska, M., Tański, A., Korzelecka-Orkisz, A., & Formicki, K. (2023). The challenges of aquaculture in protecting the aquatic ecosystems in the context of climate changes. *Journal of Water and Land Development*, 57, 231–241.
- Wu, R. S. S. (1995). The environmental impact of marine fish culture: Towards a sustainable future. *Marine Pollution Bulletin*, 31(4–12), 159–166.



Funded by
the European Union



Skaitmeninė mėlynoji karjera įveikus anglies krizę – akvakultūros mokymo programos naujovės [DiBluCa]
2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

3 skyrius. Pasaulinis atšilimas ir veisimas, biotechnologijų taikymas akvakultūroje

Prof. dr. Halyna Krusir

Prof. dr. Maryna Mardar

Doc. dr. Olha Sahdieieva

Odesos nacionalinis technologijos universitetas

Ivadas

Vandens ekosistemos, itin svarbios pasaulio biologinei įvairovei ir žmonių gerovei, dėl pasaulinio atšilimo patiria precedento neturinčių pokyčių. Dėl kylančios temperatūros, kurią lemia antropogeninė klimato kaita, trikdomas vandens organizmų dauginimosi ciklas, mažėja išgyvenamumas ir kinta rūšių genetinis vien-tisumas. Tuo pat metu akvakultūros sritis siekia įveikti šiuos iššūkius taikydama inovatyvius biotechnologinius sprendimus. Augant pasaulio priklausomybei nuo vandens išteklių, siekiant patenkinti maisto saugumo poreikius, pažangių veisimo technologijų, tokių kaip atrankinis veisimas, genominė atranka ir CRISPR/Cas9 genų redagavimas, integravimas atveria transformacines galimybes spręsti klimato kaitos ir tvarios akvakultūros iššūkius.

Šiame skyriuje detaliai nagrinėjama sudėtinga aplinkos pokyčių ir biotechnolo-gijų pažangos sąveika akvakultūros sektoriuje. Pradžioje aptariama, kaip dėl pasau-linio atšilimo keičiasi vandens rūšių dauginimosi ciklai ir išgyvenimo dinamika, dėl to reikšmingai pakinta populiacijų struktūra ir ekosistemų funkcijos. Toliau dėmesys sutelkiamas į pažangius biotechnologinius sprendimus, pavyzdžiui, at-rankinį veisimą ir genomikos atranką, kurie stiprina akvakultūroje auginamų rūšių

atsparumą ir produktyvumą. Be to, pristatoma revoliucinė CRISPR/Cas9 genų redagavimo technologija, išryškinant jos pritaikymo galimybes gerinant žuvų rūšių atsparumą ligoms, augimo tempą ir gebėjimą prisitaikyti prie aplinkos pokyčių. Galiausiai aptariami šių technologijų etiniai, aplinkosauginiai ir reguliaciniai aspektai, akcentuojant būtinybę užtikrinti tvarią ir atsakingą inovacijų plėtrą akvakultūroje.

Šių diskusijų reikšmė yra didžiulė ir daro poveikį ne tik akvakultūros ateičiai, bet ir pasaulinėms pastangoms stabdyti biologinės įvairovės nykimą bei švelninti klimato kaitos poveikį. Ši įžanga parengia pagrindą išsamiai analizei apie iššūkius ir galimybes, atsiveriančias integruojant biotechnologijas į akvakultūros sritį pasaulinio atšilimo sąlygomis.

3.1. Klimato kaita ir vandens rūšių reprodukcija

Dauginimosi ciklų pokyčiai

Pasaulinis atšilimas, kurį lemia antropogeninė klimato kaita, daro didžiulį poveikį viso pasaulio ekosistemoms, įskaitant vandens aplinką. Viena iš svarbiausių sričių, kurias labiausiai veikia kylanti temperatūra, yra vandens rūšių dauginimasis. Dėl vandens temperatūros pokyčių keičiasi dauginimosi ciklai, neršto laikas, augimo tempai ir palikuonių išgyvenamumas, todėl keičiasi vandens populiacijų struktūra ir funkcionavimas. Šioje literatūros apžvalgoje siekiama išsiaiškinti, kaip šie aplinkos pokyčiai veikia vandens rūšis, daugiausia dėmesio skiriant dauginimosi ciklų pokyčiams ir genetiniam prisitaikymui.

Dauginimosi ciklų pokyčiai. Dėl pasaulinio atšilimo kylanti vandens temperatūra yra vienas iš pagrindinių veiksnių, lemiančių vandens rūšių reprodukcinės elgsenos pokyčius. Daugelio rūšių dauginimasis priklauso nuo specifinių temperatūros signalų. Didėjant temperatūrai, pasikeitė dauginimosi įvykių laikas, o šie pokyčiai gali lemti rūšių ir jų buveinių neatitikimą.

Dauginimosi laikas. Tyrimai parodė, kad daugelis vandens gyvūnų rūšių dėl šiltesnės vandens temperatūros pradeda daugintis anksčiau. Pavyzdžiui, pastebėta, kad tokios žuvų rūšys kaip atlantinė menkė (*Gadus morhua*) ir europinis ešeris (*Perca fluviatilis*), reaguodamos į aukštesnę vandens temperatūrą, neršia anksčiau (Tompkins et al., 2017). Nors ankstyvesnis nerštas iš pradžių gali atrodyti naudingas, dažnai dėl jo lervutės nesuderinamos su maisto išteklių prieinamumu, nes fitoplanktono, kuris yra pagrindinis daugelio žuvų jauniklių maisto šaltinis, tuo pačiu metu gali nebūti (Durant et al., 2007). Dėl to gali sumažėti palikuonių išgyvenamumas, o tai

dar labiau paveikia populiacijos dinamiką. Be to, ankstyvesnis nerštas nebūtinai garantuoja sėkmę, nes rūšys gali neršti anksčiau, nei susidaro optimalios sąlygos lervutėms išgyventi. Dėl laiko neatitikimo gali sumažėti gyvybingų palikuonių skaičius, o tai gali lemti ilgalaikį populiacijos mažėjimą (O'Reilly et al., 2008).

Augimo greitis ir metabolinis poveikis. Vandens temperatūros kilimas taip pat turi įtakos vandens rūšių medžiagų apykaitos greičiui. Dėl aukštesnės temperatūros paprastai paspartėja daugelio rūšių augimas, nes pagreiteja medžiagų apykaitos procesai (Angilletta et al., 2004). Tačiau šis augimo greičio padidėjimas ne visada gali būti naudingas. Per greitai šiltesniuose vandenyse augančios rūšys gali neišsivystyti reikiamo dydžio ar stiprumo, kad išgyventų iki brandos, todėl gali atsirasti silpnėsių individų, turinčių mažiau galimybių sėkmingai daugintis (Heath et al., 2014). Be to, greitesnis augimas ne visada susijęs su reprodukcinės sėkmės padidėjimu, nes rūšys gali susidurti su vystymosi etapų ir aplinkos sąlygų neatitikimu laikui.

Lervų išgyvenamumas. Ankstyvosios vandens rūšių gyvenimo stadijos dažnai yra labiausiai pažeidžiamos aplinkos pokyčių, o dėl kylančios vandens temperatūros gali dar labiau padidėti šis pažeidžiamumas. Dėl pakilusios temperatūros gali sumažėti deguonies kiekis vandenyje ir paveikti lervų, kurioms tinkamai vystytis reikalinga didelė deguonies koncentracija, išgyvenamumą (Pörtner et al., 2014). Be to, aukštesnė temperatūra gali kelti stresą organizmų jaunikliams, todėl jie bus mažiau pajėgūs susidoroti su kitais aplinkos iššūkiais, tokiais kaip plėšrūnai ar maisto trūkumas (Walther et al., 2002).

Genetinis prisitaikymas prie klimato kaitos

Nors aplinkos pokyčiai kelia sunkumų vandens rūšims, kai kurios jų gali **genetiškai prisitaikyti prie besikeičiančių sąlygų**. Genetinis prisitaikymas – tai populiacijų genetinės sudėties pokyčiai, kurie laikui bėgant leidžia rūšims susidoroti su aplinkos veiksniais, įskaitant aukštesnę temperatūrą.

Prisitaikymas prie temperatūros pokyčių. Tyrimai rodo, kad tam tikros rūšys tam tikru laipsniu genetiškai prisitaiko prie kylančios temperatūros. Pavyzdžiui, atlikus atlantinės menkės tyrimus, nustatyta vietinio prisitaikymo prie skirtingų temperatūrinių sąlygų skirtingose geografinėse vietovėse įrodymų (Jorgensen et al., 2017). Kai kurios šiltesniuose vandenyse gyvenančios menkių populiacijos išvystė genetinių savybių, leidžiančių joms sėkmingai neršti esant aukštesnei temperatūrai. Panašiai kai kurių žuvų rūšių dauginimosi laiko ar fiziologinės tolerancijos

pokyčiai gali pasireikšti per kelias kartas prisitaikant prie šiltesnės aplinkos (Lynch et al., 2014).

Tačiau rūšių gebėjimą genetiškai prisitaikyti riboja tokie veiksniai kaip genetinė įvairovė ir aplinkos pokyčių greitis. Rūšims, kurių genetinė įvairovė maža, arba rūšims, gyvenančioms sparčiai šiltėjančiose buveinėse, gali būti sunku gana greitai prisitaikyti, kad išvengtų populiacijos mažėjimo (Fischer et al., 2014). Be to, genetinio prisitaikymo procesas yra lėtas, o klimato šiltėjimo tempas gali viršyti kai kurių rūšių gebėjimą laiku prisitaikyti.

Sumažėjusi reprodukcinė sėkmė ir populiacijos mažėjimas. Kai kurios rūšys gali sėkmingai prisitaikyti prie kylančios temperatūros, tačiau kitos susiduria su sunkumais, dėl kurių sumažėja jų reprodukcinė sėkmė arba populiacija. Pavyzdžiui, rūšims, kurioms keliama specialūs dauginimosi reikalavimai – kurių nerštas priklauso nuo labai specifinio temperatūros diapazono – gali būti sunku susidoroti su greitais temperatūros pokyčiais, kuriuos sukelia pasaulinis atšilimas (Parmesan, 2006). Tokiais atvejais reprodukcinė sėkmė gali sumažėti, o populiacijos sumažėti arba net išnykti.

Rūšys, kurios genetiškai neprisitaiko prie kylančios temperatūros, gali nesugebėti sėkmingai daugintis savo natūraliose buveinėse, todėl sumažėja genetinė įvairovė ir dar labiau – jų galimybės išlikti klimato kaitos sąlygomis (Chevin et al., 2010).

Pasaulinio atšilimo poveikis vandens rūšių dauginimuisi yra įvairiapusis, apima dauginimosi ciklą pokyčius, augimo tempo kitimą ir palikuonių išgyvenamumo sumažėjimą. Dėl kylančios temperatūros daugelis žuvų rūšių neršia anksčiau, tačiau dėl to gali sutrikti maisto prieinamumas ir optimalios aplinkos sąlygos, todėl lervų išgyvenamumas mažėja. Nors kai kurios rūšys gali genetiškai prisitaikyti prie besikeičiančios temperatūros, aplinkos pokyčių greitis gali viršyti jų gebėjimą tai padaryti, todėl gali sumažėti reprodukcinė sėkmė ir populiacijos gausumas. Siekiant suprasti ilgalaikes šių pokyčių pasekmes vandens ekosistemoms ir parengti strategijas, kaip sušvelninti klimato kaitos poveikį šioms rūšims, būtina atlikti tolesnius tyrimus.

3.2. Pažangūs veislininkystės metodai

Selekcinis veisimas

Akvakultūra – sparčiai augantis sektorius, svariai prisidedantis prie pasaulinio maisto saugumo užtikrinimo. Klimatui ir toliau kintant, akvakultūros veikla

susiduria su vis didesniais iššūkiais, tokiais kaip kylanti vandens temperatūra ir dažnėjantys ekstremalūs orų reiškiniai. Siekiant spręsti šiuos iššūkius, vis plačiau taikomi biotechnologiniai pasiekimai, ypač selekcinio veisimo ir genominės atrankos srityse, bandant išvesti akvakultūros rūšis, atsparesnes su klimatu susijusiam stresui.

Selekcinis veisimas jau kelis dešimtmečius yra akvakultūros pagrindas, leidžiantis didinti auginamų rūšių produktyvumą ir atsparumą. Šis procesas grindžiamas individų, pasižyminčių pageidaujamomis savybėmis, reprodukcijos atranka, taip palaipsniui gerinant populiacijos genetinę sudėtį. Tradiciškai selekcinis veisimas buvo orientuotas į tokius požymius kaip augimo greitis, atsparumas ligoms ir pašarų konversijos efektyvumas. Dėl klimato kaitos stiprėjant aplinkos streso veiksniams, vis daugiau dėmesio skiriama savybių, užtikrinančių atsparumą padidėjusiai vandens temperatūrai ir kitiems klimato iššūkiams, atrankai.

Tyrimai rodo, kad selekcinis veisimas gali padėti akvakultūros rūšims – tiek žuvis, tiek vėžiagyviams – prisitaikyti prie šiltesnių aplinkos sąlygų. Pavyzdžiui, tyrimai su atlantinėmis lašišomis parodė, kad taikant selekcinį veisimą gali padidėti šių žuvų atsparumas karščiui, todėl išvestos populiacijos gali išgyventi šiltesniuose vandenyse, susidarančiuose dėl klimato kaitos (Gjøen et al., 2018). Be to, selekcinio veisimo programos vis dažniau orientuojamos į tokius požymius kaip atsparumas ligoms ir gebėjimas išgyventi hipoksinėmis (deguonies stygiaus) sąlygomis, kurios, esant aukštesnei temperatūrai, tampa vis dažnesnės (Houston et al., 2018).

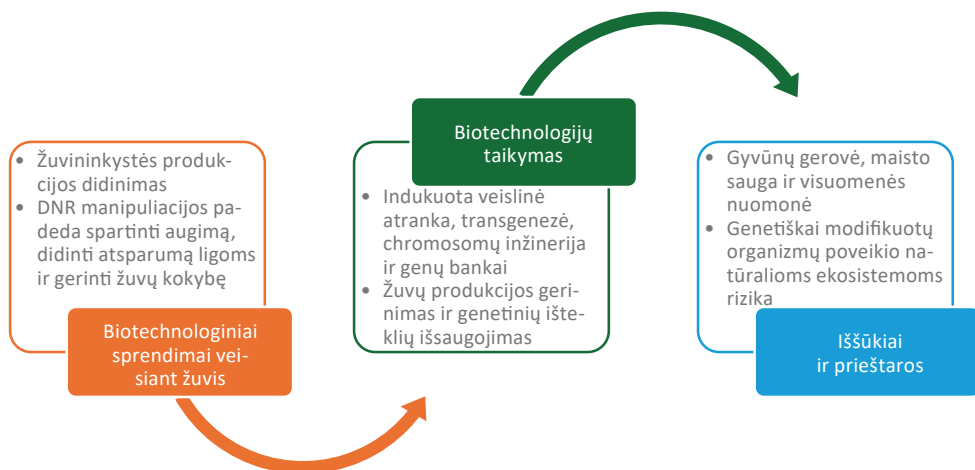
Selekcinis veisimas, orientuotas į atsparumo klimatui didinimą, taip pat apima elgsenos tobulinimą. Pavyzdžiui, žuvis, kurios geriau toleruoja stresą, susijusį su tankiu populiacijos išsidėstymu ar žmogaus sąlyčiu, gali geriau prisitaikyti prie atšiauresnių sąlygų, kurias sukelia klimato kaita (Huntingford et al., 2020). Tokiomis veisimo programomis siekiama užtikrinti, kad akvakultūros rūšys išliktų gyvybingos kintančiomis klimato sąlygomis, taip prisidedant prie ilgalaikio sektoriaus tvarumo.

Genominė atranka

Šiuolaikinių biotechnologijų naudojimas vandens organizmų produktyvumui didinti turi didžiulį potencialą ne tik patenkinti augančią paklausą, bet ir pagerinti akvakultūros sektoriaus efektyvumą. Genetinė modifikacija ir biotechnologijos atveria dideles galimybes gerinti akvakultūroje auginamų žuvų kokybę ir kiekį. Atsižvelgiant į augančią akvakultūros produktų paklausą, biotechnologijos gali padėti

patenkinti šį poreikį. Kaip ir visi biotechnologijomis patobulinti maisto produktai, akvakultūros produkcija bus griežtai reglamentuojama prieš tiekiant į rinką.

Be to, biotechnologijos taikymas akvakultūroje gali turėti ir aplinkosaugos pranašumų. Kai biotechnologijos tinkamai integruojamos su kitomis maisto, žemės ūkio produktų ir paslaugų gamybos technologijomis, jos gali reikšmingai prisidėti prie augančios ir vis labiau urbanizuotos visuomenės poreikių tenkinimo ateinančius dešimtmečius. Tačiau sėkmingas biotechnologijų vystymas ir taikymas įmanomas tik esant tvirtam tyrimų ir žinių pagrindui, apimančiam biologiją, genetinę įvairovę, veisimą, agronomiją, fiziologiją, patologiją, biochemiją ir genetiką. Naujųjų technologijų teikiama nauda negali būti pasiekta be nuolatinio išipareigojimo fundamentiniams tyrimams. Biotechnologinės programos turi būti visapusiškai integruotos į mokslinį kontekstą (3.1 pav.) – jų sėkmė neįmanoma atskirai nuo tyrimų bazės.



3.1 pav. Biotechnologijų vaidmuo didinant žuvininkystės produkciją (Yang et al., 2021)

Be atsparumo karščiui, genominė atranka taip pat taikoma kitoms su klimatu susijusioms savybėms, tokioms kaip atsparumas ligoms ir gebėjimas išgyventi mažo deguonies kiekio aplinkoje, gerinti. Pavyzdžiui, genominiai įrankiai naudojami siekiant identifikuoti genetinius žymenis, susijusius su atsparumu patogenui *Vibrio anguillarum*, kuris kelia rimtą grėsmę akvakultūros rūšims šiltesniuose vandenyse (Vázquez et al., 2018). Naudojant genominius metodus veisti žuvis, atsparesnes ligoms, galima padidinti akvakultūros sistemų tvarumą ir sumažinti priklausomybę nuo antibiotikų, kurių naudojimas vis labiau kelia susirūpinimą dėl poveikio aplinkai.

Genominė atranka taip pat integruojama su tradiciniu selekciniu veisimu, siekiant maksimaliai padidinti genetinę pažangą. Genominės informacijos derinimas su fenotipiniais duomenimis leidžia veisėjams priimti labiau pagrįstus sprendimus dėl reprodukcijai tinkamų individų. Pavyzdžiui, pasitelkus genominius duomenis galima prognozuoti būsimą palikuonių produktyvumą, taip išvengiant įvaisos (giminingo kryžminimo) ir užtikrinant ilgalaikę akvakultūros populiacijų genetinę sveikatą (Gjøen et al., 2018).

Selekcinio veisimo ir genominės atrankos integravimas. Selekcinio veisimo ir genominės atrankos integravimas laikomas galinga strategija, užtikrinančia akvakultūros rūšių atsparumą klimato kaitos sąlygomis. Selekcinis veisimas sukuria tvirtą pagrindą gerinant tokias savybes kaip augimo greitis ar atsparumas ligoms, o genominė atranka pagreitina procesą ir padidina veisimo programų tikslumą. Abi technologijos leidžia greičiau sukurti veisles, labiau prisitaikančias prie kintančių aplinkos sąlygų. Pavyzdžiui, atlantinių lašišų atveju buvo taikomas tiek selekcinis veisimas, tiek genominė atranka, siekiant išvesti veisles, atsparesnes aukštesnėms temperatūroms ir ligoms (Gjøen et al., 2018). Derinant šiuos du metodus galima reikšmingai padidinti akvakultūros tvarumą, kuriant veisles, galinčias klestėti šiltesnėmis ir labiau kintančiomis aplinkos sąlygomis.

Iššūkiai ir ateities kryptys. Nors biotechnologinė pažanga suteikia daug vilčių dėl akvakultūros veisimo tobulinimo, egzistuoja ir tam tikri iššūkiai. Vienas svarbiausių rūpesčių – galimas genetinis homogenizavimas fermose auginamose populiacijose, kuris gali lemti įvaisą ir sumažėjusią genetinę įvairovę. Todėl būtina, kad veisimo programomis būtų efektyviai valdoma genetinė įvairovė ir užtikrinama, kad akvakultūros rūšys išliktų prisitaikančios prie būsimos aplinkos kaitos (Houston et al., 2018). Be to, genominei atrankai įgyvendinti reikia reikšmingų investicijų į genominius išteklius, įskaitant aukštos kokybės etaloninių genomų ir genetinių žymenų kūrimą. Nors pastaraisiais metais šie įrankiai tapo prieinamesni, jų kaina ir sudėtingumas tebėra kliūtis kai kurioms akvakultūros šakoms (Huntingford et al., 2020). Nepaisant šių iššūkių, nuolatinė genominių technologijų raida, derinama su skaitmeninių įrankių ir veisimo strategijų pažanga, teikia daug vilčių, siekiant padidinti akvakultūros rūšių atsparumą klimato kaitai.

Išvados. Biotechnologinė pažanga, taikoma veisiant akvakultūrą, įskaitant selekcinį veisimą ir genominę atranką, siūlo daug žadančių sprendimų klimato kaitos keliamų iššūkių akivaizdoje. Naudojant šias technologijas, galima padidinti rūšių atsparumą kylančiai temperatūrai, ligoms ir kitiems aplinkos stresoriams. Tai gali padėti užtikrinti sektoriaus tvarumą. Genominės atrankos integravimas su tradiciniais veisimo metodais, tikėtina, taps svarbia strategija, siekiant vystyti klimato

kaitai atsparesnes žuvų ir vėžiagyvių veisles. Kadangi akvakultūros sektorius ir toliau patirs klimato kaitos spaudimą, šios biotechnologinės inovacijos atliks esminį vaidmenį užtikrinant, kad akvakultūra išliktų gyvybingas ir tvarus maisto šaltinis pasaulio gyventojams.

3.3. Genų inžinerija ir CRISPR

Genų inžinerija akvakultūroje

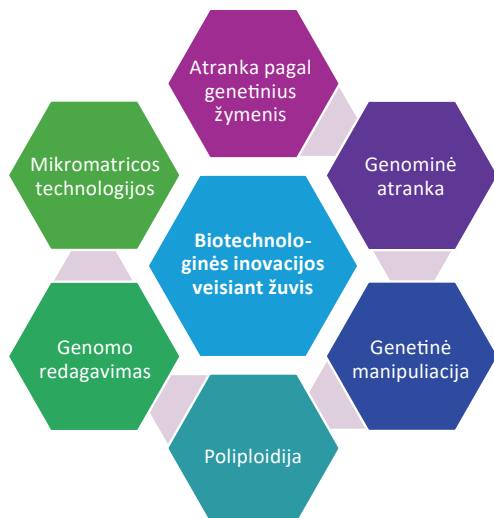
Biotechnologinių metodų taikymas siekiant pagerinti auginamų organizmų gerovę, padidinti produktyvumą ir apsaugoti vandens ekosistemas jau davė vilčių teikiančių rezultatų. Tarp jų – vakcinos ir imunostimuliatoriai, probiotikai, prebiotikai, simbiotikai, paraprobiotikai, gydymas bakteriofagais, antimikrobiniai peptidai, genų terapija, RNR interferencija bei kiti biotechnologiniai gydymo būdai. Genetinė pažanga akvakultūroje atlieka svarbų vaidmenį didinant produktyvumą, mažinant gamybos sąnaudas ir neigiamą poveikį aplinkai.

Žuvų genomui keisti naudojami tokie metodai kaip CRISPR/Cas9, į transkripcijos aktyvatorių panašios efektorinės nukleazės ir cinko pirštų nukleazės. Taip pat taikoma molekulinė biologija, transgenezė, genų bankininkystė, chromosomų manipuliacijos, gydymas hormonais, žuvų auginimas su vienu ar daugiau tėvų, žuvų su skirtingu ląstelių rinkiniu (poliploidinių, triploidinių, haploidinių, gineogeneitinių ir androgenetinių) kūrimas bei sintetinių hormonų naudojimas dauginimuisi skatinti. Visi šie metodai sudaro svarbią žuvų biotechnologijos dalį.

Biotechnologijų naujovės sukėlė proveržį žuvų genetiniame veisime ir paskatino reikšmingą pažangą visoje akvakultūros pramonėje (Yang et al., 2021). Tokie metodai kaip genų inžinerija ir CRISPR/Cas9 leido tiksliai modifikuoti žuvų genomus, todėl išvystytos veislės pasižymi spartesniu augimu, didesniu atsparumu ligoms ir efektyvesniu pašarų naudojimu. Selekcinės veisimo programos buvo patobulintos taikant žymenimis paremtą atranką, kuri leidžia tiksliau identifikuoti ir dauginti pageidaujamas genetines savybes. Be to, reprodukcinės technologijos, tokios kaip hormonų stimuliuojamas nerštas ir lytinių ląstelių kriokonservavimas, leido padidinti veisimo sėkmės rodiklius ir išsaugojo genetinę įvairovę.

Šie pasiekimai prisidėjo prie tvaresnės ir produktyvesnės žuvų auginimo praktikos kūrimo, padedančios atliepti didėjančią pasaulinę jūrų gėrybių paklausą. Šios priemonės ypač reikšmingos siekiant išsaugoti nykstančias žuvų rūšis ir pagerinti komercinės žuvininkystės rezultatus. Prie šios pažangos taip pat prisideda tokie

metodai kaip sintetinių hormonų naudojimas, vienos lyties (monoseksinių) populiacijų kūrimas ir transgenezė. Įvairios biotechnologinės inovacijos žuvų veisimo srityje pavaizduotos 3.2 paveiksle (Sankaran & Mandal, 2024).

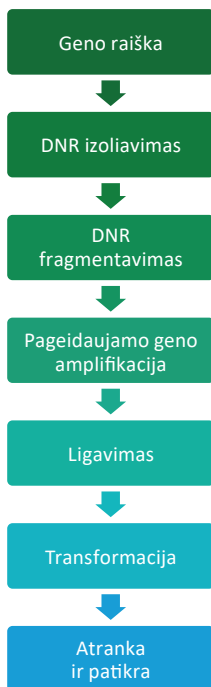


3.2 pav. Biotechnologinės inovacijos žuvų veisimo srityje

Genetinė įvairovė yra svarbus išteklius, kurį galima panaudoti selekcinio veisimo programoms. Tokios programos pripažintos kaip efektyvios priemonės, reikšmingai pagerinančios akvakultūros sektoriaus veiklos rezultatus. Mokymų ir technologijų perdavimas tarp skirtingų akvakultūros šakų gali turėti didelės naudos mažesnės vertės rūšims, didinant jų produktyvumą ir tvarumą.

Organizmo genomas gali būti modifikuojamas įterpiant sintetinę DNR, sukurtą iš įvairių šaltinių, taikant vadinamąją rekombinantinės DNR technologiją. Pirmasis šios procedūros žingsnis – norimo geno turinčio genetinio fragmento įterpimas į esamą genomą. Šioje technologijoje naudojami tokie įrankiai kaip restrikciniai fermentai, vektoriai ir ląstelių šeimininkai. Į procesus, susijusius su DNR karpymu, sinteze ir sujungimu, įtraukiama įvairių fermentų. Šių fermentų grupei priskiriami, pavyzdžiui, restrikciniai endonukleazės fermentai. Vektoriai yra svarbūs norimiems genams pernešti ir įterpti į tikslinį organizmą.

Rekombinantinės DNR technologija taikoma genų klonavimo, genų terapijos ir žemės ūkio srityse. 3.3 paveiksle pavaizduoti pagrindiniai šios technologijos etapai (Sankaran & Mandal, 2024).



3.3 pav. Pagrindiniai rekombinantinės DNR technologijos etapai (Sankaran & Mandal, 2024)

CRISPR metodo galimybės

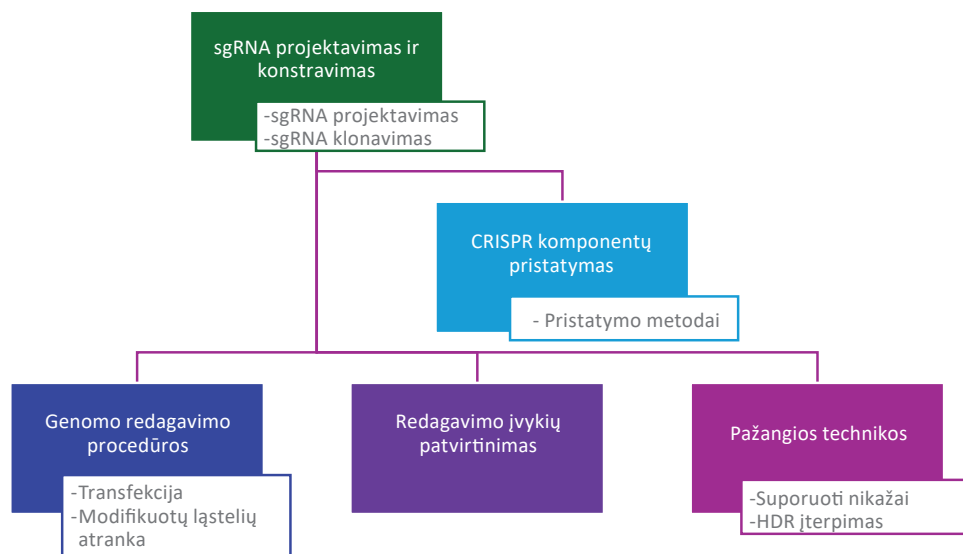
CRISPR/Cas9 – revoliucinis genetinės inžinerijos įrankis, leidžiantis tiksliai ir kryptingai modifikuoti žuvų DNR, siekiant pagerinti tokias savybes kaip pigmentacija, augimas, raumenų kokybė ir atsparumas ligoms. Ši technologija pranoksta tradicinius veisimo metodus, nes pasižymi mažesnėmis sąnaudomis, paprastesniu taikymu ir didesniu tikslumu. Ji plačiai taikoma siekiant pagerinti augimo rodiklius (pavyzdžiui, kūno masę, ilgį, raumenų vystymąsi), raumenų kokybę, ligų atsparumą bei lyties nustatymą. Be to, CRISPR/Cas9 siūlo perspektyvius sprendimus stiprinant atsparumą ligoms, taikant į genus, susijusius su imunitetu, ir patogenų atpažinimo mechanizmus, taip sumažinant antibiotikų ir cheminių medžiagų poreikį.

Ši technologija reikšmingai paspartino akvakultūros plėtrą, leido genetiškai optimizuoti svarbiausias žuvų rūšių savybes. Pavyzdžiui, mokslininkams pavyko sėkmingai manipuluoti lytinėmis ląstelėmis atlantinėse lašišose, siekiant kontroliuoti jų dauginimosi diferenciaciją, pagerinti pašarų konversijos efektyvumą augimui

geltonuosiuose šamukuose, atlikti tikslingą genų modifikaciją tilapijose bei sumažinti nepageidaujamus „off-target“ efektus (Zhu et al., 2024).

3.4 paveiksle pavaizduoti pagrindiniai CRISPR/Cas9 metodo etapai redaguojant genus. Ši sistema susideda iš dviejų pagrindinių komponentų – Cas9 fermento ir vadinamosios gido RNR. CRISPR/Cas9 pagrindas – supaprastinta bakterijose aptikta antivirusinės gynybos sistema. *In vivo* genų redagavimas įmanomas į ląsteles įterpiant sintetinės gido RNR (gRNA) kompleksą kartu su Cas9 nukleaze, kuris perkerpa genomą tiksliai nurodytoje vietoje. Šis metodas ypač svarbus biotechnologijoje ir medicinoje dėl galimybės lengvai, tiksliai ir nebrangiai redaguoti genus gyvame organizme.

Be taikymo valdant ligas ir kenkėjus, ši technologija turi potencialo kuriant naujus žemės ūkio produktus, genetiškai modifikuotus organizmus bei farmacijos produkciją. Ji taip pat naudinga gydant paveldimas ligas ir somatinių mutacijų sukeltas būkles, įskaitant vėžį. CRISPR/Cas9 siūlo paprastą, RNR valdomą metodą tiksliai DNR pokyčiams sukelti konkrečiose vietose. Tokie DNR pakeitimai gali sukelti aiškiai pastebimus fenotipinius pasireiškimus, pavyzdžiui, akių spalvos pokyčius ar jautrumą tam tikroms ligoms. Sistema veikia pasitelkdama RNR molekules, kurios atitinka taikinius DNR sekose, kartu su Cas9 fermentu, atliekančiu perkirpimo funkciją.



3.4 pav. CRISPR/Cas9 genų redagavimas (Sankaran & Mandal, 2024)

Nors CRISPR/Cas9 gali sukelti revoliuciją genų inžinerijos srityje, ji turi ir trūkumų. Didelį susirūpinimą kelia genomo redagavimo tikslumas, nes dėl jo genomas nuolat keičiasi. Be to, jo naudojimas žmogaus lytinės linijos genetiniam modifikavimui yra labai prieštaringas. Apskritai CRISPR/Cas9 genų redagavimas gali sukelti revoliuciją biotechnologijų ir medicinos srityse. Tačiau labai svarbu būti apdairiems ir apsvarstyti su jo taikymu susijusias etines pasekmes (Sankaran & Mandal, 2024).

Atsparumas ligoms

Atsparumas ligoms yra labai svarbus akvakultūros bruožas, rodantis rūšies gebėjimą atsispirti infekcijoms, blogai vandens kokybei ir aplinkos pokyčiams. CRISPR/Cas9 tarpininkaujamas genomo redagavimas tapo galingu metodu šiam atsparumui didinti. Integruojant antimikrobinių peptidų genus (AMG) į žuvų genomus, CRISPR/Cas9 sumažina bakterijų kolonizaciją, padidina išgyvenamumą po infekcijos ir pakeičia su imunitetu susijusių genų raišką. Šis tikslus redagavimas leido pasiekti reikšmingų laimėjimų, pavyzdžiui, padidinti lašišų atsparumą infekcinei pankreatinei nekrozei (IPN) ir bakterinei šaltųjų vandenų ligai, taip pat nukreipti JAM-A geną, kad būtų užblokuotas viruso patekimas į karpių organizmą ir taip suteiktas imunitetas karpių reovirusui (GCRV).

Tilapijų atveju CRISPR/Cas9 redagavo genus, susijusius su imuninėmis reakcijomis, ir padidino atsparumą tokiems bakteriniams patogenams kaip *Streptococcus agalactiae* ir *Aeromonas hydrophila*. Panašiai ši technologija buvo pritaikyta ir šamų imunitetą reguliuojantiems genams, taip padidinant išgyvenamumą po patogenų poveikio. Šiuos pasiekimus papildė „knock-in“ metodai, kuriais įdiegiami svetimi genai, didinantys atsparumą ligoms ir kartu gerinantys tokių rūšių kaip tilapijos ir šamai augimą ir maistinę vertę (Zhu et al., 2024).

Žuvų augimas ir raumenų kokybė

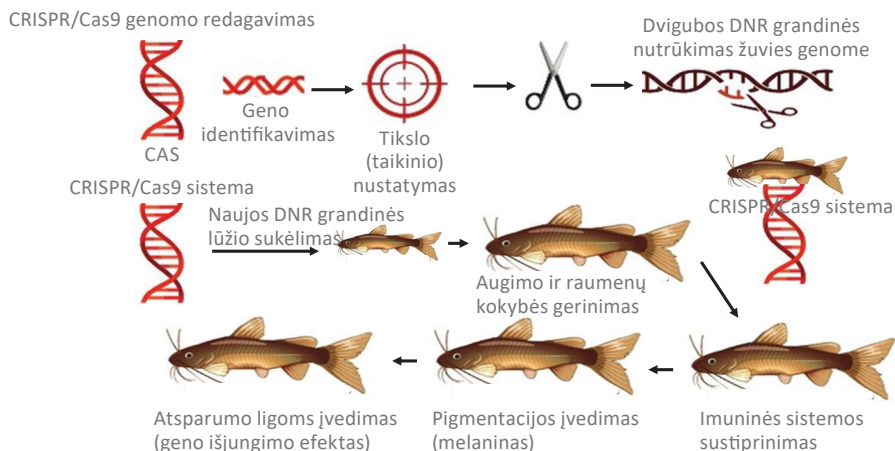
CRISPR/Cas9 padėjo pagerinti akvakultūros rūšių, įskaitant nilinę tilapiją, kanalinių šamą, paprastąjį karpį ir vaivorykštinį upėtakį, augimo tempus ir raumenų kokybę. Tikslinant tokius su augimo hormonais susijusius genus kaip *miostatinas* (*mstn*), kuris stabdo raumenų augimą, mokslininkams pavyko gerokai padidinti kūno masę ir raumenų vystymąsi. Pavyzdžiui, kanalinių šamų, kurių *mstn* genai buvo pažeisti, kūno masė padidėjo 29,7 proc., o panašiai modifikuoti alyvuogių plekšnių ir raudonųjų jūrinių šamų raumenys padidėjo ir optimizuotas komercinis žuvų dydis.

Be augimo, CRISPR/Cas9 leidžia tirti vystymosi procesus ir žmogaus ligų modelius naudojant danijas (*Danio rerio*) – plačiai genetiniams tyrimams naudojamą organizmą. Transgeniniais metodais buvo dar labiau patobulintas žuvų auginimas, nes tokiose rūšyse kaip atlantinė lašiša buvo pernelyg stipriai išreikšti augimo hormono genai, taip pasiektas spartus augimas ir didesnis derlius, kad būtų patenkinta pasaulinė baltymų paklausa. Šios genetinės modifikacijos kartu su optimizuota mityba ir selektyviu veisimu pagerina raumenų struktūrą ir bendrą akvakultūros efektyvumą (Zhu et al., 2024).

CRISPR/Cas9 nepageidaujami („off-target“) poveikiai

Nors CRISPR/Cas9 pasižymi neprilygstamu tikslumu, vis dar kyla problemų dėl nepageidaujamo poveikio. Tokie nenumatyti DNR pokyčiai gali paveikti kitas genomo vietas ir sukelti nepageidaujamų pasekmių. Naujausi patobulinimai, įskaitant didelio tikslumo Cas9 variantus (pavyzdžiui, SpCas9-HF1, eSpCas9), žymiai sumažino šių klaidų tikimybę. Patobulintas vedančiosios RNR (gRNA) dizainas ir tokie algoritmai kaip CRISPR-DO padidino specifiškumą. Be to, tokie naujos kartos įrankiai kaip bazių ir pirminių grandžių redaktoriai leidžia tiksliai modifikuoti genomą, nesukeliant dvigubų grandinių lūžių, todėl sumažėja netikslinių mutacijų. Pažangios genų pernašos sistemos, įskaitant nanodaleles ir virusinius vektorius, padidina redagavimo tikslumą.

Danijoms ir kitoms akvakultūros rūšims, įskaitant tilapijas ir atlantines lašišas, šie pasiekimai sėkmingai taikomi. Didelio tikslumo redagavimas leido mokslininkams padidinti augimą, atsparumą ligoms ir kitas savybes išlaikant genomo vientisumą. CRISPR/Cas9 mechanizmas, naudojamas įvairių žuvų rūšių genams išjungti, pateikiamas 3.5 paveiksle.



3.5 pav. CRISPR/Cas9 taikymo akvakultūroje etapai (pirmiausia sukuriamą specifinę gRNA, atitinkanti tikslo geno seką. Tada Cas9 baltymas prisijungia prie tikslinės DNR ir sukelia dvigubos grandinės lūžį. Galiausiai lūžis pataisomas) (Zhu et al., 2024)

Lyties nulėmimas

Žuvų lyties nulėmimas susijęs su genetiniais, aplinkos ir epigenetiniais veiksniais, todėl tai yra sudėtinga, bet gyvybiškai svarbi akvakultūros tyrimų sritis. CRISPR/Cas9 technologija padėjo atskleisti lyties diferenciacijos mechanizmus, leido tiksliai taikytis į su tuo susijusius genus. Pavyzdžiui, redaguojant Nilo tilapijos *amh* geną, iš genetinių patinų buvo išvystytos fenotipiškai moteriškos lyties žuvis, kas parodė šio geno reikšmę vyriškos lyties nulėmimui. Panašūs danių tyrimai buvo atliekami taikantis į *dmrt1* ir *sox9a* genus, atskleidžiant šios rūšies lyties nulėmimo poligeninį pobūdį. Be to, viso genomo CRISPR/Cas9 taikymai padėjo identifikuoti pagrindinius reguliatorius, tokius kaip *sdY* genas vaivorykštiniuose upėtakiuose, taip dar labiau praplečiant mūsų supratimą apie lyties diferenciacijos procesus.

CRISPR/Cas9 naudojimo genams redaguoti poveikis skirtingoms žuvų rūšims

CRISPR/Cas9 technologija padeda spręsti daugelį akvakultūros iššūkių, tokių kaip ligų protrūkiai, lėtas augimo tempas ir aplinkos degradacija. Ši technologija taip pat pritaikoma invazinių rūšių kontrolei, genetiškai modifikuotiems mikroorganizmams kurti aplinkai valyti ir genetiškai modifikuotoms žuvims vystyti, siekiant tvarios gamybos. Genomo redagavimas suteikia galimybę pagerinti žuvų savybes, kartu mažinant akvakultūros poveikį aplinkai. Pavyzdžiui, transgeninės

žuvys, pasižyminčios geresniu pašarų konversijos efektyvumu, padeda sumažinti resursų sunaudojimą ir skatina aplinkai draugišką žuvininkystę.

Tiksliai atliekami genetiniai pakeitimai iš esmės pakeitė žuvų auginimo praktiką, atsirado sąlygos efektyvesnei ir tvaresnei akvakultūros plėtrai. Tobulėjant redagavimo metodams, kartu atsižvelgiant į etinius ir aplinkosaugos aspektus, bus galima dar tikslingiau ir atsakingiau taikyti šią technologiją. 3.1 lentelėje pateikiama dažniausiai genomo redagavimu taikomų žuvų savybių santrauka (Blix et al., 2021).

3.1 lentelė. CRISPR/Cas9 poveikis žuvų rūšių biologiniams ir aplinkos aspektams

Taikymo sritis	Poveikis
Atsparumas ligoms	Sumažina azijinės paltusžuvis natūralių embrionų (HINAE) ląstelių užsikrėtimą virusiniu hemoraginiu septicemijos virusu (VHSV)
	Leidžia redaguoti tokių rūšių kaip lašiša, tilapija ir krevetės genus, siekiant padidinti jų atsparumą ligoms
	Padedą iš baltųjų amūrų ląstelių pašalinti JAM-A geną, taip reikšmingai padidinant atsparumą reovirusui (GCRV)
	Pagerina žuvų ląstelių linijų atsaką į infekcijas ir genetinį atsparumą, naudojant atlantinę lašišą ir vaivorykštinį upėtakį kaip modelines rūšis akvakultūroje
Prisitaikymas prie aplinkos	Padedą redaguoti žuvų rūšių, pavyzdžiui, ūkiuose auginamų lašišų, genus, susijusius su prisitaikymu prie kintančių aplinkos sąlygų
Augimo tempas ir raumenų masė	Didina raumenų augimą išjungiant melanokortino (<i>mc4r</i>) receptorių genus: eksperimentai atlikti su kanaliniu šamu ir japoninėmis medakomis
	Pagerina augimo tempą ir padidina kanalinių šamų raumenų masę, modifikuojant miostatino geną jų embrionuose
	Vuchanginio karšio (<i>Megalobrama amblycephala</i>) atveju dėl <i>mstna</i> geno sutrikdymo skatinamas raumenų masės augimas

CRISPR/Cas9 genų redagavimo technologija iš esmės pakeitė akvakultūrą, leido tiksliai modifikuoti genus, siekiant pagerinti tokias savybes kaip atsparumas ligoms, augimas ir tvarumas. Šis įrankis taip pat leidžia naudoti genų paveldimumą skatinančius metodus („gene drives“), kurie beveik iki 100 proc. padidina modifikuotų genų paveldėjimo tikimybę, taip paspartindami pageidaujamų savybių paplitimą populiacijose.

Li ir kt. (2021) naudojo CRISPR/Cas9 technologiją steriliai, vien vyriškos lyties Nilo tilapijų populiacijai sukurti, o tai lėmė spartesnį augimą ir sumažino ekologinę

riziką, susijusią su į aplinką patekusiomis auginamomis žuvimis. Panašiai Wargelius ir kolegos padidino atlantinių lašišų atsparumą ligoms, modifikuodami virusinei infekcijai svarbius genus, sprenddami didelių akvakultūros nuostolių, kuriuos sukelia tokie patogenai kaip IPNV ir SAV, problemą.

Kituose tyrimuose CRISPR/Cas9 technologija buvo taikyta siekiant pagerinti karpų, tilapių ir šamų atsparumą ligoms, modifikuojant imuninės sistemos genus arba patogenų atpažinimo kelius. Su augimu susijusių genų redagavimas taip pat pateikė reikšmingų rezultatų, pavyzdžiui, karpų, kanalinių šamų ir raudonpelekių pagelų miostatino geno išjungimas, dėl kurio padidėjo kūno dydis ir augimo tempai.

CRISPR/Cas9 taikymas neapsiriboja tik produkcinėmis savybėmis – ši technologija leidžia kurti ir naujus fenotipus. Tarp pavyzdžių – albinosinės Nilo tilapijos bei modifikuoti Ramiojo vandenyno austrės individai, pasižymintys pagerėjusiu augimu. Šios technologijos universalumas pasireiškia ir kitų rūšių, pavyzdžiui, dryžauodegių rytinių krevečių, atveju, dar labiau išryškindamas jos transformuojantį potencialą akvakultūros srityje (3.2 lentelę).

3.2 lentelė. CRISPR/Cas9 taikymas įvairioms žuvų rūšims ir jų poveikis (Zhu et al., 2024)

Žuvų rūšys	Technologinis poveikis
Nilo tilapija	Naudojama sterilioms Nilo tilapių populiacijoms sukurti, taip sumažinant aplinkos pažeidimo riziką dėl į laisvę patekusių žuvų
Atlantinė lašiša	Padedą redaguoti genus, siekiant sukurti rūšis, itin atsparias virusinėms infekcijoms (pavyzdžiui, lašišoms)
Danija	Leidžia mokslininkams tirti mutacijas ir genetinius variantus Gali būti naudojama integruoti sudėtinius žymenis į embrionus, leidžiant tiksliai pažymėti ir vizualizuoti ląstelines struktūras ar baltymus. Tai atveria galimybes tirti baltymų dinamiką, genų raišką ir kitus biologinius procesus šiame modeliniame organizme
Vaivorykštinis upėtakis	Įrodyta, kad sumažina igfbp-2b geno raišką vaivorykštiniuose upėtakiuose, kas turi įtakos augimui ir vystymuisi, tačiau poveikis bendrai žuvų būklei ir endokrinei sistemai lieka neaiškus
Atlantinė lašiša ir vaivorykštinis upėtakis	Naudota tikslinei genų, susijusių su augimu ir imunitetu, modifikacijai atlantinių ir koho lašišų, vaivorykštinių upėtakių ląstelėse

Žuvų rūšys	Technologinis poveikis
Japoninė medaka	Gali pagerinti auginamų žuvų rūšių, tokioms kaip medaka, raumenų augimą ir padidinti kūno svorį. Tačiau reikia tolesnių tyrimų, norint nustatyti poveikį produkcijos derliui ir žuvų sveikatai
Azijinė paltusžuvė	Gali būti naudojama miostatino genui sutrikdyti, siekiant padidinti kūno svorį ir raumenų masę, bet būtini tolesni tyrimai dėl efektyvumo ir poveikio žuvų sveikatai
Baltoji katžuvė	Naudota miostatino geno modifikacijai, siekiant pagerinti raumenų augimą ir kokybę, tačiau reikia daugiau tyrimų, kad būtų iki galo suprastrast poveikis

3.4. Kriokonservavimas ir pagalbinis apvaisinimas

Ląstelių ir gametų kriokonservavimas

Žuvų veisimui įtakos turi įvairūs veiksniai, todėl net labiausiai patyrę inkubatorių operatoriai dažnai susiduria su dalinėmis arba visiškoms veisimo proceso nesėkmėmis. Siekiant užtikrinti reikiamą lervučių kiekį, dirbtinis veisimas laikomas veiksmingu metodu. Šis metodas palengvina žuvų brendimą ir nerštą nepalankiomis sąlygomis, pavyzdžiui, esant nepakankamam kritulių kiekiui arba ekstremaliems klimato scenarijams. Vis dėlto pakartotinis veisimas reikšmingai vargina veislines žuvis per jų ribotą gyvenimo trukmę. Veislinių žuvų pakeitimas yra sudėtingas dėl logistinių ir fiziologinių jų transportavimo problemų. Dėl to žuvų lytinių ląstelių (gametų) transportavimas iškilo kaip perspektyvi alternatyva, teikianti panašią naudą, kaip ir gyvulininkystėje.

Biotechnologinių priemonių taikymas žuvų veisimo programose yra būtinas siekiant užtikrinti nuoseklų ir tvarų jauniklių veisimą. Vienas iš veiksmingų sprendimų yra kriokonservavimas, leidžiantis išlaikyti aukštos kokybės lervutes ir genetiškai pranašesnes žuvų veisles. Maisto ir žemės ūkio organizacija (FAO) pripažino kriokonservavimą kaip svarbią žuvų genetinių išteklių išsaugojimo strategiją (Betsy et al., 2022).

Kriokonservavimas – tai biologinių mėginių išsaugojimas itin žemoje temperatūroje, visiškai sustabdant medžiagų apykaitą ir išlaikant struktūrinį bei funkcinį vientisumą neribotą laiką. Ši technologija tapo svarbia reprodukcinės biologijos dalimi ir suteikia akivaizdžios naudos tiek gyvulininkystės, tiek akvakultūros sektoriams. Esant temperatūrai žemiau -130°C , visi medžiagų apykaitos procesai visiškai

sustoja, todėl biologiniai mėginiai – ląstelės, audiniai ar net visi organizmai – gali išlikti gyvybingi atšildžius. Kriokonservavimas ypač svarbus saugant vertingą genetinę medžiagą, tobulinant veisimo programas ir taikant biologinės įvairovės išsaugojimo iniciatyvas (Fletcher ir Rise, 2012).

Išsaugojimo mechanizmai

Kriokonservavimas leidžia ilgiau išsaugoti lytines ląsteles, dažnai kelerius metus, nedarant didelės įtakos jų gebėjimui apvaisinti. Sumažinus temperatūrą iki maždaug $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, sustabdoma visa biologinė ir biocheminė veikla, taip užkertant kelią procesams, kurie lemia ląstelių žūtį ir DNR irimą. Ši technologija yra itin svarbi priemonė ilgalaikiam akvakultūros tęstinumui ir biologinės įvairovės išsaugojimui užtikrinti.

Vis dėlto ledo kristalų susidarymas biologinėse sistemose lieka didelis iššūkis, kadangi gali sukelti mechaninių pažeidimų ir osmosinį disbalansą. Valdomo šaldymo metu ledas formuojasi už ląstelės ribų, sukuriant koncentracijos gradientą, kuris skatina vandens pasišalinimą iš ląstelės vidaus. Taip išvengiama pavojingo ledo susidarymo ląstelės viduje. Pažanga kuriant krioprotektorius (apsauginius agentus nuo šalčio poveikio) buvo itin svarbi šiems pažeidimams mažinti ir sudarė sąlygas sėkmingai konservuoti įvairių tipų ląsteles, audinius ir smulkius biologinius darinius. Tobulinant šaldymo greičio, krioprotektorių koncentracijos ir ląstelių savitų savybių sąveiką, mokslininkams pavyko žymiai pagerinti kriokonservavimo rezultatus.

Krioprotekcinės medžiagos

Krioprotektoriai atlieka esminį vaidmenį mažinant ledo kristalų susidarymą ląstelės viduje bei išsaugant baltymų ir membranų vientisumą užšaldymo ir atšildymo metu. Šios medžiagos skirstomos į dvi grupes: prasiskverbiančias ir neprasiskverbiančias. Prasiskverbiantys krioprotektoriai, tokie kaip DMSO, glicerolis ir metanolis, patenka į ląstelių vidų ir padeda subalansuoti osmosinį slėgį tarp vidinės ir išorinės ląstelės aplinkos. Neprasiskverbiantys krioprotektoriai, įskaitant tam tikrus cukrus ir baltymus, veikia daugiausia už ląstelės ribų – jie keičia tirpalo užšalimo temperatūrą ir suteikia papildomą apsaugą nuo šalčio poveikio. Nors krioprotektoriai teikia svarbių pranašumų, juos naudoti reikia atsargiai – netinkamai taikomi jie gali sukelti toksinį poveikį, osmosinį stresą ir chromosomų pažeidimus. Todėl viena svarbiausių dabartinių tyrimų kryptių yra apsauginių savybių ir galimų žalingų padarinių pusiausvyros nustatymas.

Šaldymo ir atšildymo protokolai

Kriokonservavimo sėkmė didele dalimi priklauso nuo tikslios šaldymo ir atšildymo protokolų kontrolės. Kontroliuojamas šaldymo greitis, kuris paprastai svyruoja nuo $-40\text{ }^{\circ}\text{C/min.}$ iki lėtesnių tempų, yra būtinas norint sumažinti ledo kristalų susidarymą. Siekiant užtikrinti šias kontroliuojamas sąlygas, plačiai taikomi specializuoti biologiniai šaldikliai ir azoto garų metodai. Tuo tarpu atšildymas turi būti greitas, kad būtų išvengta ledo rekristalizacijos – proceso, kuris gali smarkiai pažeisti ląstelines struktūras. Naujai diegiamomis technologijomis, tokiomis kaip programuojami šaldymo įrenginiai ir pažangūs atšildymo metodai, siekiama standartizuoti ir optimizuoti šiuos procesus skirtingoms biologinėms medžiagoms. Tokie sprendimai leidžia pagerinti ląstelių išgyvenamumą ir funkcinę atsistatymą (Fletcher & Rise, 2012).

Gametų kriokonservavimas

Spermos kriokonservavimas

Spermos kriokonservavimas yra viena sėkmingiausių kriobiologijos taikymo sričių. Gyvulininkystėje jau taikomi standartizuoti protokolai, o akvakultūroje šios technologijos naudojimas vis labiau plečiasi. Tačiau žuvų sperma gerokai skiriasi nuo žinduolių, todėl reikalingi specifiniai metodiniai sprendimai. Pagrindinės žuvų spermos savybės apima jos nejudrumą sėkliniame plazmos skystyje, judrumo aktyvumą patekus į aktyvinančius tirpalus, didelį jautrumą osmosiniams pokyčiams bei santykinai mažą ATP kiekį. Šios savybės išryškina būtinybę kurti specialiai pritaikytas kriokonservavimo strategijas, kad atitirpinus būtų išsaugotas spermos gyvybingumas ir funkcionalumas.

Veiksmingų žuvų spermos kriokonservavimo protokolų kūrimas apima keletą esminių etapų:

- Spermos surinkimas: itin svarbu gauti kokybiškos spermos, be jokių teršalų. Priklausomai nuo žuvų rūšies, taikomi įvairūs metodai: pilvo masažas, aspiracija arba tiesioginis išgavimas iš sėklidžių. Ypač svarbu vengti užteršimo šlapimu ar kitomis medžiagomis, galinčiomis anksti aktyvuoti judrumą.
- Kokybės analizė: spermos kokybės vertinimas yra būtinas norint atrinkti tinkamus mėginius šaldymui. Vertinami tokie parametrai kaip judrumas, gyvybingumas, pH ir osmolingumas. Dažnai naudojamos pažangios kompiuterinės sistemos, leidžiančios užtikrinti tikslumą.
- Prailgiklių („extenders“) sudarymas: tai buferiniai tirpalai, kurie apsaugo spermą nuo priešlaikinio aktyvavimo ir sudaro optimalias sąlygas šaldymui.

Dažniausiai naudojami komponentai: gliukozė, kiaušinio trynys, antioksidantai ir krioprotektoriai, tokie kaip DMSO arba glicerolis. Prailgiklių sudėtis priklauso nuo žuvų rūšies ir specifinių reikalavimų.

- Šaldymas ir atšildymas: sperma paprastai supilstoma į vadinamąsias prancūziškas šiaudeles arba kriovialus ir šaldoma kontroliuojamu greičiu, vėliau saugoma skystame azote ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$). Atšildyti reikia greitai, dažniausiai tai daroma vandens vonelėje, siekiant maksimaliai išsaugoti gyvybingumą. 3.6 paveiksle pavaizduoti pagrindiniai spermos šaldymo etapai.



3.6 pav. Spermos šaldymo procesas: (A) upėtakių spermos išgavimas kaniuliacija, (B) praskiedimas krioprotektoriumi papildytu prailgikliu, (C) supylimas į 0,5 ml prancūziškus šiaudelius (įterptas su skirtingais šiaudeliais, kriovialais ir PVA milteliais sandarinimui), (D) šaldymas ant plūduriuojančio įtaiso polistireninėje dėžėje su skystu azotu $\text{N}_2(\text{l})$, (E) laikymas $\text{N}_2(\text{l})$ talpykloje, (F) patelių ikrų išspaudimas, (G) atšildymas vandens vonelėje, (H–J) apvaisinimas (Fletcher & Rise, 2012)

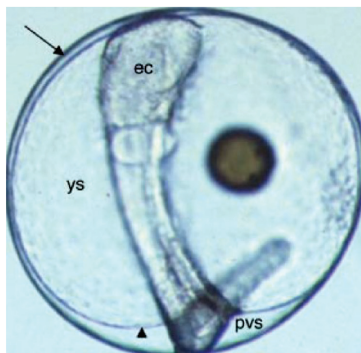
Oocitų kriokonservavimas

Skirtingai nei spermos atveju, kiaušialąsčių kriokonservavimas kelia kur kas didesnių iššūkių. Dėl didelio jų dydžio, sudėtingos struktūros ir riboto krioprotektorių (CPA) pralaidumo šios ląstelės itin jautrios šalčio pažeidimams. Tokios problemos kaip jautrumas žemai temperatūrai, ledo kristalų susidarymas ląstelių viduje ir krioprotektorių toksiškumas yra ypač ryškios. Be to, daugybiniai membraniniai sluoksniai ir didelis lipidų kiekis dar labiau apsunkina kiaušialąsčių išsaugojimą.

Pastaruoju metu daug dėmesio skiriama ankstyvųjų vystymosi stadijų kiaušialąsčių išsaugojimui, nes jų struktūrinis paprastumas gali sumažinti jautrumą šalčio pažeidimams. Taikomos įvairios strategijos: laipsniškas CPA šalinimas siekiant sumažinti toksiškumą, tyrimai dėl atsparumo žemai temperatūrai bei vitrifikacijos metodų taikymas. Vitrifikacija – tai itin greitas užšaldymas naudojant didelę CPA koncentraciją, leidžiantis išvengti ledo kristalų susidarymo. Vis dėlto šio metodo sėkmei trukdo iššūkiai, susiję su tolygiu CPA pasiskirstymu ir jų toksiškumo mažinimu.

Embrionų kriokonservavimas

Žuvų embrionų kriokonservavimas, kurio tikslas – išsaugoti tiek motininę, tiek tėvinę genetinę medžiagą, turi didelį potencialą pagerinti akvakultūros reprodukcijos valdymą. Tačiau, nepaisant šios perspektyvos, sėkmingas žuvų embrionų kriokonservavimas tebėra sudėtingas uždavinys dėl biologinio embrionų sudėtingumo – jų didelio dydžio, daugiakomponentės struktūros ir riboto krioprotekcinų medžiagų (CPA) pralaidumo. Šie veiksniai kartu su tokiais barjeriais kaip trynio sincitinis sluoksnis (YSL) trukdo veiksmingai paskirstyti CPA ir vandenį visame embrione (3.7 pav., Hagedorn et al., 1997).



3.7 pav. Oto embrionas uodeginio pumpuro stadijoje, kuriame matomi skirtingi apvalkalai ir skyriai: chorionas (rodyklė), trynio sincitinis sluoksnis (rodyklės galas), trynio maišas (ys), perivitelininis tarpas (pvs) ir embriono skyrius (ec) (Hagedorn et al., 1997)

Viena pagrindinių kliūčių kriokonservuojant žuvų embrionus yra didelis jų vandens kiekis, kuris užšaldant ir atšildant gali lemti ledo kristalų susidarymą ir ląstelių pažeidimus. Nors ankstyvųjų stadijų embrionai teoriškai yra struktūriškai

paprastesni ir palankesni išsaugojimui, jie ypač jautrūs žemai temperatūrai ir krioprotektorių (CPA) toksiškumui, o tai dar labiau apsunkina jų kriokonservavimą.

Tyrimai, kuriuose nagrinėjamas embrionų jautrumas žemai temperatūrai, parodė, kad ankstyvos vystymosi stadijos yra žymiai jautresnės šalčiui nei vėlyvesnės. Siekiant sumažinti pažeidimus dėl atšalimo, taikomos įvairios strategijos: embriono struktūros modifikavimas bei apsauginių medžiagų, tokių kaip antifriziniai baltymai (AFP), naudojimas. Šie metodai rodo potencialą stiprinant atsparumą šalčiui, tačiau iki šiol nepasiektas nuoseklus sėkmės lygis.

Kaip vienas iš būdų įveikti šiuos iššūkius, siūloma taikyti vitrifikaciją – itin greito užšaldymo metodą, kuriuo siekiama išvengti ledo susidarymo. Tačiau šiam metodui reikia didelių CPA koncentracijų, kurios gali būti toksiškos ir sunkiai tolygiai pasiskirstyti embrione dėl riboto jo pralaidumo. Todėl šiuo metu eksperimentuojama su embriono pralaidumo didinimu ir efektyvesnių CPA įvedimo sistemų kūrimu, siekiant įveikti šiuos apribojimus.

Tarp naujausių pasiekimų – metodai, padedantys apeiti tokius barjerus kaip trynio sincitinis sluoksnis (YSL) ir pagerinti CPA įsiskverbimą į embrioną. Tyrinėjami tokie metodai kaip CPA mikroinjekcija arba genetinis inžinerijos taikymas, siekiant padidinti embriono pralaidumą. Be to, natūralių antifrizinių baltymų naudojimas rodo potencialą mažinant ledo kristalų susidarymą ir apsaugant nuo šalčio sukeltų pažeidimų. Nors šie metodai kol kas tebėra eksperimentinio pobūdžio, jie suteikia vertingų įžvalgų apie embrionų kriokonservavimo ateitį.

Norint sėkmingai įveikti žuvų embrionų kriokonservavimo iššūkius, būtinas tarpdisciplininis bendradarbiavimas ir technologinės naujovės. Šiuo metu daugiausia dėmesio skiriama ląstelinio lygiu veikiančių apsaugos priemonių tobulinimui ir CPA įvedimo metodų gerinimui. Perspektyvios kryptys apima pažangių lazerinių technologijų taikymą, siekiant laikinai suformuoti poras embriono dangaluose, ir genetiškai modifikuotų žuvų linijų kūrimą, turinčių didesnę atsparumą užšalimo sukeliams pažeidimams.

Nuosekliai plėtojant šias tyrimų kryptis, žuvų embrionų kriokonservavimas gali tapti patikima akvakultūros priemone, padedančia išsaugoti vertingus genetinius išteklius.

Kriokonservavimo technologija sukurta daugeliui žuvų rūšių (Betsy et al., 2022):

- Ši technologija leidžia išsaugoti tinkamiausio amžiaus veislinių patinų miltus, kuriuos galima panaudoti bet kuriuo metu ateityje.
- Padeda išvengti artimo giminytės kryžminimosi, nes kriokonservuotais spermatozoidais galima lengvai keistis tarp veisyklų.
- Dėl šios technologijos spermatozoidai tampa prieinami bet kuriuo metų laiku.

- Galima veisti net ir ne dauginimosi sezono metu.
- Suderinamas abiejų lyčių gametų prieinamumas, tad galima efektyviau naudoti spermą.
- Palengvėja reprodukcinių žuvų būrio valdymas ūkiuose.
- Prisidedama prie stiprių ir gyvybingų palikuonių veisimo per vidurūšinį hibridizavimą.
- Įveikiamos problemos, susijusios su trumpu gametų gyvybingumu.
- Sudaromos sąlygos saugoti pageidaujamas genetines linijas.
- Galima kryžminti skirtingais metų laikais.
- Skatinamas gamtinio genetinio fondo (germplazmos) saugojimas, reikalingas genetinės atrankos programoms ar rūšims išsaugoti.
- Kriokonservuoti spermatozoidai gali būti naudingi hibridizavimo programose bei genų inžinerijos tyrimuose su žuvimis.
- Atveriami daug kitų galimybių, tokių kaip gyvybingų gametų kriobankų kūrimas (kaip gyvulininkystėje), genų bankų plėtra ir genetinės manipuliacijos žuvininkystėje.

Kriokonservavimas – tai iš esmės transformuojanti biotechnologinė priemonė akvakultūroje, suteikianti reikšmingos naudos tiek genetinio paveldo išsaugojimui, tiek veisimo programoms ir biologinės įvairovės apsaugai. Nors tam tikrų iššūkių, ypač susijusių su embrionų ir kiaušialąsčių konservavimu, vis dar išlieka, nuolat tobulinami krioprotektorių metodai, genetiniai įrankiai bei tarpdisciplininiai tyrimai teikia vilčių įveikti šiuos barjerus. Dėl ateities proveržių neabejotinai buvo plečiamos kriokonservavimo taikymo galimybės ir efektyvumas, užtikrinant įvairesnį jos naudojimą tiek akvakultūroje, tiek kitose srityse. Dėl nuolatinės pažangos kriokonservavimas tampa neatsiejama priemone, padedančia užtikrinti tvarią akvakultūros plėtrą ir išsaugoti vandens biologinę įvairovę (Fletcher & Rise, 2012).

3.5. Etiniai, aplinkosaugos ir reguliavimo aspektai

Biotechnologijų etika ir visuomenės požiūris

Gyvūnų gerovė genetinio modifikavimo srityje

Genetinės modifikacijos taikymo akvakultūroje etinės pasekmės yra reikšmingos, ypač gyvūnų gerovės požiūriu. Genetinėmis intervencijomis, tokiomis kaip transgenezė ar genų redagavimas, dažnai siekiama pagerinti produkcinis požymius – augimo tempą, atsparumą ligoms ar prisitaikymą prie aplinkos sąlygų. Tačiau šie

pokyčiai gali netyčia sukelti fiziologinį stresą ar sveikatos sutrikimus. Pavyzdžiui, spartesnis transgeninių žuvų augimas gali lemti skeleto deformacijas, sumažėjusį imuninės sistemos aktyvumą ar pakitusią medžiagų apykaitą. Kritikai teigia, kad produktyvumo iškėlimas virš gerovės gali pažeisti šių organizmų etiškai pagrįstą priežiūrą, keldamas klausimų apie pusiausvyrą tarp inovacijų ir humaniško elgesio.

Uždarų akvakultūros sistemų pobūdis dar labiau sustiprina šiuos rūpesčius. Žuvis, auginamos tokiomis sąlygomis, dažnai laikomos itin tankiose grupėse, o tai didina stresą, ligų riziką ir sukelia elgsenos pokyčius. Etiniai svarstymai taip pat apima klausimą, ar genetiškai modifikuotos žuvys yra labiau ar mažiau tinkamos išgyventi tokiomis sąlygomis, lyginant su laukiniais atstovais. Siekiant užtikrinti, kad genetiškai modifikuotų vandens organizmų gyvenimo kokybė nebūtų nepagrįstai pažeidžiama, būtina kurti specialiai šiems organizmams pritaikytus gerovės vertinimo kriterijus.

Ekologinis vientisumas ir biologinė įvairovė

Be pavienių organizmų gerovės, etiniai svarstymai apima ir platesnį biotechnologinių intervencijų poveikį ekosistemoms. Genetiškai modifikuotų ar selektyviai išvestų rūšių įvedimas į akvakultūros sistemas ar natūralią aplinką kelia riziką ekologiniam vientisumui. Pavyzdžiui, transgeninės žuvys, sparčiau augančios, gali išstumti vietines rūšis dėl išteklių, taip pažeisdamos vietinių ekosistemų pusiausvyrą ir galimai prisidedamos prie laukinių populiacijų nykimo ar net išnykimo. Dėl šių aspektų pabrėžiama moralinė atsakomybė užtikrinti, kad biotechnologijų taikymas nepakenktų vandens ekosistemų biologinei įvairovei ir atsparumui.

Etinė diskusija taip pat siejama su žmogaus vaidmeniu biologinės įvairovės valdyme. Nors biotechnologijos gali pasitarnauti gamtos saugos tikslais – pavyzdžiui, kriokonservuojant nykstančių rūšių genetinę medžiagą, – jos taip pat kelia klausimų apie žmogaus teisę keisti genetinius kodus ekonominiais ar ekologiniais tikslais. Didžiausias iššūkis – rasti pusiausvyrą tarp pozityvaus biotechnologijų potencialo panaudojimo ir natūralių vandens rūšių evoliucinių procesų išsaugojimo.

Teisiniai ir reguliavimo iššūkiai

Pasauliniai standartai ir gairės

Biotechnologijų taikymo akvakultūroje valdymas yra sudėtinga ir nuolat besivystanti sritis. Tokia tarptautinė organizacija kaip Jungtinių Tautų maisto ir žemės ūkio organizacija (FAO) ir Biologinės įvairovės konvencijos šalių konferencija yra

parengusios gaires, skirtas saugiam ir etiškam biotechnologijų naudojimui. Šiose gairėse pabrėžiamas atsargumo principas, raginantis atlikti išsamius rizikos vertinimus ir nuolatinę stebėseną prieš patvirtinant ir išleidžiant genetiškai modifikuotus organizmus (GMO) į akvakultūros sistemas.

Vienas iš pagrindinių tarptautinių standartų tikslų – suderinti reglamentavimą tarp valstybių, siekiant užtikrinti nuoseklias saugos priemones ir aplinkos apsaugos standartus. Tai ypač svarbu atsižvelgiant į vandens ekosistemų tarpšieninį pobūdį ir galimybę, kad pabėgusios žuvis gali paveikti kaimyninių šalių vandenį. Tarpvalstybinis bendradarbiavimas pasirašant sutartis ir susitarimus yra svarbi priemonė vienodoms praktikoms užtikrinti ir galimai kylantiems pavojams mažinti.

Nacionaliniai reguliavimo metodai

Nacionaliniu lygmeniu biotechnologijų reglamentavimo sistemos labai skiriasi, atspindėdamos skirtingus šalių prioritetus, technologines galimybes ir visuomenės požiūrį į biotechnologijas. Tokios šalys kaip Jungtinės Amerikos Valstijos ir Kanada turi išplėtotas sistemas, skirtas genetiškai modifikuotų organizmų saugumui ir veiksmingumui vertinti – šiose sistemose taikomi išsamūs peržiūros procesai, apimantys mokslinius, aplinkosaugos ir visuomenės sveikatos aspektus. Tuo tarpu kituose pasaulio regionuose gali trūkti visapusiškų reglamentavimo struktūrų, dėl to atsiranda priežiūros spragų ir galimų rizikų.

Reglamentavimo procesai dažnai grindžiami kelių etapų metodika: pirmiausia atliekami laboratoriniai tyrimai, po to kontroliuojami lauko bandymai, tik tada leidžiama taikyti plačiai. Taip siekiama įvertinti naujų biotechnologijų poveikį aplinkai, ekonomikai ir visuomenei. Vis dažniau pripažįstama, kad visuomenės konsultavimas ir sprendimų priėmimo skaidrumas yra esminės reguliavimo sistemos sudedamosios dalys, padedančios užtikrinti pasitikėjimą ir tai, kad sprendimai atitiktų visuomenės vertybes.

Saugumo vertinimai ir patvirtinimo procesai

Saugumo vertinimai yra esminė biotechnologijų reglamentavimo sistemų dalis, suteikianti mokslinį pagrindą įvertinti potencialias rizikas. Paprastai šie vertinimai apima kelias pagrindines sritis.

Aplinkosaugos rizikos: vertinama genetiškai modifikuotų organizmų (GMO) pabėgimo tikimybė ir galimas poveikis ekosistemoms – konkurencija su vietinėmis rūšimis, hibridizacija, buveinių pokyčiai.

Rizikos žmonių sveikatai: siekiama užtikrinti, kad genetiškai modifikuotos žuvys, skirtos vartoti, neturėtų alergenų, toksinų ar netikėtų genetinių pokyčių, galinčių pakenkti vartotojams.

Ekosistemų stebėseną: patvirtinus įgyvendinamos monitoringo programos, skirtos nenumatytiems poveikiams aptikti ir švelninti, taip užtikrinant ilgalaikį tvarumą.

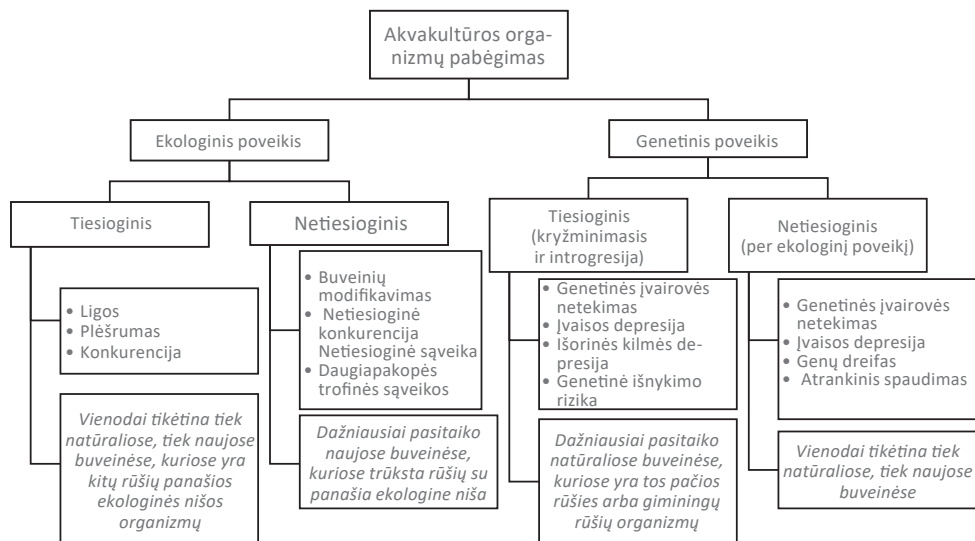
Patvirtinimo procesai dažnai vyksta koordinuojant kelioms institucijoms, įskaitant aplinkosaugos, žemės ūkio ir visuomenės sveikatos sritis. Griežtais moksliniais vertinimais, derinamais su visuomenės nuomone, siekiama rasti pusiausvyrą tarp inovacijų diegimo, saugumo ir etikos principų laikymosi.

Biotechnologijų poveikis aplinkai ir atsakomybė

Rizikų valdymas

Viena reikšmingiausių aplinkosaugos rizikų, susijusių su biotechnologijų taikymu akvakultūroje, yra genetinė tarša – tai procesas, kai genai iš genetiškai modifikuotų arba selektyviai išvestų rūšių perduodami laukinėms populiacijoms. Tai gali įvykti per kryžminimąsi, dėl kurio atsiranda genetinė homogenizacija ir prarandamos vietinėms rūšims būdingos prisitaikymo savybės. Tokios genetinės introgresijos ilgalaikės pasekmės gali būti sumažėjęs atsparumas aplinkos pokyčiams ir biologinės įvairovės nykimas.

Domestikacijos selekcija veikia akvakultūroje auginamų gyvūnų genetines ir fenotipines savybes, o šie pokyčiai gali sukelti įvairių poveikį aplinkai, jei tokie gyvūnai patenka į natūralią gamtą. 3.8 pav. pateikiama santrauka apie mechanizmus, kurie lemia šiuos poveikius. Jie suskirstyti į keturias kategorijas: tiesioginis ekologinis poveikis, netiesioginis ekologinis poveikis, tiesioginis genetinis poveikis ir netiesioginis genetinis poveikis.



3.8 pav. Galimas akvakultūros pabėgusių organizmų poveikis aplinkai

Akvakultūros sistemos yra ypač pažeidžiamos, kai į natūralias ekosistemas patenka ūkiuose auginamų žuvų. Šios ištrūkusios žuvys gali konkuruoti su laukinėmis populiacijomis dėl išteklių, platinti ligas ir sutrikdyti mitybos tinklo dinamiką. Šiai rizikai mažinti reikalingos patikimos izoliavimo strategijos, pavyzdžiui, fiziniai barjerai ir sterilių genetiškai modifikuotų žuvų kūrimas, kad jos negalėtų daugintis laukinėje gamtoje.

Sąveika su laukinėmis populiacijomis

Ūkiuose auginamų ir laukinių populiacijų sąveika apima ne tik genetinį poveikį. Transgeninės žuvys, pasižyminčios geresnėmis savybėmis, pavyzdžiui, greitesniu augimu ar didesniu atsparumu ligoms, gali turėti ekologinių pranašumų prieš laukines žuvis. Dėl šių pranašumų gali pasikeisti plėšrūnų ir grobuonių santykiai, konkurencijos dinamika ir buveinių naudojimas.

Norint numatyti ir valdyti šią sąveiką, būtina atlikti genetiškai modifikuotų žuvų elgsenos ir ekologinio vaidmens tyrimus. Ilgalaikiai ekologiniai tyrimai kartu su prognozavimo modeliavimu gali padėti nustatyti galimą riziką ir nukreipti valdymo praktiką.

Ilgalaikis tvarumas

Norint užtikrinti ilgalaikį akvakultūros biotechnologijų tvarumą, reikia laikytis holistinio požiūrio, kuris apimtų ekologinius, ekonominius ir socialinius aspektus. Tai apima buveinių naikinimo mažinimą, išteklių naudojimo optimizavimą ir laukinių populiacijų apsaugą. Biotechnologijų pažanga, pavyzdžiui, kuriant aplinkai nekenksmingus pašarus ir tobulinant atliekų tvarkymo sistemas, gali prisidėti prie tvaresnės akvakultūros praktikos.

Stebėseną ir pritaikomąsias valdymas yra labai svarbūs tvarios akvakultūros komponentai. Nuolat vertindamos biotechnologinių intervencijų poveikį aplinkai ir atitinkamai koreguodamos praktiką, suinteresuotosios šalys gali suderinti produktyvumą ir ekologinę atsakomybę.

Pažangos ir atsakomybės pusiausvyrą

Biotechnologijų integravimas į akvakultūrą atveria didžiules galimybes spręsti tokias pasaulines problemas kaip aprūpinimas maistu ir biologinės įvairovės išsaugojimas. Tačiau šią pažangą turi lydėti tvirtas pasiryžimas laikytis etikos principų, griežta reguliavimo priežiūra ir aktyvi aplinkosauga. Skatinant mokslininkų, politikos formuotojų, pramonės suinteresuotųjų šalių ir visuomenės bendradarbiavimą, akvakultūra gali būti vystoma naujoviškai ir tvariai.

Etiniai, aplinkosaugos ir reguliavimo aspektai yra ne tik kliūtys, kurias reikia įveikti, bet ir yra neatsiejami nuo atsakingos akvakultūros biotechnologijų pažangos. Kruopščiai planuojant, skaidriai priimant sprendimus ir vykdant nuolatinius mokslinius tyrimus, šis sektorius gali išnaudoti savo potencialą ir kartu užtikrinti vandens ekosistemų bei nuo jų priklausančių bendruomenių gerovę (Fletcher & Rise, 2012).

Santrauka

Dėl visuotinio atšilimo labai sutriko vandens rūšių veisimosi ciklai, augimo tempai ir išgyvenamumas. Dėl kylančios vandens temperatūros keičiasi neršto laikas ir medžiagų apykaitos greitis, dėl to nesutampa su maisto prieinamumu ir susidaro neoptimalios sąlygos lervutėms vystytis. Tokios rūšys kaip atlantinės menkės ir europiniai ešeriai neršia anksčiau, todėl jų palikuonių išgyvenamumas mažėja. Be to, dėl padidėjusios temperatūros vandenyje gali sumažėti deguonies kiekis, o tai kelia stresą lervoms ir turi įtakos jaunikių vystymuisi. Nors kai kurios rūšys pasižymi genetiniu prisitaikymu prie šių pokyčių, greiti aplinkos pokyčiai

dažnai pranoksta populiacijų gebėjimą prisitaikyti, todėl ilginiui jų populiacijos mažėja.

Akvakultūra ėmėsi biotechnologijų, kad sušvelnintų šiuos iššūkius ir padidintų auginamų rūšių atsparumą. Selekcinio veisimo programose daugiausia dėmesio skiriama tokioms savybėms kaip atsparumas karščiui, ligoms ir augimo efektyvumas. Genominė atranka pagreitina šį procesą, nes pageidaujamoms savybėms dauginti naudojami genetiniai žymenys. Pavyzdžiui, atlantinės lašišos buvo išvestos taip, kad toleruotų aukštesnę temperatūrą ir hipoksines sąlygas, o genominės priemonės buvo panaudotos kuriant ligoms atsparias vaivorykštinių upėtakių ir kitų rūšių žuvų atmainas.

CRISPR/Cas9 technologija tapo revoliucine priemone akvakultūroje, leidžiančia tiksliai ir tikslingai modifikuoti žuvų genomus. Šis metodas leidžia pagerinti tokias pagrindines savybes kaip augimas, raumenų kokybė, atsparumas ligoms ir prisitaikymas prie aplinkos. Pavyzdžiui, atlikus tokių rūšių kaip Nilo tilapija ir kanalinis šamas genetines modifikacijas, buvo pasiektas spartesnis augimas ir geresnis raumenų vystymasis, nes buvo paveiktas miostatino (*mstn*) genas. Panašiai CRISPR/Cas9 buvo panaudotas siekiant padidinti atlantinių lašišų ir baltųjų amūrų atsparumą ligoms, redaguojant su imunitetu susijusius genus ir patogenų atpažinimo kelius.

Be pavienių savybių gerinimo, CRISPR technologija taikoma lyties nustatymo ir populiacijos valdymo tikslais. Pavyzdžiui, nevaisingų populiacijų kūrimas padeda sumažinti ekologinę riziką, jei žuvis patenka į natūralią aplinką. Nepaisant pažangos, ši technologija susiduria su iššūkiais – nepageidaujami genomo pakitimai („off-target effects“) ir etinio pobūdžio klausimai, ypač susiję su gyvūnų gerove bei ekologinėmis pasekmėmis, reikalauja griežto reguliavimo ir tolesnių tyrimų.

Kriokonservavimas – dar viena svarbi technologija, siūlanti genetinių išteklių išsaugojimo ir veisimo efektyvumo didinimo sprendimus. Išsaugant gametas ir embrionus itin žemoje temperatūroje, ši technika prisideda prie biologinės įvairovės išsaugojimo bei veisimo programų vykdymo įvairiais metų laikais ir skirtingose geografijose. Vis dėlto tokie iššūkiai kaip jautrumas šalčiui ar krioprotektorių toksiškumas, ypač kiaušialąstėse ir embrionuose, rodo, kad būtina tęsti mokslinius tyrimus, siekiant optimizuoti protokolus ir pagerinti išsaugojimo sėkmės rodiklius.

Biotechnologijų integravimas į akvakultūrą kelia svarbių etinių ir aplinkosaugos klausimų. Genetiškai modifikuotų organizmų (GMO) galimybė patekti į natūralias ekosistemas ir kryžmintis su laukinėmis populiacijomis kelia pavojų genetiniam vientisumui ir biologinei įvairovei. Nacionalinio ir tarptautinio lygmens reglamentavimo sistemos atlieka svarbų vaidmenį sprendžiant šiuos klausimus – jose

akcentuojami rizikos vertinimai, stebėsena ir visuomenės įtraukimas. Etiniai aspektai taip pat apima gyvūnų gerovę, ypač siekiant užtikrinti, kad biotechnologiniais metodais nebūtų pažeista auginamų rūšių sveikata ir pabloginta gyvenimo kokybė.

Akvakultūros ateitis priklauso nuo technologinės pažangos ir tvarumo pusiausvyros. Tokios inovacijos kaip CRISPR/Cas9 ir genominė atranka turi didžiulį potencialą stiprinti atsparumą ir produktyvumą. Bet tam būtinas tarpdisciplininis bendradarbiavimas, stipri valdymo sistema ir atsakingas požiūris į aplinką, kad būtų sumažintas ekologinis poveikis ir užtikrintas ilgalaikis sektoriaus gyvybingumas.

Tik laikantis etiškos praktikos ir tvarumo principų akvakultūra gali tapti reikšmingu sprendimu mažinant pasaulinio maisto saugumo iššūkius ir išsaugant vandenų biologinę įvairovę.

Šiame skyriuje pabrėžiamas poreikis skubiai spręsti klimato kaitos ir akvakultūros tvarumo iššūkius, pasitelkiant inovatyvius ir atsakingus biotechnologinius sprendimus. Išnaudodama šių technologijų potencialą, akvakultūros pramonė gali aktyviai prisidėti prie pasaulinių biologinės įvairovės išsaugojimo, atsparumo klimato kaitai ir maisto saugumo užtikrinimo pastangų.

Literatūra

- Angilletta, M. J., Steury, T. D., & Sears, M. W. (2004). Temperature, growth rate, and body size in ectotherms: Fitting pieces of a life-history puzzle. *Integrative and Comparative Biology*, 44(6), 498–509. <https://doi.org/10.1093/icb/44.6.498>
- Betsy, C. J., C, S., & Sampath Kumar, J. S. (2022). Cryopreservation and its application in aquaculture. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99629>
- Blix, T. B., Dalmo, R. A., Wargelius, A., & Myhr, A. I. (2021). Genome editing on finfish: Current status and implications for sustainability. *Reviews in Aquaculture*, 13(4), 2344–2363. <https://doi.org/10.1111/raq.12571>
- Chevin, L. M., Lande, R., & Mace, G. M. (2010). Adaptation to climate change: Combining plasticity and evolution in a changing world. *Ecology Letters*, 13(11), 1318–1333. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01552.x>
- Durant, J. M., Hjermann, D. Ø., Ottersen, G., & Stenseth, N. C. (2007). Trophic match–mismatch and climate change: Linking phenologies in predator and prey. *Ecology*, 88(8), 2405–2412. <https://doi.org/10.1890/06-2089.1>
- Fischer, J. R., Brommer, J. E., Helm, B., & Visser, M. E. (2014). Evolutionary responses of aquatic species to climate change. *Nature Climate Change*, 4, 42–51. <https://doi.org/10.1038/nclimate2067>
- Fletcher, G. L., & Rise, M. L. (Eds.). (2012). *Aquaculture biotechnology*. Wiley-Blackwell.

- Gjøen, H. M., Refstie, T., Sahara, E., Ruane, N. M., L'Abe-Lund, T. M., & Fjelldal, P. G. (2018). Aquaculture breeding programs for climate resilience. *Aquaculture Reports*, 12, 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.02.003>
- Hagedorn, M., Hsu, E., Kleinhans, F. W., & Wildt, D. E. (1997). New approaches for studying the permeability of fish embryos: Toward successful cryopreservation. *Cryobiology*, 34(4), 335–347. <https://doi.org/10.1006/cryo.1997.2030>
- Heath, M. R., Speirs, D. C., & Steele, J. H. (2014). Climate change and fish growth. *Fish and Fisheries*, 15(3), 319–329. <https://doi.org/10.1111/faf.12025>
- Houston, R. D., Bishop, S. C., Hamilton, A., Guy, D. R., Tinch, A. E., Taggart, J. B., McAndrew, B. J. (2018). Selective breeding for disease resistance in aquaculture species: Challenges and progress. *Fisheries Research*, 200, 166–181. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.09.020>
- Huntingford, F. A., Turnbull, J. F., Kadri, S., Bergeron, R., Klinger, E., Ruthin, M. L. (2020). The potential of selective breeding for climate resilience in aquaculture species. *Aquaculture*, 525, 735303. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735303>
- Yang, Z., Yu, Y., Tay, Y. X., & Yue, G. H. (2022). Genome editing and its applications in genetic improvement in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 14(1), 178–191. <https://doi.org/10.1111/raq.12591>
- Jørgensen, C., Ernande, B., Fiksen, Ø., & Dieckmann, U. (2017). Local adaptation of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to thermal variation. *Journal of Evolutionary Biology*, 30(11), 2435–2446. <https://doi.org/10.1111/jeb.13199>
- Li, M., Dai, S., Liu, X., Xiao, H., & Wang, D. (2021). A detailed procedure for CRISPR/Cas9-mediated gene editing in tilapia. *Hydrobiologia*, 848, 3865–3881. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04524-5>
- Lynch, M., & Lande, R. (1993). Evolution and extinction in changing environments. *Trends in Ecology & Evolution*, 8(7), 142–144. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(93\)90245-Y](https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90245-Y)
- Liu, Y., et al. (2020). Genomic selection for heat tolerance in rainbow trout: A practical approach. *Journal of Fish Biology*.
- O'Reilly, C. M., Alin, S. R., Plisnier, P.-D., Cohen, A. S., & McKee, B. A. (2008). Impacts of climate change on fish populations. *Science*, 319(5865), 183–186. <https://doi.org/10.1126/science.1149477>
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, 637–669. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100>
- Pörtner, H. O., Langenbuch, M., & Reipschläger, A. (2004). Biological impact of elevated CO₂ in aquatic ecosystems: Lessons from animal physiology and Earth history. *Journal of Oceanography*, 60(4), 705–718. <https://doi.org/10.1007/s10872-004-5763-6>
- Tompkins, E. M., White, E. C. & Reeves, A. R. (2017). Effects of warming on fish breeding patterns. *Global Change Biology*, 23(9), 3365–3375. <https://doi.org/10.1111/gcb.13643>
- Vázquez, R., Ponzoni, R. W., Nguyen, N. H., & Houston, R. D. (2018). Genomic selection in aquaculture for disease resistance. *Aquaculture International*, 26(1), 65–75. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0192-7>
- Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebe, T. J. C., Fromentin, J. M., Hoegh-Guldberg, O., & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416(6879), 389–395. <https://doi.org/10.1038/416389a>

- Wargelius, A., Leininger, S., Skaftnesmo, K. O., Kleppe, L., Andersson, E., Taranger, G. L., Schulz, R. W., & Edvardsen, R. B. (2016). Dnd knockout ablates germ cells and demonstrates germ cell independent sex differentiation in Atlantic salmon. *Scientific Reports*, 6, 21284. <https://doi.org/10.1038/srep21284>
- Zhu, M., Sumana, S. L., Abdullateef, M. M., Falayi, O. C., Shui, Y., Zhang, C., Zhu, J., & Su, S. (2024). CRISPR/Cas9 technology for enhancing desirable traits of fish species in aquaculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(17), 9299. <https://doi.org/10.3390/ijms25179299>



Funded by
the European Union



Skaitmeninė mėlynoji karjera įveikus anglies krizę – akvakultūros mokymo programos naujovės [DiBluCa]
2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

4 skyrius. Kaip dėl pasaulinio atšilimo turėtų keistis žuvų mityba ir šėrimo praktika akvakultūroje?

Prof. dr. Ergün Demir
Prof. dr. Muhittin Zengin
Balikesiro universitetas, Turkija

Ivadas

Akvakultūra yra vienas sparčiausiai augančių žemės ūkio sektorių pasaulyje ir tampa vis svarbesnė tiekiant tvarius ir sveikus produktus, kurie pasižymi palyginti mažesniu poveikiu klimatui. Prognozuojama, kad žuvininkystės produkcija iki 2030 m. padidės 32 proc. (FAO, 2020). Rinkos veiksniai rodo, kad Europos akvakultūros plėtra yra vienintelis realus būdas patenkinti didėjančią žuvų paklausą. Tačiau pasiekti tvarią gamybą, kuri prisidėtų prie sveikos mitybos, įgyvendintų Darnaus vystymosi tikslus ir padėtų siekti neutralumo klimato kaitai („Net Zero“), yra sudėtinga užduotis (Messeder, 2021).

Vykstant klimato kaitai, prognozuojama, kad sumažės maistinių medžiagų prieinamumas (Cheung et al., 2023). Aukštos kokybės pašarų ir jų sudedamųjų dalių trūkumas, taip pat vandens produktų saugos ir kokybės klausimai kelia daug iššūkių šio sektoriaus tvariam vystymuisi (Ma & Hu, 2023). Pasaulinė žuvų auginimo veikla kasmet sukuria apie 250 mln. tonų CO₂ ekvivalentų (MacLeod et al., 2020). Vien lašišų auginimas sukuria apie 10 mln. tonų CO₂ ekvivalentų per metus. Pašarai sudaro vidutiniškai 75 proc. šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijos Norvegijoje auginamų lašišų gamyboje (Ziv-Douki, 2020). Palyginti su gyvulininkystės

gamyba, ypač jautiena, jūrų produktų gamyba pasižymi mažesne anglies dioksido emisija.

Temperatūros pokyčiai neigiamai veikia šalto vandens rūšių augimą ir išgyvenamumą, blogėja vandens kokybė, silpnėja šių rūšių imuninė sistema, mažėja vandenyne gebėjimas veikti kaip anglies dvideginio „sugertuvas“ (angl. „carbon sink“), didėja šiltesnio vandens patogenų virulentiškumas. Kadangi pašarai labai prisideda prie akvakultūros anglies pėdsako, didžiausias dėmesys turėtų būti skiriamas emisijų mažinimui gaminant pašarus (Zhang et al., 2024).



4.1 pav. Akvakultūros sektoriai, kuriuose galima mažinti anglies dioksido emisiją (adaptuota pagal Zhang et al., 2024).

4.1. Klimato kaitos įtaka žuvų mitybos fiziologijai

Temperatūros poveikis medžiagų apykaitai

Akvakultūra yra ypač jautri klimato kaitos poveikiui, nes labai priklauso nuo aplinkos sąlygų. Dėl pasaulinio atšilimo didėja vandens temperatūra, o tai lemia auginamų rūšių medžiagų apykaitos intensyvėjimą, todėl reikia keisti pašarų sudėtį, kad būtų patenkinti padidėję mitybos poreikiai (Reid et al., 2019). Kadangi žuvis yra pokiloterminiai (šaltakraujai) gyvūnai, jų bazinis energijos poreikis tiesiogiai priklauso nuo vandens temperatūros. Temperatūrai kylant, didėja jų standartinis metabolizmo greitis, taip pat energijos ir baltymų poreikis palaikymui. Tiesa, temperatūros poveikis bazinei medžiagų apykaitai net ir optimaliame intervale skiriasi pagal rūšį. Klimato kaita išlieka vienu didžiausių streso veiksnių akvakultūroje.

Pašarų virškinamumas ir pasisavinimo efektyvumas

Dėl temperatūros atsiradę metabolizmo pokyčiai paveikia ne tik mitybinę vertę, bet ir šėrimo efektyvumo rodiklius, tokius kaip šėrimo efektyvumo santykis (PER – svorio prieaugis / pašarų kiekis) ar pašarų konversijos koeficientas (PKK – pašarai / svorio prieaugis). Vandens temperatūros skirtumas vos keliais laipsniais kai kurioms rūšims gali lemti ryškius šėrimo efektyvumo skirtumus (Siikavuopio et al., 2012). Temperatūros pokyčiai taip pat gali paveikti kai kurių maistinių medžiagų, pavyzdžiui, riebalų rūgščių, virškinamumą, ypač lašišinių žuvų (Huguet et al., 2015).

Vis dėlto vertinama, kad vandens temperatūros poveikis akvakultūrinių gyvūnų maisto virškinamumui yra nedidelis. Pavyzdžiui, tyrimai su lašišomis rodo, kad baltymų ir lipidų virškinamumas gali kisti nežymiai (Amin et al., 2014). Kai kuriais tyrimais nustatyta, kad slinkimo žarnynu laikas gali sutrumpėti esant aukštesnei vandens temperatūrai – tai priklauso nuo rūšies. Tačiau dauguma tyrimų pabrėžiama, kad maistinių medžiagų ar energijos virškinamumui žala pasireiškia tik tada, kai viršijamas optimalus temperatūros intervalas (Reid et al., 2019).

Pašarų suvartojimas ir medžiagų apykaitos greitis

Pasaulinis atšilimas ir dėl jo atsirandantys klimato pokyčiai skatina vandens telkinių išsilimą, rūgštėjimą, kritulių ir vėjo režimų kaitą, dėl ko kinta vandens srovės,

turbulencija ir drumstumas. Visa tai daro poveikį vandens organizmų mitybos ir endokrininei sistemai (Nadermann et al., 2019). Klimato pokyčių metu į atmosferą išskiriamas CO₂ ir metanas taip pat veikia žuvų fiziologiją, elgseną, šėrimą bei su juo susijusį hormoninį reguliavimą (Ahmed et al., 2019; Volkoff, 2019).

Kadangi žuvys yra ektoterminiai gyvūnai, jos itin jautriai reaguoja į vandens temperatūros pokyčius. Temperatūrai kylant, daugėja deguonies poreikis, spartėja metabolizmas, todėl didėja energijos poreikiai (Sandblom et al., 2014). Nors šie pokyčiai priklauso nuo rūšies, vidutinio lygio temperatūros padidėjimas skatina didesnę pašarų vartojimą (Sharma et al., 2017). Tyrimai rodo, kad padidėjęs CO₂ ir sumažėjęs vandens pH mažina žuvų apetitą, trikdo jų gebėjimą reaguoti į cheminius signalus ir aptikti maistą uosle (Porteus et al., 2018). Be to, didesnis raumenų aktyvumas, reikalingas stabilumui palaikyti esant srovių turbulencijai, didina energijos poreikį, o prastas matomumas dar labiau apsunkina maitinimąsi.

Klimato kaitos poveikis žuvų mikroflorai (mikrobiotai)

Žuvų virškinimo sistemos sandara turi tiesioginės įtakos jų virškinimui ir imuninės sistemos būklei, tačiau ši sistema taip pat pažeidžiama dėl šiluminio streso, dėl kurio gali pablogėti žuvų sveikata (Geda et al., 2012). Žinoma, kad karščio stresas neigiamai veikia tokių gyvūnų kaip kiaulės ar vištos žarnyno gaurelius ir absorbcinį paviršių, tačiau poveikis žuvų žarnyno morfologijai dar nėra iki galo ištirtas.

Žarnyno mikrobiota sąveikauja su žuvų organizmu daugelyje fiziologinių procesų, įskaitant metabolizmą ir imuninę apsaugą (Gardiner et al., 2020; Yadav & Jha, 2019), ir yra jautri temperatūros pokyčiams. Pavyzdžiui, nustatyta, kad dėl aukštesnės temperatūros sumažėja naudingų pieno rūgšties bakterijų kiekis ir padidėja potencialiai pavojingų *Vibrio spp.* kiekis atlantinėse lašišose (Amin et al., 2016). Vis dėlto karščio poveikis žarnyno mikroflorai būdingas rūšiai.

Mikrobiota plačiai pripažįstama kaip svarbus žuvų sveikatos palaikymo veiksnys (Legrand et al., 2020). Temperatūra yra reikšmingas fiziologiją lemiantis nebiologinis veiksnys, ypač vandens organizmams, kurių kūno temperatūra atitinka aplinkos vandenį (Sepulveda & Moeller, 2020). Dėl streso gali sutrikti mikrobinė žarnyno struktūra ir paveikti žuvų fiziologines bei imunines funkcijas (Blacher et al., 2017). Be to, dėl temperatūros kinta ne tik mikrobiotos sudėtis, bet ir šeiminingo metabolizmas bei fenotipiniai požymiai (Guillen et al., 2019).

Trinh ir kt. (2017) nustatė, kad skirtingo augimo tempo jauniklių žuvų žarnyno mikrobiotos reikšmingai skyrėsi, ir padarė išvadą, jog mikrobiota gali daryti įtaką augimo greičiui dėl efektyvesnio energijos panaudojimo. Rimoldi ir kt. (2020)

nustatė, kad vyraujanti žarnyno mikrobiota gali būti naudojama kaip Europos jūrinio ešerio sveikatos būklės rodiklis.

4.2. Tvarūs pašarų ingredientai akvakultūroje

Akvakultūra gali užtikrinti gyvūninės kilmės baltymų gamybą su mažesne šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisija nei žemės ūkyje auginami gyvūnai (Hilborn et al., 2018). Todėl akvakultūra klimato požiūriu laikoma draugiškesniu baltymų gamybos sektoriumi, palyginti su kitomis gyvulininkystės formomis (NOAA Fisheries, 2022). Akvakultūros pašarams gaminti sunaudojama daugiau kaip 70 proc. pasaulio žuvų miltų ir žuvų taukų (FMFO). Iš maždaug 30 mln. tonų mažų žuvų, kasmet sugaunamų pasaulio vandenynuose, apie 17 mln. tonų naudojama akvakultūros pašarams gaminti (Cottrell et al., 2020). Tad alternatyvių baltymų šaltinių naudojimas pašarams gali sumažinti akvakultūros poveikį aplinkai, sąnaudas ir prisidėti prie konkurencingo sektoriaus kūrimo. Alternatyvūs baltymų šaltiniai, tokie kaip vabzdžių miltai, nėra naujiena, tačiau pastaruoju metu į šią sritį nukreiptos investicijos leidžia tikėtis greitesnio jų pritaikymo praktiškai. Vienas iš pavyzdžių – naujos iniciatyvos, skirtos sumažinti lašišų ūkių ekologinį pėdsaką 30 proc. iki 2030 m. Taip pat plėtojami kiti pašarų šaltiniai, ypač dumbliai ir jūrų dumbliai, kurie turi didelį potencialą. Dar viena perspektyvi kryptis – pramoninės biotechnologijos pagrindu sukurti pašarai. Technologija, pavyzdžiui, ekstruzija, padidina maistinių medžiagų virškinamumą ir įsisavinimą (Zhang et al., 2024).

Alternatyvūs pašarų ir baltymų šaltiniai

Tikimasi, kad baltymų gamyba ES turės padvigubėti iki 2050 m. Kadangi ES nėra savarankiška baltymų gamybos srityje, apie 70 proc. pašarinių baltymų importuojama. Tad būtina rasti tvarius alternatyvius baltymų šaltinius, kurių reikiamą kiekį būtų įmanoma gaminti ekonomiškai, kad jie atitiktų augantį maisto ir pašarų pramonės poreikį (Smáráson, 2023). Pašarų tvarumas akvakultūroje labai priklauso nuo tokių kokybiškų žaliavų kaip žuvų miltai ir žuvų taukai (FMFO) prieinamumo. Tradiciniai pašarų komponentai tampa vis sunkiau prieinami dėl sparčios akvakultūros plėtos, mažėjančių natūralių žuvų išteklių ir klimato kaitos (Idenyi et al., 2022).

Akvakultūroje daugiau kaip 90 proc. ŠESD emisijos susidaro dėl naudojamų pašarų. Siekiant klimato kaitos mažinimo tikslų, pašarų gamyboje galima taikyti žiedinės ekonomikos principus, panaudojant naujus biologinius išteklius (Tait, 2021). Šiuo metu apie 70 proc. pasaulinės akvakultūros produkcijos (pagal svorį) priklauso nuo išorinių pašarų tiekimo. Tai yra vienas didžiausių iššūkių ilgalaikiam sektoriaus tvarumui, kuris reikalauja alternatyvių žaliavų vystymo (Reid et al., 2019).

Dėl riboto ir mažėjančio žvejybos laimikio žuvų miltų gamyba pasaulyje sumažėja iki maždaug 5 mln. tonų per metus, o žuvų taukų – iki 1 mln. tonų. Iš šių kiekių apie 60–80 proc. žuvų miltų ir 70–80 proc. žuvų taukų sunaudojama akvakultūroje (FAO, 2022). Atsižvelgiant į didėjančią FMFO poreikį, kuri lemia nuolat auganti akvakultūros pramonė, būtina rasti tinkamus jų pakaitalus, kad sektorius būtų vystomas tvariai.

Žuvų miltai ir žuvų taukai (ŽMT) – pagrindiniai akvakultūros pašarų ingredientai

Akvakultūra iš esmės remiasi dviem gamybos rūšimis – šeriamais organizmais, tokiais kaip krevetės, jūriniai ešeriai ir lašišos, bei nešeriamais, kaip sidabriniai karpiai, jūrų dumbliai, austrės. Tradiciškai šeriama akvakultūra buvo grindžiama pašarais su dideliu ŽMT kiekiu (Froehlich et al., 2018). Tačiau ŽMT naudojimas laikomas viena iš pagrindinių netvarumo priežasčių akvakultūroje, nes tai didina spaudimą žuvų ištekliais ir griaua vandens maisto tinklų pusiausvyrą (Hua et al., 2019). Priklausomybė nuo žuvų pašarų kelia grėsmę jūrų biologinei įvairovei ir maisto saugai. Kaip žinoma, klimato kaita ir El Niño neigiamai veikia daugelį natūralių vandens maisto šaltinių, ypač fitoplanktoną. Dėl šių priežasčių ŽMT kiekis akvakultūros pašaruose per pastaruosius metus mažėjo. Kita problema, susijusi su žuvų miltais, – didesnis sunkiųjų metalų, cheminių medžiagų ir mikroplastiko kaupimasis jūrų žuvyse (Hanachi et al., 2019).

Augaliniai pašarai ir (arba) aliejai ir aplinkosaugos iššūkiai

Pastaraisiais metais akvakultūros pašarų gamintojai pradėjo naudoti tokius žemės ūkio produktus kaip sojos, kukurūzai ar rapsai vietoj ŽMT. Tačiau transgeninių sėklų, pesticidų, trąšų ir vandens naudojimas tokių produktų gamyboje daro neigiamą poveikį aplinkos tvarumui. Todėl ŽMT pakeitimas sausumos augalinės kilmės ingredientais yra toli nuo nulinės anglies pėdsako tikslo. Be to, jų maistinė vertė mažesnė, prasčiau virškinami, juose trūksta tokių aminorūgščių kaip lizinas, treoninas ar triptofanas. Dėl to žuvų baltymų vis dar neįmanoma visiškai pakeisti augaliniais baltymais. Kadangi akvakultūros gyvūnai negali gana efektyviai

pasisavinti sintetinėmis aminorūgštimis papildytų pašarų, į aplinką patenka daugiau azoto atliekų, o tai sukelia ekologinį poveikį. Ilgos grandinės polinesočiosios riebalų rūgštys, tokios kaip DHR ir EPR, yra pagrindiniai ribojantys veiksniai augaliniuose aliejuose. Taip pat augalinės kilmės pašarai turi antinutrientų, galinčių neišvengiamai paveikti virškinamojo trakto mikrobiotą ir žuvų medžiagų apykaitą (Idenyi et al., 2022). Kita problema – apie 70 proc. fosforo augaliniuose pašaruose susijęs su fitatu, o tai kelia eutrofikacijos riziką, blogina baltymų virškinamumą ir didina azoto išsiskyrimą.

Šalutiniai produktai kaip akvakultūros pašaras

Žuvų perdirbimo šalutiniai produktai

Kasmet pasaulyje išmetamų žuvų perdirbimo atliekų kiekis sudaro apie 25 proc. visos jūrų žvejybos produkcijos. Tai sudaro daugiau kaip 20 mln. tonų visame pasaulyje ir apie 5 mln. tonų per metus ES (Shahin et al., 2023). Apie 25–35 proc. žuvų miltų gaunama iš žuvų perdirbimo atliekų, o apie 70 proc. – iš žvejybos laimikių. Tačiau šių atliekų surinkimas dažnai laikomas ekonomiškai neefektyviu dėl logistinių ir techninių apribojimų (Sarker, 2023).

Svarbiausias šių šalutinių produktų panaudojimo būdas – jų įtraukimas į gyvulininkystės ir akvakultūros pašarų sudėtį. Pagal ES reglamentą 1069/2009, žuvų ir akvakultūros šalutiniai produktai patenka į 3-iąją kategoriją, kuri leidžia juos naudoti gyvūnų mityboje, atsakingai prisidedant prie aplinkos apsaugos ir visuomenės sveikatos (Gasco et al., 2020). Nereikalingas žvejybos šalutines medžiagas galima naudoti FMFO gamyboje (Li et al., 2019). Fermentinė žvejybos atliekų hidrolizė – dar vienas metodas gaminti baltymų hidrolizatus žuvims (Gasco et al., 2020).

Viename tyrime (Warwas, 2023) trys skirtingi žuvų perdirbimo šalutiniai produktai (filė ir nuopjovos) buvo panaudoti tiesiogiai upėtakių pašaruose, neatskyrus riebalų ir baltymų frakcijų. Tyrimas parodė, kad jų tinkamumas priklauso nuo laikymo sąlygų ir apdorojimo. 50 proc. šviežių ančiuvų nuopjovų įtraukimas į pašarus pagerino žuvų augimą, pašarų suvartojimą ir palaikė žarnyno sveikatą. Bet yra ir trūkumų – baltymų ir nepakeičiamų aminorūgščių kiekis, higienos problemos, ribotas galiojimo laikas bei ES nustatyti apribojimai (Reglamentas (EB) Nr. 1069/2009), draudžiantys naudoti tos pačios rūšies žuvų atliekas jų pašaruose (Gasco et al., 2020).

Maisto atliekos

Maisto atliekos taip pat gali būti naudojamos kaip baltymų šaltinis akvakultūros pašarams (Shahin et al., 2023). Jos apima žalią ir virtą maistą bei perdirbtus maisto

likučius. Žinoma, kad kasmet susidaro apie 1,5 mlrd. tonų žmonių maisto likučių – tai sudaro apie trečdalį viso kasmet pagaminamo maisto. Nors ne visoms akvakultūros rūšims šios atliekos tinka, jos gali būti panaudojamos kai kurioms visą dieną esančioms žuvims – žolėms karpiams ar kefalėms (Mo et al., 2014). Laikantis ES maisto saugos politikos „atsargumo principo“, maisto atliekų naudojimas maistui skirtoms žuvims ar vabzdžiams auginti šiuo metu draudžiamas (Fowles & Nansen, 2020).

Vienaląsčiai organizmai / baltymai

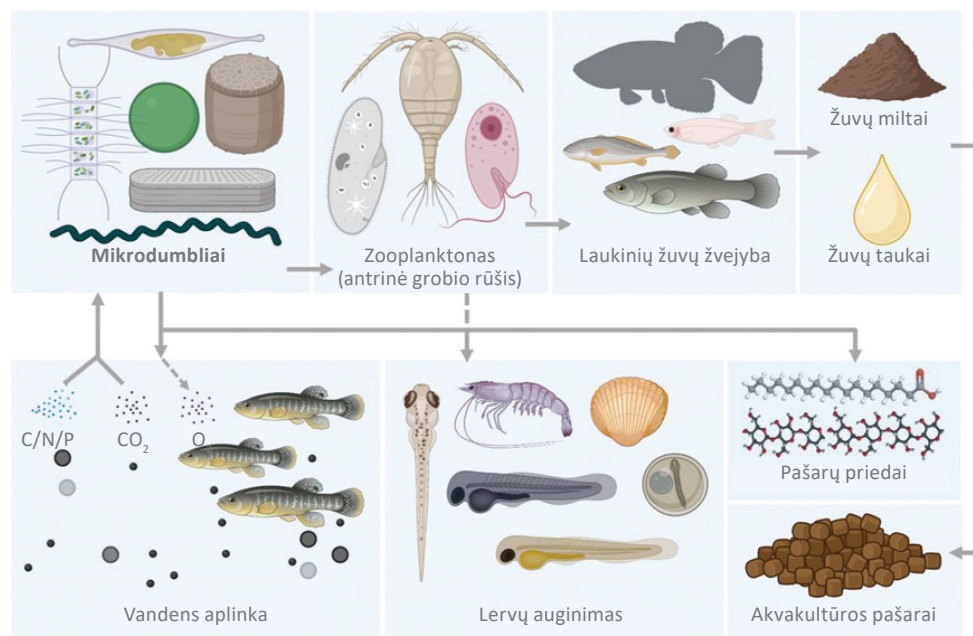
Tokie mikroorganizmai kaip mikrodumbliai, jūrų dumbliai (makrodumbliai), mielės, grybai, bakterijos ir kiti alternatyvūs komponentai turi reikšmingą potencialą akvakultūros pašaruose dėl baltymų / aminorūgščių, lipidų ar omega-3 šaltinių. Didėjant šių mikroorganizmų naudojimui akvakultūroje kartu su technologinėmis naujovėmis, taip pat bus galima sumažinti akvakultūros pašarų poveikį aplinkai (Sarker, 2023). Šie vienaląsčiai organizmai laikomi tvariu pašaro šaltiniu, nes greitai auga, sunaudoja labai mažai gėlo vandens ir jiems augti nereikia žemės ūkio paskirties žemės (Albrektsen et al., 2022).

Mikrodumbliai (fitoplanktonas)

Akvakultūroje mikrodumbliai atlieka svarbų vaidmenį tiek dėl poveikio vandens aplinkai, tiek kaip maisto medžiagų šaltinis (Wu & Hu, 2023). Mikrodumblių rūšys sudaro mažiau nei 1 proc. Žemės fotosintetinančios biomasės, tačiau prisideda prie maždaug 50 proc. viso biogeninio anglies fiksavimo pasaulyje (Field et al., 1998). Taip yra todėl, kad pasaulinė fitoplanktono populiacija atsinaujina vidutiniškai kas 2–6 dienas (Behrenfeld et al., 2006). Be to, mikrodumbliai yra turtingi omega-3 riebalų rūgščių (PNRR), karotenoidų, nepakeičiamų aminorūgščių, β -1-3-gliukano, mineralų ir vitaminų.

Mikrodumblių baltymai ir aliejai taip pat gali pakeisti ŽMT akvakultūros pašaruose. Mikrodumblių žaliųjų baltymų kiekis siekia 50–70 proc. (Nagappan et al., 2021; Ma & Hu, 2023). Kadangi mikrodumbliai gali patys sintetinti visas aminorūgštis, jų aminorūgščių sudėtis yra puikiai subalansuota akvakultūros gyvūnų mitybai (Becker et al., 2013). Bendras mikrodumblių lipidų kiekis gali siekti iki 45–60 proc. sausos ląstelės masės (Ahmad et al., 2022). Mikrodumbliai taip pat gali sintezuoti omega-3 riebalų rūgštis, todėl jie gali patenkinti akvakultūros gyvūnų būtinų riebalų rūgščių poreikį.

Pradėjus pramoniniu mastu gaminti mikrodumbliai, jų naudojimas akvakultūros pašaruose sparčiai plinta. Iš jūrų mikrodumblių rūšių *Nannochloropsis oculata*, *Isochrysis* sp. ir *Schizochytrium* sp. laikomi perspektyviais akvakultūros pašaruose. Teigiama, kad *Isochrysis* sp. mikrodumbliai gali būti gera ŽMT alternatyva vaivorykštinių upėtakių mityboje ir naudojami kaip omega-3 bei DHR papildai (Sarker et al., 2020). Pastaruoju metu kai kurios akvakultūros pašarų gamybos įmonės pradėjo gaminti DHR turtingą aliejų iš *Schizochytrium* sp. lašišų pašarams (Tocher et al., 2020). Tačiau labai didelės mikrodumblių gamybos sąnaudos šiuo metu riboja jų plačiai paplitusį naudojimą akvakultūroje (Nagappan et al., 2021).



4.2 pav. Mikrodumblių vaidmuo akvakultūroje
(pagal Wu & Hu, 2023; sukurta Biorender.com)

Jūrų dumbliai (makroplanktonas)

Beveik pusė pasaulinės jūrų dumblių (makrodumblių) akvakultūros produkcijos vertė viršija 11 milijardų JAV dolerių. Šiandien daugiau kaip 99 proc. jūrų dumblių auginama Azijoje, nors pastaruoju metu augana ir Afrikoje (FAO, 2020). Didžioji dalis dumblių – tai plunksninės undarijos (wakame), naudojamos žmonių mitybai.

Pastaraisiais metais jūrų dumbliai įgijo reikšmės dėl bioremediacijos savybių, kurios padeda užtikrinti tvarų gamybos procesą. Dumblių maistinė vertė skiriasi

priklausomai nuo rūšies (raudonieji, žalieji ar rudieji) bei sezono: raudonuosiuose dumbliuose baltymų kiekis svyruoja nuo 6 iki 38 proc., žaliuosiuose – nuo 3 iki 35 proc., o ruduosiuose – nuo 2 iki 17 proc. Lipidų kiekis atitinkamai siekia <1–13 proc., <1–3 proc. ir <1–10 proc. (Nagappan et al., 2021). Dauguma rūšių turi baltymų, turtingų nepakeičiamų aminorūgščių, ir daug omega-3 (ilgosios grandinės polinesočiųjų riebalų rūgščių). Didžiąją dalį dumblių sudaro angliavandeniai – nuo 15 iki 65 proc., priklausomai nuo rūšies. Žalių skaidulų (polisacharidų) kiekis siekia 25–75 proc. sausos masės, tačiau šias skaidulas plėšriųjų rūšių žuvys sunkiai virškina.

Tyrimai rodo, kad jūrų dumblių, pakeitusių žuvų miltus, maži kiekiai (<10 proc.) pagerina augimo rezultatus ir pigmentaciją (Ragaza et al., 2021). Jei dumblių kiekis pašaruose viršija 10 proc., pastebimas augimo sumažėjimas ir virškinimo pablogėjimas (Qiu et al., 2018). Kad jūrų dumbliai galėtų tapti alternatyva žuvų miltams, jie turėtų būti biologiškai perdirbami, kad būtų galima išskirti ir koncentruoti baltymus (Aasen et al., 2022). Kita perspektyvi bioperdirbimo technologija – fermentacija (Ang et al., 2021). Tačiau šie procesai dar tik tobulinami, o dabartinis ES reglamentas Nr. 68/2013 leidžia naudoti tik džiovintus ir sumaltus dumblius pašarams be papildomo patvirtinimo.

Mielės

Dėl didelio žalių baltymų kiekio (30–60 proc.) mielės laikomos alternatyviu pašarų šaltiniu akvakultūroje. Akvakultūros pašaruose kaip baltymų komponentai daugiausia gali būti naudojami *Saccharomyces cerevisiae*, įvairūs *Aspergillus* ir *Fusarium venenatum*, taip pat kitos padermės, pavyzdžiui, *Candida utilis*, *Candida*, *Hansenula*, *Pichia*, *Torulopsis* ir *Cluyveromyces marxianus* (Jones et al., 2020; Glencross et al., 2020). Mielės, daugiausia *Saccharomyces cerevisiae*, davė teigiamų rezultatų, pasižyminčių naudingumu imunostimuliuojamuoju poveikiu, dažniausiai iš dalies pakeičiant žuvų miltus lašišų racione. Jūrinėse mielėse (*C. sake*) yra 55 proc. baltymų ir nemažai omega-3 riebalų rūgščių. Be to, *C. sake* lengvai virškinamos upėtakių, jų galima naudoti net iki 20 proc. viso pašaro sudėties be neigiamo poveikio (Warwas, 2023).

Bakterijos

Bakterijų privalumas – jos greitai auga ant organinių substratų, tokių kaip metanas, metanolis, anglies dioksidas, vandenilis ir cukrus (Matassa et al., 2020). Iš kai kurių bakterijų padermių galima gauti labai didelį žalių baltymų (maždaug 60–82 proc. sausos ląstelės masės) ir nepakeičiamų aminorūgščių kiekį (Ritala et al.,

2016). Bakterijų biomasėje yra vidutiniškai 60 proc. baltymų ir apie 10 proc. riebalų, panašiai kaip žuvų miltuose (Albrektsen et al., 2022). Neseniai nustatyta, kad įtraukus purpurinių bakterijų, tokių kaip *Rhodopseudomonas palustris* ir *Rhodobacter capsulatus*, kurios yra naujas atsirandantis mikrobinis baltymų šaltinis, pagerėja krevečių augimo rodikliai, pašarų konversijos santykis ir atsparumas ligoms bei stresui (Alloul et al., 2021). Be to, šių purpurinių fototrofinių bakterijų, pagamintų naudojant nuotekas, kiekis gali būti naudojamas iki 66 proc. žuvų miltų jūrinių ešerių racione be jokio neigiamo poveikio žuvų produktyvumui (Delamare-Deboutville et al., 2019). Nepaisant šio potencialo, bakterinių baltymų naudojimą stabdo aukšta kaina ir ribotas priėmimas pasaulyje (Sarker et al., 2023).

Vabzdžiai akvakultūros pašaruose

Akvakultūros pašarų pramonė ieško alternatyvų ŽMT. Šiame kontekste vabzdžiai gali būti tvarus baltymų šaltinis akvakultūrai, naudojant maisto atliekas. Nustatyta, kad iš maždaug 1 milijono žinomų vabzdžių rūšių pasaulyje bent 16 gali būti naudojamos kaip alternatyvūs baltymų šaltiniai akvakultūroje (Guerreiro et al., 2020). Aštuonios vabzdžių rūšys parodė labai perspektyvius rezultatus (Alfiko et al., 2022). Tokios rūšys kaip šilkverpis (*Bombyx mori*), juodoji kareivinė musė (*Hermetia illucens*), naminė musė (*Musca domestica*), miltuotis (*Tenebrio molitor*) ir svirpliai yra svarbiausios. Teigiama, kad šios vabzdžių rūšys turi daug žalių baltymų (42–60 proc.) ir pagal nepakeičiamų aminorūgščių sudėtį lyginamos su žuvų ir sojų miltais (Allegretti et al., 2017). Vabzdžių pagrindu pagamintų pašarų pranašumas – ne tik turimų maistinių medžiagų kiekis, bet ir mažesnis poveikis aplinkai dėl didelio atliekų pavertimo efektyvumo ir šalutinių produktų pavertimo vertingais pašarais.

Tyrimu nustatyta, kad jūrinė musė (*Coelopa frigida*) gali būti auginama rudųjų jūržolių ūkyje naudojamame nuotekų vandenyje, o jos lervos gali pakeisti 40 proc. žuvų miltų racione, nesukeliant neigiamo poveikio vaivorykštinių upėtakių augimui ir žarnyno sveikatai (Warwas, 2023). Tyrimuose buvo testuojami skirtinguose vabzdžių vystymosi etapuose – lervų, lėliukių ir suaugėlių – pagaminti pašarai. Nustatyta, kad juodoji kareivinė musė ypač tinka naudoti kaip vabzdžių miltai vaivorykštinėms upėtakiams (*Oncorhynchus mykiss*) ir atlantinėms lašišoms (*Salmo salar*) (Lock et al., 2018).

Europos Komisija taip pat patvirtino vabzdžių įtraukimą į vandens organizmų racioną (Reglamentas 2017/893/EB, 2017), todėl Europoje įkurta daug įmonių skirtingų vabzdžių rūšims auginti (Mancuso et al., 2019).

Žemo trofinio lygmens jūriniai gyvūnai

Ypatingo susidomėjimo dėl jų potencialo pakeisti ŽMT sulaukia tokie jūriniai gyvūnai kaip midijos, amfipodai ir daugiašerės kirmėlės (*Policheta*). Šie žemo trofinio lygmens organizmai maitinasi pirminiais gamintojais – fitoplanktonu, bakterijomis, dumbliais – bei organinėmis jūrų aplinkos atliekomis.

Žalioji midija (*Perna viridis*) ir mėlynoji midija (*Mytilus edulis*) yra filtruojantys moliuskai, jie sudaro apie 56 proc. visos jūrinių gyvūnų akvakultūros produkcijos (FAO, 2020). Midijos laikomos bioremediatoriais, klestinčiais maistingųjų medžiagų turtingoje aplinkoje ir paverčiančiais atliekų medžiagas baltymais be papildomo šėrimo. Jos sausos masės pagrindu turi 50–70 proc. baltymų ir 5–16 proc. lipidų, panašiai kaip žuvų miltai (Jusadi et al., 2021). Pagrindinė rizika – didelė sunkiųjų metalų kaupimosi tikimybė (Rasidi et al., 2021).

Jūriniai amfipodai – tai daugiau kaip 10 000 rūšių turinti mažų, dažniausiai dugne gyvenančių vėžiagyvių būrio grupė. Jie gali būti naudojami kaip alternatyvus gyvojo pašaro šaltinis galvakojų, krevečių ir jūrų arkliukų akvakultūroje, taip pat kaip dalinis žuvų miltų pakaitalas žuvų ir vėžiagyvių akvakultūroje (Ashour et al., 2021). Amfipodai pasižymi dideliu baltymų, PNRR (EPR, DHR) ir aminorūgščių kiekiu.

Policheta – tai visame pasaulyje paplitusios daugiašerės kirmėlės, gyvenančios dugne ir veikiančios kaip bioremediatoriai, besimaitinančios dumbliais ir pūvančiomis organinėmis medžiagomis. Jos yra svarbus komerciškai svarbių žuvų ir vėžiagyvių grobis (Khan et al., 2018). Tradiciškai jos naudojamos kaip gyvas masalas žvejyboje arba kaip aukštos kokybės maistas specialiuose racionuose (Pombo et al., 2020). *Policheta* turi daug baltymų (55–60 proc. sausos masės), lipidų (12–28 proc. sausos masės) ir PNRRs, taip pat jose gerai subalansuota aminorūgščių, vitaminų ir mineralų sudėtis (Wang et al., 2019).

4.1 lentelė. Kokybinis alternatyvių akvakultūros pašarų sudedamųjų dalių potencialo vertinimas (pagal Shahin et al., 2023)

Alternatyva	Maistinė sudėtis	Tvarumas			Vartotojų požiūris	Komer-cinis įgyvendi-namumas
		Aplinko-sauginis	Ekonomi-nis	Socialinis		
Ž ir G šalutiniai produktai	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Maisto atliekos	↓	↑	↓	↓	↓	↓
Vabzdžiai	↑	↑	↑	↑	↔	↑
Vienaląsčiai organizmai	↑	↑		↑	↑	
Jūrų dumbliai	↓	↑	↑	↑	↑	↑
Žemo trofinio lygmens jūriniai gyvūnai	↑	↑	↑	↑	↑	

↑ – didelis potencialas / teigiama įtaka; ↓ – ribotas potencialas / neigiama įtaka;
↔ – mišri arba neutrali vertė.

Akvakultūros pašarų poveikio aplinkai mažinimas

Akvakultūros sektoriuje pašarai sudaro apie 40–60 proc. visų kaštų, o baltymai (žuvų miltai) yra brangiausia maistinė medžiaga. 70 proc. vandens organizmų poreikiams tenkinti sunaudojamo ŽMT gaunama iš žvejybos. Ši situacija dar labiau didina spaudimą žvejybos ištekliais ir kelia grėsmę jų tvarumui.

Akvakultūra ir tvarumo klausimai

Akvakultūros tvarumas gali būti nagrinėjamas trijų pagrindinių dimensijų – ekonominės, aplinkosauginės ir socialinės – požiūriu (Odeja, 2021).

Esminės strategijos, leidžiančios vertinti mitybos ir aplinkos tvarumą akvakultūroje, grindžiamos trimis pagrindiniais kriterijais (Sarker et al., 2023):

1. *Pašarų komponentų virškinamumas.* Pašarų ingredientų virškinamumas yra svarbus parametras, leidžiantis gaminti ekonomiškai efektyvius ir aplinkai

tvarius pašarus. Įvertinus pašarų virškinamumą, galima sumažinti jų kaštus ir maistinių medžiagų (pavyzdžiui, fosforo ir azoto) išskyrimą į aplinką, taip prisidedant prie eutrofikacijos mažinimo bei gerinant pašarų konversijos rodiklius.

2. *Pašarų konversijos koeficientas (FCR)*. Ekonominis alternatyvių pašarų pranašumas dažnai siejamas su mažesniu pašarų konversijos koeficientu. PKK yra puikus aplinkosauginio našumo rodiklis, nes atspindi fosforo ir azoto atliekų kiekį, galintį prisidėti prie eutrofikacijos, ŠESD emisijos, biologinės įvairovės nykimo ir kito neigiamo poveikio ekosistemoms. Pažymėtina, kad PKK akvakultūroje sumažėjo nuo ~3 iki ~1,35, o lašišų ūkiuose – nuo ~2–2,25 iki ~0,9–1,2, daugiausia dėl geresnių pašarų gamybos sprendimų nuo 1970 m. (Sarker et al., 2023).
3. *Gyvavimo ciklo vertinimas* (angl. „Life Cycle Assessment“, GCV). GCV yra metodas, leidžiantis išmatuoti maisto sistemų ir akvakultūros poveikį aplinkai. Jo pagalba vertinamos tokios kategorijos kaip tvarių pašarų kūrimas, alternatyvių ingredientų panaudojimas, efektyvus išteklių (žemės, vandens, trąšų) naudojimas, emisijos, susijusios su pasauliniu atšilimu, eutrofikacija, biologinės įvairovės nykimas, išoriniai neigiami padariniai, pavyzdžiui, vandenynų rūgštėjimas. GCV taikymas yra svarbus vertinant naujų baltymų ir riebalų alternatyvų poveikį ŽMT pakeitimui pašaruose.

Akvakultūros pašarų gamybos tvarumas

Pašarų gamyba sudaro didžiausią dalį tiek aplinkosauginio, tiek ekonominio šiuolaikinės akvakultūros poveikio, todėl tvari akvakultūra įmanoma tik naudojant tvarius pašarus (Warwas, 2023). Europos Komisijos naujose gairėse akvakultūra įtraukta į „Nuo ūkio iki stalo“ („Farm to Fork“) strategiją, kuria siekiama paspartinti perėjimą prie tvarios maisto sistemos Europoje. Šioje strategijoje pabrėžiama, kad tvari akvakultūra gali padėti tiekti maistą ir pašarus su mažu anglies pėdsaku, taip pat sukurti darbo vietų ir ekonominių galimybių (Odeja, 2021).

Be to, Europos Komisija rekomenduoja, kad pašarų gamintojai mažintų priklausomybę nuo ŽMT, gautų iš laukinės žvejybos, ir vietoj jų naudotų alternatyvius baltymų šaltinius, tokius kaip dumbliai, vabzdžiai ar kitų pramonės šakų atliekos. Tačiau šiandien daugelyje komercinių akvakultūros pašarų vis dar yra daug ŽMT. Prognozuojama, kad ŽMT paklausa gali viršyti mažų žuvų pasiūlą jau iki 2037 m., o tai rodo, jog pramoniniai pašarai ilgalaikėje perspektyvoje nėra tvarūs (Smáráson, 2023).

Norint apsaugoti jūrines ekosistemas ir sumažinti vandenynų išteklių eikvojimą, būtina, kad akvakultūros pašarai būtų tvarūs. Nors pagrindiniai alternatyvūs pašarų ingredientai šiandien apima sojų ir kukurūzų pagrindu sukurtus produktus, jų gamyba kritikuojama dėl netvarumo ir prasto virškinamumo. Dėl šios priežasties vis didesnę svarbą įgyja žiedinė bioekonomika, kuri gali lemti tvarią pašarų pramonės ateitį (Bunting, 2021).

4.3. Šėrimo valdymo strategijos

Tikslusis ir prisitaikantis šėrimas

Inovatyvūs metodai, tokie kaip lankstus sudėtinių dalių keitimas, fermentai, optimizuotos mikrobiotos ir genetika, vaidina svarbų vaidmenį siekiant tikslinio mitybos pritaikymo įvairioms akvakultūros rūšims. Tikslusis šėrimas reiškia tokių pašarų sudarymą, kurie atskleistų žuvų ir vėžiagyvių DNR, mikrobiotos ir metabolinių reakcijų potencialą, siekiant užkirsti kelią ligoms ir užtikrinti efektyvų augimą (Howell, 2022).

Šėrimas mikrobiotos pagrindu

Žarnyno mikrobiota vis dar išlieka tarsi „juodoji dėžė“ akvakultūros mitybos srityje. Per pastaruosius penkerius metus išaugo mokslinių tyrimų, nagrinėjančių žarnyno mikrobiotos vaidmenį akvakultūroje, skaičius. Naujos genetinio sekoskaitos technologijos leido identifikuoti žarnyno mikrobiotos bendrijas daugiau kaip 20 akvakultūroje auginamų žuvų rūšių. Ateityje daugiau dėmesio bus skiriama ne tik mikroorganizmų buvimui, bet ir jų funkcijoms bei poveikiui žuvų žarnyne. Tokie tyrimai padės atskleisti ryšį tarp mikrobinės įvairovės ir metabolitų gamybos bei nustatyti pagrindinius žarnyno sveikatos rodiklius. Dėmesys mikrobiotos funkcijai taip pat prisidės prie maistinių medžiagų virškinamumo ir žuvų augimo gerinimo (Howell, 2022).

Genetikos ir mitybos sankirtoje vis dažniau selekcijos tikslai apima ne tik atsparumą ligoms ar greitesnį augimą, bet ir efektyvesnį maistinių medžiagų įsisavinimą, todėl tikslinio šėrimo metodai pagal genetines savybes įgyja didelę reikšmę.

Šėrimas, paremtas grynąja energija (GE)

Kita tiksliojo šėrimo raidos kryptis apima ne tik ŽMT keitimą alternatyvomis, bet ir visų pašarų ingredientų naudojimą lanksčiai ir tvariai. Akvakultūroje pašarų

gamyba daugiausia remiasi virškinamąja energija (VE), tačiau tai nėra tikslus rodiklis, nes žuvims sunkiau nei sausumos gyvūnams įvertinti ne išmatų energijos nuostolius. Tad jei būtų galima naudoti metabolinę energiją (ME) ar grynąją energiją (GE), tai suteiktų reikšmingų privalumų (Groot et al., 2021). Virškinamosios energijos sistema remiasi prielaida, kad visi makronutrientai naudojami vienodai, o grynosios energijos modelis skiria skirtingą energinę vertę baltymams, riebalams ir angliavandeniams. Pastaraisiais metais akvakultūros mitybos specialistai gana sėkmingai plėtojo GE modelius įvairioms žuvų rūšims (Howell, 2022). Kadangi pašarų poveikį aplinkai daugiausia lemia jų sudėtinės dalys, galima sumažinti neigiamą poveikį gaminant aplinkai draugiškesnius mišinius (Wilfart et al., 2023). Kai kurie tyrimai jau integravo šiuos kriterijus į pašarų gamybą (Mackenzie et al., 2016). Pašarų sudarymas pagal ekonominis ir aplinkosaugos kriterijus laikomas inovatyviu sprendžiant gyvulininkystės sektoriaus iššūkius (Garcia-Launay et al., 2018).

Daugiafunkcis (DF) pašarų formavimas

Daugiafunkcis (DF) pašarų formavimas, kuriuo siekiama suderinti mažesnes sąnaudas ir mažesnę poveikį aplinkai, laikomas perspektyviu sprendimu akvakultūros poveikiui mažinti (Wilfart et al., 2023). Garcia-Launay ir kt. (2018) sukūrė daugiafunkcį formavimo modelį, kuris remiasi mažiausių sąnaudų formavimu (atsižvelgiant į maistinių medžiagų ir ingredientų apribojimus), bet įtraukia ir poveikį aplinkosaugai (pavyzdžiui, klimato kaita, nerenovuojamos energijos naudojimas, P poreikis, žemės naudojimas). Vis dėlto žuvų augimą gali reikšmingai paveikti pašarų ingredientų rūšis. Pavyzdžiui, pakeitus visus ŽMT augaliniais ingredientais, vaivorykštinių upėtakių augimas sumažėjo 30 proc. (Lazzarotto et al., 2018). DF formavimas vyksta dviem etapais: pirmiausia nustatoma pagrindinė formulė pagal sąnaudas ir potencialų poveikį, o antrame etape minimizuojama DF funkcija, kurioje įtraukti normalizuoti ekonominiai ir aplinkosaugos rodikliai. Šis metodas buvo išbandytas kiaulių, paukščių ir mėsinių galvijų pašarų gamyboje, daugeliu atvejų aplinkos poveikis sumažėjo 2–48 proc., o kaina išaugo nežymiai (1–7 proc.). Šis modelis laikomas naudingu įrankiu mažinant akvakultūros poveikį aplinkai nepabloginant žuvų produktyvumo ar smarkiai nedidinant gamybos kaštų (Wilfart et al., 2023).

Išankstinio apdorojimo technologijos ir fermentuoti pašarai, skirti akvakultūrai

Augalinės kilmės pašarai dažnai naudojami kaip pagrindinis baltymų šaltinis akvakultūros pašaruose dėl jų didelio prieinamumo ir mažos kainos. Tačiau jie dažniausiai turi daug nestruktūrinių polisacharidų (NSP), kurie riboja jų naudojimą, ypač plėšriųjų žuvų pašaruose. Be to, augaliniai pašarai dažnai pasižymi nedideliu skanumu, nesubalansuotu aminorūgščių profiliu ir turi antinutrientinių medžiagų (ANM), kurios riboja jų virškinamumą bei didina išmatų kiekį. Todėl efektyvus šių ingredientų naudojimas akvakultūroje yra itin svarbus.

Pašarų fermentacija – tai ekonomiškai efektyvus technologinis procesas, leidžiantis sumažinti ANM kiekį, kartu pagerinant maistinių medžiagų įsisavinimą ir įvairių biologiškai aktyvių junginių gamybą. Taip didinama pašarų ingredientų maistinė vertė akvakultūroje. Kietosios fazės fermentacijai būdingas mikroorganizmų, tokių kaip siūliniai grybai, naudojimas – jie geba efektyviai įsiskverbti į substratą dėl mažo laisvojo vandens kiekio ir hifų augimo (Šelo et al., 2021). Fermentacijai gali būti naudojami tokie mikroorganizmai kaip *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Bacillus subtilis* ir *Bacillus licheniformis* tiek kietosios, tiek drėgnosios fermentacijos sąlygomis. Šie organizmai gamina įvairius fermentus, tokius kaip fitazės, lipazės, proteazės ir angliavandenius skaidantys fermentai (pavyzdžiui, celiulazės, ksilazės). Grybai ypač efektyviai praturtina lignoceliuliozinius substratus mikrobiniiais baltymais ir fermentais. Taip sumažinamas žalios ląstelienos kiekis ir padidinamas bendras baltymų kiekis, jų tirpumas bei baltymų ir skaidulų virškinamumas (Godoy et al., 2018). Visa tai reikšmingai padidina augalinių pašarų, naudojamų akvakultūroje, maistinę vertę. Jeigu gaminami kietosios fazės fermentuoti pašarai, fermentuotas mišinys džiovinamas aplinkoje ir temperatūroje, kuri nekenkia maistinėms medžiagoms (Vieira et al., 2023; Zengin et al., 2022).

4.4. Vandenynų rūgštėjimo poveikio mažinimas

Vandenynai yra natūralios karbonatinės buferinės sistemos, todėl jie sugeria didelius anglies kiekius – daug didesnius nei atmosfera ar sausuma. Vandenynai veikia kaip buferis, neutralizuojantis nedidelius sudėties pokyčius. Tačiau kai padidėja atmosferos CO₂ koncentracija, daugiau jo ištirpsta vandenyne, todėl šis tampa rūgštesnis (Ebenezer et al., 2023). Šis procesas mažina jūros vandens pH, karbonato

jonų koncentraciją ir kalcio karbonato (CaCO_3) mineralų kiekį, o tai sukelia vadina-
majį vandenynų rūgštėjimą (Reid et al., 2019).

Vienu metu padidėjus CO_2 (sumažėjus pH ir aragonito prisotinimui) ir tempera-
tūrai, kartu keisis druskingumas ir kai kuriais atvejais sumažės deguonies kiekis
(Boyd et al. 2015). Vandenynų rūgštėjimas ir temperatūra yra tarpusavyje susiję.
Atsižvelgiant į galimą neigiamą sinergiją, temperatūros didėjimas laikomas van-
denynų rūgštėjimo „blogąja dvyne“. Didėjantis rūgštingumo lygis jūros vandenyje
taip pat neigiamai veikia vandens rūšių fiziologiją ir medžiagų apykaitą, nes su-
trikdomi tarpląsteliniai pernašos mechanizmai. Nustatyta, kad lervų, patekusių į
žemesnio pH jūros vandenį, skrandžio pH yra žemesnis, todėl sumažėja virškinimo
efektyvumas ir suvartojama daugiau maisto (Stumpp et al., 2013). Dėl šilto klimato
sąlygų vandenyje taip pat sumažėtų deguonies kiekis ir sumažėtų fitoplanktono.
Planktonas atlieka svarbų vaidmenį švelninant pasaulio klimatą, nes sugeria išme-
tamą CO_2 kiekį. Fitoplanktonas sudaro pusę pasaulinės fotosintezės ir didele dalimi
užkerta kelią pasauliniam atšilimui (Huertas et al., 2011).

Buferinės medžiagos pašaruose

Buferinių medžiagų įtraukimas į pašarų receptūras padeda neutralizuoti van-
denyno rūgštėjimo poveikį akvakultūros rūšių virškinimo fiziologijai. Pašarų miši-
niuose esančios buferinės medžiagos neutralizuoja arba stabilizuoja virškinamojo
trakto pH ir sudaro optimalias sąlygas pasisavinti maistines medžiagas.

Buferinės medžiagos yra:

- *Dumbliai*: mažina vandenynų rūgštėjimą ir kompensuoja išmetamųjų teršalų
kiekį. Jūros dumbliai taip pat mažina vandenynų rūgštėjimą, nes iš vandens
šalina anglies dioksidą ir veikia kaip vietinis buferis, naudingas daugeliui
jūrų rūšių. Jūrų dumbliai taip pat gamina deguonį, todėl mažina negyvų
zonų plitimą vandenyje. Didelio masto jūrų dumblių auginimas taip pat ti-
riamas kaip priemonė anglies dioksidui iš vandenyno gelmių šalinti ir angliai
kaupti (NOAA Fisheries, 2022).
- *Neorganiniai buferiai*: tai dažniausiai tokie junginiai kaip natrio bikarbonatas
(NaHCO_3), kalcio karbonatas (CaCO_3) arba magnio hidroksidas ($\text{Mg}(\text{OH})_2$),
kurie paprastai naudojami pH stabilumui palaikyti.
- *Organiniai buferiai*: citrinų rūgšties druskos (pavyzdžiui, natrio citratas) arba
organinės rūgštys (pavyzdžiui, skruzdžių arba pieno rūgštys) taip pat gali

būti buferinės medžiagos. Jų buferinės savybės paprastai yra specifiškesnės, be to, jos gali palaikyti žarnyno sveikatą veikdamos mikrobus bendruomenes.

- *Fitocheminės medžiagos ir augalinės kilmės buferinės medžiagos*: kai kurie augalai gamina junginius, kurie natūraliai gali buferizuoti pH lygį ir suteikti papildomos naudos, pavyzdžiui, antioksidacinių savybių ar priešuždegiminio poveikio. Jie gali būti naudingi ekologinėse arba tvariose akvakultūros sistemoje.

Apibendrinant galima daryti išvadą, kad buferinių medžiagų įtraukimas į akvakultūros pašarų sudėtį yra perspektyvi strategija mažinant vandenynų rūgštėjimo poveikį. Šis metodas ne tik padeda auginamų rūšių sveikatai ir augimui, bet ir didina akvakultūros sistemų atsparumą klimato kaitai.

Mitybos strategijos atsparumui rūgštėjimui didinti

Akvakultūroje atsparumo rūgštinėms sąlygoms didinimas yra svarbus klausimas, ypač atsižvelgiant į vandenynų rūgštėjimą, siekiant sukurti pašarų ir šėrimo strategijas tvariai akvakultūrai (Parker et al., 2024). Tai gali neigiamai paveikti jūros gyvūniją, ypač rūšis, kurių tinkamas augimas, vystymasis ir sveikata priklauso nuo stabilaus pH lygio, pavyzdžiui, žuvis, moliuskus ir vėžiagyvius. Reikėtų sukurti pašarų ir šėrimo strategijas, kuriomis būtų didinama ištvermė, atsparumas stresui ir gerinama sveikata.

Kai kurios šėrimo strategijos, skirtos rūgštėjimui mažinti, yra šios:

1. **Mineralų naudojimas**: mineralai reikalingi moliuskų ir vėžiagyvių kriauklių vientisumui palaikyti. Žemas pH gali turėti įtakos mikroelementų tirpumui vandenyje, todėl jų pridėjus į pašarus galima palaikyti žuvų ir vėžiagyvių sveikatą. Į pašarus pridėjus biologiškai prieinamų kalcio ir magnio formų, galima padėti šioms rūšims išlaikyti kriaukles ir tinkamai augti.

2. **Vitaminų vartojimas**: vitaminas E yra stiprus antioksidantas, padedantis apsaugoti ląsteles nuo oksidacinės žalos, kurią sukelia aplinkos veiksniai, įskaitant rūgštėjimą. B grupės vitaminai, tokie kaip B1 (tiaminas), B2 (riboflavinas) ir B12 (kobalaminas), atlieka svarbų vaidmenį energijos apykaitoje, nervų sistemos veikloje ir bendrojo streso tolerancijoje.

3. **Esminės aminorūgštys ir riebalų rūgštys**: dėl vandenynų rūgštėjimo sukkelto streso gali pakisti medžiagų apykaita ir baltymų sintezė akvakultūros organizme. Tokiomis streso sąlygomis į racioną pridėjus aminorūgščių, pavyzdžiui, metionino, lizino ir treonino, galima palaikyti augimą, audinių atstatymą ir imunines

reakcijas, jos yra būtinos uždegimui mažinti, imuninei funkcijai palaikyti ir bendram augimui skatinti. Akvakultūros racionų papildymas EPR ir DHR gali padėti sušvelninti kai kuriuos neigiamus fiziologinius rūgštėjimo padarinius.

4. Probiotikai ir prebiotikai: esant pH pokyčiams, patiriamas stresas, todėl gali atsirasti žarnyno mikrobiomo disbalansas arba susilpnėti imunitetas. Prebiotikai taip pat gali pagerinti virškinimą ir bendrą sveikatą, nes jais maitinamos naudingosios žarnyno bakterijos. Skatinant sveikus mikrobiomus, akvakultūros rūšys gali geriau susidoroti su aplinkos poveikiu.

5. Antioksidantai ir fitocheminės medžiagos: rūgščioje aplinkoje reaktyviosios deguonies rūšys kaupiasi ir sukelia oksidacinį stresą. Pridėjus natūralių antioksidantų, pavyzdžiui, karotinoidų ir polifenolių, į pašarus gali sumažėti oksidacinė žala ir padidėti atsparumas.

4.5. Pašarų efektyvumo didinimas

Ekstruzijos ir perdirbimo technologijos apdorojimas

Ekstruzijos apdorojimas – tai metodas, kuriuo pašaro komponentai ar pats pašaras trumpai termiškai apdorojami veikiant aukšta temperatūra ir slėgiu. Taip pašalinami visi antimaistiniai veiksniai (ANF) ir padidinamas pašaro suvartojimas, maistinių medžiagų virškinamumas, kartu ir žuvų augimas. Ekstruzijos būdu apdoroti ingredientai leidžia padidinti lipidų kiekį pašare, suželdinti krakmolą, pagerinti baltymų ir energijos virškinamumą. Ekstruzija taip pat svarbi akvakultūros gamyboje, nes teigiamai veikia fizines pašaro savybes – mažina smulkumą, pagerina plūdrumą arba skendimo savybes.

Fermentų priedų naudojimas

Fermentų priedų naudojimas siekiant pagerinti pašarų ingredientų virškinamumą ir padidinti maistinių medžiagų įsisavinimą yra itin svarbus žuvininkystėje, ypač atsižvelgiant į augimo ir sveikatos išlaikymą kintančiomis aplinkos sąlygomis. Ypač svarbu į ekstruziniu būdu pagamintus pašarus įtraukti fermentų, kurie pagerina fosforo, angliavandenių ir baltymų virškinamumą, nes tai padeda mažinti žuvų išskiriamų teršalų kiekį ir didina aplinkos tvarumą.

Svarbu kurti pašarus, kurie padėtų išlaikyti virškinamumą net pasikeitus vandens temperatūrai, susijusiai su pasauliniu atšilimu. Kai vanduo atšąla, pašaruose esančių riebalų rūgščių lydymosi temperatūra padidėja, todėl riebalų virškinamumas

sumažėja – tai blogina pašarų konversijos koeficientą (FCR). Šis poveikis žymiai ryškesnis šalto vandens sąlygomis nei šiltame vandenyje. Todėl būtina pagerinti bendrą riebalų virškinamumą, ypač naudojant lipazės fermentus (Howell, 2022). Proteazės fermentai gali skatinti endogenines peptidazes, pagerindami baltymų virškinimą ir hidrolizuodami baltyminės kilmės antimaistines medžiagas, tokias kaip lektinai, tripsino inhibitoriai, antigeniniai baltymai ir alergeniniai antitrirentiniai baltymai, pavyzdžiui, glicininas, β -konglicininas ir kafrinas (Cowieson, 2008). Naudojant augalinės kilmės pašarus, turtingus nekrakmolingų polisacharidų (NSP), tokius fermentus kaip ksilanazės, gliukanazės ir celiulazės galima panaudoti siekiant padidinti alternatyvių ingredientų maistinių medžiagų virškinamumą ir įsisavinimą (Sarker, 2023).

Funkciniai pašarų priedai

Funkciniai pašarų priedai – tai priedai, įtraukiami į pašarų sudėtį ne tik tam, kad būtų patenkinti pagrindiniai mitybos poreikiai, kaip įprastiniai pašarai, bet ir tam, kad pagerėtų akvakultūros organizmų augimas ir sveikatas. Jų naudojimas akvakultūros pašaruose gerina žarnyno sveikatą, skatina naudingąsias žarnyno bakterijas, didina fermentų gamybą ir stimuliuoja apetitą – visa tai prisideda prie geresnių augimo rezultatų. Be to, šie priedai gali sumažinti neigiamą akvakultūros poveikį aplinkai, gerindami vandens kokybę ir alternatyvių baltymų panaudojimą pašaruose (Onomu & Okuthe, 2024).

Naudojant sausumos augalinės kilmės baltymus kaip dalinį ar visišką žuvų miltų pakaitalą, dažnai būtini pašarų papildai. Antibiotikai ir chemoterapiniai preparatai, naudojami akvakultūroje, gali sukelti antibiotikams atsparių bakterijų padermių atsiradimą ir sunaikinti natūralius mikroorganizmus, taip pat sukelti antibiotikų likučių susikaupimo problemų žuvininkystės produktuose, kurie vėliau vartojami žmonių. Kita vertus, probiotikai, prebiotikai ir fitogeniniai junginiai gali būti naudojami kaip funkciniai pašarų priedai ligų prevencijai ar sumažinimui ir šeimininko imuninei sistemai stiprinti (Van Doan et al., 2020). Vis dėlto vis dar trūksta informacijos apie funkcinis pašarų priedus akvakultūroje, ypač palyginti su kitų gyvūnų šėrimu, taip pat nepakankamai ištirtas jų ryšys su akvakultūros tvarumu (Onomu & Okuthe, 2024).

Funkcinių pašarų priedų tvarumo vaidmenys siejami su penkiais pagrindiniais jų poveikiais akvakultūrai:

1. Geresnis pašarų naudojimas.
2. Didesnis tvarių išteklių naudojimo efektyvumas.
3. Didesnis atsparumas ligoms ir stipresnė imuninė sistema.
4. Didesnis atsparumas parazitams.
5. Geresnė vandens kokybė.

Probiotikai, prebiotikai ir simbiotikai

Naudingi mikroorganizmai ir prebiotiniai junginiai pašaruose palaiko žarnyno sveikatą, stiprina imuninę sistemą ir gerina bendrą pašarų panaudojimo efektyvumą esant klimato kaitos keliamiems stresoriams.

Probiotikai

Probiotikais vadinami gyvi pašarų priedai, kurie pagerina žarnyno mikrobinę pusiausvyrą šeimininko organizme (Fuller, 1989). Šios medžiagos prisideda prie augimo ar vystymosi, skatindamos pašarų suvartojimą, panaudojimą arba veikdamos gyvūnų imuninę sistemą (Demir et al., 2003). Probiotikai yra visame pasaulyje pripažintas funkcinis akvakultūros pašarų priedas. Nors egzistuoja daug probiotikų apibrėžimų, pavyzdžiui, „gyvi mikroorganizmai, kurie, vartojami pakankamai kiekiams, turi teigiamą poveikį šeimininko sveikatai“, šie apibrėžimai labiau tinka sausumos gyvūnams ir žmonėms nei vandens gyvūnams. Taip yra todėl, kad akvakultūroje mikroorganizmai ir žuvis egzistuoja toje pačioje aplinkoje – sąveika vyksta ne tik žarnyne, bet ir pačiame vandenyje (Onomu & Okuthe, 2024).

Atsparumas antibiotikams, pesticidams ir dezinfekcinėms medžiagoms vis labiau plinta tarp patogeninių bakterijų, todėl probiotikų tyrimai akvakultūroje tampa svarbia alternatyva antibiotikams, siekiant ekologiškos ir tvarios akvakultūros. Deja, augalinės kilmės ingredientai gali turėti neigiamą poveikį akvakultūros mitybai (Nielsen et al., 2022). Probiotikai stabilizuoja mikrobinę pusiausvyrą žuvų virškinimo trakte, šalindami patogeninius mikrobus ir didindami maistinių medžiagų virškinamumą bei biologinį prieinamumą (Oscar et al., 2020).

Akvakultūroje kaip probiotikai plačiai naudojamos bakterijos, mielės ir dumbliai. Probiotikų poveikis gali būti skirstomas į dvi grupes (Nathanailides et al., 2021):

- Žuvų augimo ir gerovės parametrai, įskaitant augimą, pašarų konversijos rodiklius, žarnyno mikrobiotą, imunitetą ir atsparumą patogenams.

- Aplinkos parametrai, įskaitant vandens kokybę tvenkiniuose ar rezervuaruose, mikrobiotos įvairovę.

Daugybė probiotikų mikroorganizmų buvo išskirti ir įvertinti dėl jų naudojimo infekcinių ligų prevencijai ir kontrolei. Dviejų tyrimų rezultatai, kuriuose buvo naudojami komerciniai probiotikai, parodė, kad jie pagerino reprodukcinius rodiklius, sumažino tiek vaivorykštinių upėtakių patelių (Akbari Nargesi et al., 2020), tiek Nilo tilapijų (*Oreochromis niloticus*) (El-Kady et al., 2022) bendrą amoniako azoto kiekį ir padidino augimo rodiklius bei pašarų pasisavinimą.

Prebiotikai ir simbiotikai

Prebiotikai – tai nevirškinami pašarų priedai, daugiausia sudaryti iš oligosacharidų, kurie stimuliuoja naudingųjų mikroorganizmų augimą žarnyne, kartu gerindami šeiminingo sveikatą (Bozkurt et al., 2014). Kad priedas būtų laikomas prebiotiku, jis turi pasiekti storąją žarną nepakitęs – atsparus skrandžio rūgštims, fermentų hidrolizei ir žarnyno absorbcijai (Davani-Davari et al., 2019). Prebiotikų nauda priklauso nuo fermentacijos metu bakterijų pagamintų šalutinių produktų. Pagrindiniai akvakultūroje naudojami prebiotikai yra manano oligosacharidai (MOS), fruktooligosacharidai (FOS), galaktooligosacharidai (GOS), arabinoksilanų oligosacharidai (AXOS), inulinas ir β -gliukanas.

Probiotikų maišymas su skirtingomis probiotikų padermėmis arba prebiotikais (simbiotikai) teikia didesnę naudą augimo ir sveikatos požiūriu nei naudojant juos atskirai. Manoma, kad simbiotinės kombinacijos papildo viena kitą, taip praplečiamas jų poveikio šeiminingui spektras (Puvanasundram et al., 2021). Widanarni ir kt. (2019) nustatė, kad MOS pridėjimas į *Artemia* sp. pašarus reikšmingai pagerino virškinimo fermentų aktyvumą, augimą, išgyvenamumą ir atsparumą *Vibrio harveyi* infekcijai. Aprūpinant baltąsias tigrines krevetes (*Litopenaeus vannamei*) 1,5 g/kg β -1.3 gliukanu ir fruktooligosacharidais, pagerėjo augimo rezultatai, antioksidacinis aktyvumas, nespecifinis imunitetas ir atsparumas ligoms (Eissa et al., 2023).

Fitogenai

Fitogeniniai priedai – tai pašarų priedų grupė, gaunama iš augalų lapų, stiebų, šaknų, sėklų, gumbų, vaisių, krūmų ir prieskonių. Paprastai jie skatina apetitą, stiprina naudingąsias žarnyno bakterijas ir naudojami ūkiuose gyvuliams dėl antioksidacinių, antimikrobinų, antikancerogeninių, analgezinių ir antiparazitinių savybių. Kadangi juose yra aktyviųjų junginių, jie taip pat gali turėti toksišką poveikį. Jų savybės ir veiksmingumas labai skiriasi priklausomai nuo naudojamos augalo

dalies, ekstrahavimo technikos ir koncentracijos, derliaus sezono bei geografinės vietovės (Onomu & Okuthe, 2024).

Viename tyrime du fitogeniniai pašarų priedai – vienas turtingas karvakrolio, kitas – timolio – pagerino vaivorykštinių upėtakių (*Oncorhynchus mykiss*) pašaro pasisavinimą, palyginti su kontroliniu racionu, bei padidino antioksidacinę apsaugą (Giannenas et al., 2012). Taip pat buvo reguliuota žarnyno mikrobinė bendrija – neišiamai paveikiant anaerobinius mikroorganizmus. Abdel-Latif ir kt. (2020) tyrė čiobrelių eterinio aliejaus (OEO) įtaką karpių (*Cyprinus carpio* L.) jaunikliams – žuvims, gavusioms OEO, buvo nustatyti reikšmingai pagerėję žarnyno morfometrijos rodikliai, palyginti su kontrole.

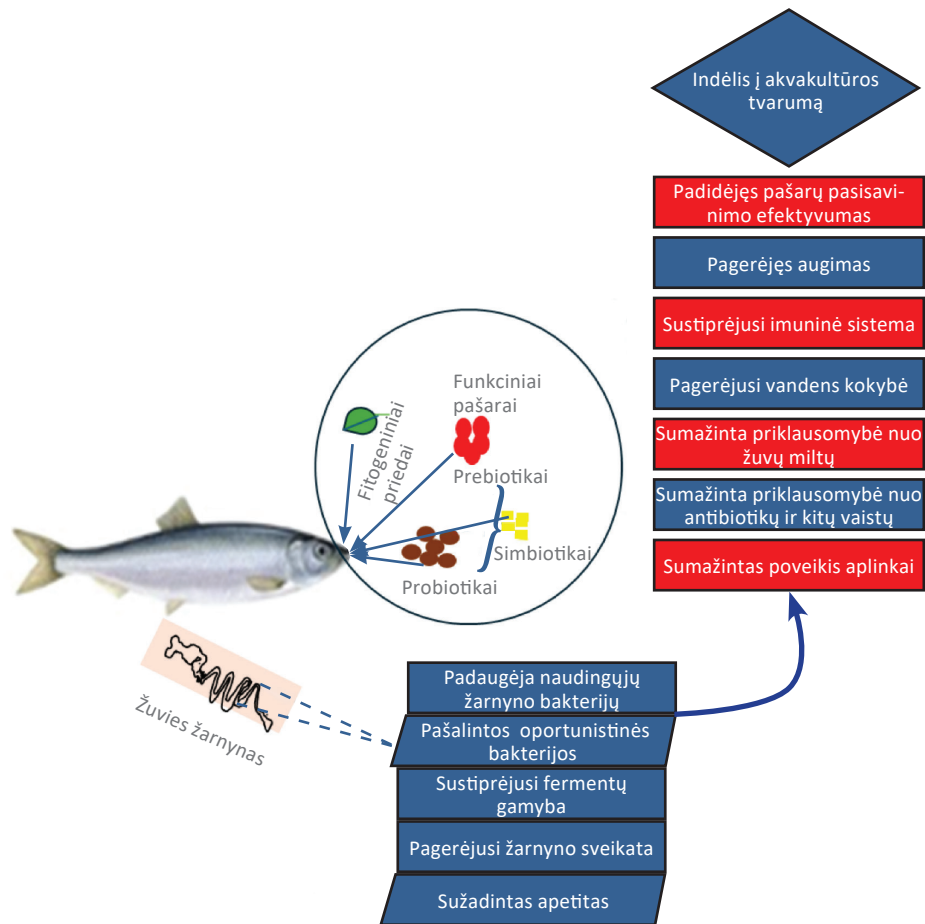
Antistresiniai pašarų priedai

Vienas svarbiausių klimato kaitos padarinių akvakultūroje – stresas, kylantis dėl aplinkos pokyčių. Pastaraisiais metais daugėja tyrimų apie streso mažinimą žuvims. Be naujų technologijų diegimo, gerinančių aplinkos sąlygas akvakultūroje, svarbu į pašarą įtraukti naudingų priedų, padedančių sumažinti streso atsaką į tipinius streso veiksnius. Tyrimais nustatyta, kad įvairūs priedai žuvų racione gali sumažinti imuninės, mitybinės ir metabolinės sistemos pokyčius, susijusius su endokrininiu atsaku. Pašarų priedų biocheminė prigimtis ir fiziologinis veikimas stipriai įtakoja streso atsaką – jie gali veikti kaip neurotransmiteriai ar hormonų pirmtakai, energijos substratai, kofermentai ar kiti būtini junginiai, kurie sukelia kompleksinius atsakus organizmo lygmeniu (Herrera et al., 2019).

Tarp priedų, mažinančių streso fiziologinį poveikį, galima paminėti lipidus ir riebalų rūgštis, vitaminus, mineralus, aminorūgštis, nukleotidus, prebiotikus ir antioksidantus. Ding ir kt. (2022) tyrė sintetinių polinesočiųjų riebalų rūgščių (PNRR) įtaką koralams – buvo nustatyta, kad papildytas racionas pagerino lervų vystymąsi ir įsitvirtinimą, sumažino superoksido dismutazės, katalazės aktyvumą ir mirtiną stresą metu. Kitame tyrime buvo tiriamas *Astragalus membranaceus* (žioveinio) ir *Glycyrrhiza glabra* (saldymedžio) imunomoduliacinis poveikis ešeriams (*Perca flavescens*). Nustatyta, kad šie augaliniai papildai reikšmingai pagerino augimą, antioksidacinį ir imuninį atsaką – tai laikoma natūraliais streso mažinimo būdais (Elabd et al., 2016).

Ghafariarsani ir kt. (2022) tyrė kvercetino, čiobrelių eterinio aliejaus ir vitamino C įtaką paprastųjų karpių racionui. Jie nustatė, kad žuvims, šertoms kvercetinu papildytu racionu, padidėjo antioksidantų (katalazės, superoksido dismutazės, glutathiono peroksidazės ir glutathiono reduktazės) kiekis serume ir kepenyse pasibaigus 60 dienų bandymui. Yousefi ir kt. (2021) tyrė mairūnų ekstrakto įtaką

paprastiesiems karpiams (*Cyprinus carpio*). Didžiausias galutinis svoris, svorio prieaugis ir specifinis augimo greitis bei mažiausias PKK (pašaro konversijos rodiklis) nustatyti tada, kai į pašarą buvo pridėta 200 mg/kg mairūnų ekstrakto.



4.4 pav. Funkcinių pašarų priedų poveikis akvakultūroje
(adaptuota pagal Onomu & Okuthe, 2024)

Santrauka

Didėjant pasauliniam atšilimui gali pakilti vandens temperatūra, dėl to padidės akvakultūros rūšių medžiagų apykaitos greitis, todėl būtina keisti pašarų sudėtį, kad būtų patenkinti padidėję maistinių medžiagų poreikiai. Siekiant prisitaikyti prie kintančių medžiagų apykaitos poreikių ir užtikrinti optimalų rūšių augimą bei

sveikatą, reikėtų koreguoti baltymų, lipidų ir angliavandenių santykį pašaruose. Kadangi klimato kaita veikia žuvų išteklius, naudojamus žuvų miltams ir taukams gaminti, tvariai akvakultūrai vis svarbesni tampa alternatyvūs baltymų šaltiniai, tokie kaip vabzdžių miltai, dumbliai ir augalinės kilmės baltymai. Siekiant sumažinti ekologinį pėdsaką, būtina keisti pašarų sudėtį, pavyzdžiui, naudoti atliekų pagrindu gautus ingredientus ir optimizuoti pašarų konversijos koeficientą.

Pažangios šėrimo technologijos, tokios kaip automatiniai šėrimo įrenginiai ir realaus laiko stebėseną, yra svarbios siekiant optimizuoti pašarų paskirstymą, sumažinti nuostolius ir užtikrinti efektyvų išteklių naudojimą. Taip pat būtina koreguoti šėrimo dažnį ir pašarų kiekius, kad jie atitiktų kintantį rūšių apetitą ir augimo greitį dėl pakitusios temperatūros. Į pašarų sudėtį turėtų būti įtraukti buferiniai junginiai, kurie padėtų kompensuoti vandenynų rūgštinimo poveikį akvakultūros rūšių virškinimo fiziologijai. Taip pat naudinga kurti šėrimo strategijas, kurios didina rūšių atsparumą rūgštinėms sąlygoms – pavyzdžiui, įtraukiant mineralus ir vitaminus, palaikančius atsparumą stresui.

Be to, labai svarbu naudoti fermentinius priedus, kurie gerina pašarų ingredientų virškinamumą ir maistinių medžiagų pasisavinimą – tai leidžia maksimaliai padidinti augimą ir sveikatą kintančiomis aplinkos sąlygomis. Naudingųjų mikroorganizmų ir prebiotinių junginių įtraukimas į pašarus, siekiant palaikyti žarnyno sveikatą, stiprinti imunitetą ir didinti bendrą pašarų efektyvumą globalinio atšilimo sukeltų stresorių sąlygomis, dar labiau pagerina šėrimo efektyvumą.

Literatūra

- Aasen, I. M., Sandbakken, I. S., Toldnes, B., Roleda, M. Y., & Slizyte, R. (2022). Enrichment of the protein content of the macroalgae *Saccharina latissima* and *Palmaria palmata*. *Algal research*, 65, 102727. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102727>
- Abdel-Latif, H. M., Abdel-Tawwab, M., Khafaga, A. F., & Dawood, M. A. (2020). Dietary oregano essential oil improved the growth performance via enhancing the intestinal morphometry and hepato-renal functions of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings. *Aquaculture*, 526, 735432. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735432>
- Ahmad, A., W. Hassan, S., & Banat, F. (2022). An overview of microalgae biomass as a sustainable aquaculture feed ingredient: Food security and circular economy. *Bioengineering*, 13(4), 9521–9547. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2061148>
- Ahmed, N., Thompson, S., & Glaser, M. (2019). Global aquaculture productivity, environmental sustainability, and climate change adaptability. *Environmental management*, 63, 159–172. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1117-3>
- Akbari Nargesi, E., Falahatkar, B., & Sajjadi, M. M. (2020). Dietary supplementation of probiotics and influence on feed efficiency, growth parameters and reproductive

- performance in female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) broodstock. *Aquaculture Nutrition*, 26(1), 98–108. <https://doi.org/10.1111/anu.12970>
- Albrektsen, S., Kortet, R., Skov, P. V., Ytteborg, E., Gitlesen, S., Kleinegris, D., ... & Øverland, M. (2022). Future feed resources in sustainable salmonid production: A review. *Reviews in aquaculture*, 14(4), 1790–1812. <https://doi.org/10.1111/raq.12673>
- Alfiko, Y., Xie, D., Astuti, R. T., Wong, J., & Wang, L. (2022). Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends. *Aquaculture and fisheries*, 7(2), 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.10.004>
- Allegretti, G., Schmidt, V., & Talamini, E. (2017). Insects as feed: species selection and their potential use in Brazilian poultry production. *World's poultry science journal*, 73(4), 928–937. <https://doi.org/10.1017/S004393391700054X>
- Alloul, A., Wille, M., Lucenti, P., Bossier, P., Van Stappen, G., & Vlaeminck, S. E. (2021). Purple bacteria as added-value protein ingredient in shrimp feed: *Penaeus vannamei* growth performance, and tolerance against *Vibrio* and ammonia stress. *Aquaculture*, 530, 735788. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735788>
- Amin, M. N., Barnes, R. K., & Adams, L. R. (2014). Effect of temperature and varying level of carbohydrate and lipid on growth, feed efficiency and nutrient digestibility of brook trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill, 1814). *Animal feed science and technology*, 193, 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.04.016>
- Amin, M. N., Carter, C. G., Katersky Barnes, R. S., & Adams, L. R. (2016). Protein and energy nutrition of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) at optimal and elevated temperatures. *Aquaculture nutrition*, 22(3), 527–540. <https://doi.org/10.1111/anu.12274>
- Ang, C. Y., Yong, A. S. K., Azad, S. A., Lim, L. S., Zuldin, W. H., & Lal, M. T. M. (2021). Valorization of macroalgae through fermentation for aquafeed production: A review. *Fermentation*, 7(4), 304. <https://doi.org/10.3390/fermentation7040304>
- Ashour, M., Abo-Taleb, H. A., Hassan, A. K. M., Abdelzaher, O. F., Mabrouk, M. M., Elokaby, M. A., & Mansour, A. T. (2021). Valorization use of amphipod meal, *Gammarus pulex*, as a fishmeal substitute on growth performance, feed utilization, histological and histometric indices of the gut, and economic revenue of grey mullet. *Journal of marine science and engineering*, 9(12), 1336. <https://doi.org/10.3390/jmse9121336>
- Becker, E. W. (2013). Microalgae for aquaculture: nutritional aspects. *Handbook of microalgal culture: applied phycology and biotechnology*, 671–691. ISBN:9780470673898.
- Behrenfeld, M. J., O'Malley, R. T., Siegel, D. A., McClain, C. R., Sarmiento, J. L., Feldman, G. C., & Boss, E. S. (2006). Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature*, 444(7120), 752–755. <https://doi.org/10.1038/nature05317>
- Blacher, E., Levy, M., Tatirovsky, E., & Elinav, E. (2017). Microbiome-modulated metabolites at the interface of host immunity. *The journal of immunology*, 198(2), 572–580. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.1601247>
- Boyd, C. E., McNevin, A. A., & Davis, R. P. (2022). The contribution of fisheries and aquaculture to the global protein supply. *Food security*, 14(3), 805–827. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01246-9>
- Bozkurt, M., Aysul, N., Küçükyılmaz, K., Aypak, S., Ege, G., Catli, A. U., ... & Çınar, M. (2014). Efficacy of in-feed preparations of an anticoccidial, multienzyme, prebiotic, probiotic, and herbal essential oil mixture in healthy and *Eimeria* spp. – infected broilers. *Poultry science*, 93(2), 389–399. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03368>
- Bunting, M. (2021). *Making fish feed greener: by-products the key to a sustainable aquaculture industry*. 22 September 2021. <https://disruptr.deakin.edu.au/environment/making-fish-feed-greener-by-products-the-key-to-a-sustainable-aquaculture-industry/>

- Cheung, W. W. L., Maire, E., Oyinlola, M. A., Robinson, J. P. W., Graham, N. A. J., Lam, V. W. Y., McNeil, M. A., & Hicks, C. C. (2023). Climate change exacerbates nutrient disparities from seafood. *Nature Climate Change*, 13, 1242–1249. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01822-1>
- Cottrell, R. S., Blanchard, J. L., Halpern, B. S., Metian, M., & Froehlich, H. E. (2020). Global adoption of novel aquaculture feeds could substantially reduce forage fish demand by 2030. *Nature food*, 1(5), 301–308. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0078-x>
- Cowieson, A. J., & Ravindran, V. (2008). Effect of exogenous enzymes in maize-based diets varying in nutrient density for young broilers: growth performance and digestibility of energy, minerals and amino acids. *British poultry science*, 49(1), 37–44. <https://doi.org/10.1080/0007166070181298>
- Davani-Davari, D., Negahdaripour, M., Karimzadeh, I., Seifan, M., Mohkam, M., Ma-soumi, S. J., & Ghasemi, Y. (2019). Prebiotics: definition, types, sources, mechanisms, and clinical applications. *Foods*, 8(3), 92. <https://doi.org/10.3390/foods8030092>
- Delamare-Deboutteville, J., Batstone, D. J., Kawasaki, M., Stegman, S., Salini, M., Tabrett, S., & Hülsen, T. (2019). Mixed culture purple phototrophic bacteria is an effective fish-meal replacement in aquaculture. *Water research X*, 4, 100031. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2019.100031>
- Demir, E., Sarica, Ş., Özcan, M. A., & Sui Mez, M. (2003). The use of natural feed additives as alternatives for an antibiotic growth promoter in broiler diets. *British poultry science*, 44(S1), 44–45. <https://doi.org/10.1080/713655288>
- Ding, D. S., Wang, S. H., Sun, W. T., Liu, H. L., & Pan, C. H. (2022). The effect of feeding on *briareum violacea* growth, survival and larval development under temperature and salinity stress. *Biology*, 11(3), 410. <https://doi.org/10.3390/biology11030410>
- Ebeneezar, S., Singh, D. K., Sahoo, S., Prabu Linga, D., & Pal, A. K. (2023). *Outlook of Climate Change and Fish Nutrition*. Editors: Archana Sinha, Shivendra Kumar, Kavita Kumari. Springer, ISBN 978-981-19-5499-3, (eBook).
- Eissa, E. S. H., Ahmed, R. A., Abd Elghany, N. A., Elfeky, A., Saadony, S., Ahmed, N. H., Sakr, S. E. S., Dayrit, G. B., Tolenada, C. P. S., Atienza, A. A. C., Mabrok, M., & Ayoub, H. F. (2023). Potential symbiotic effects of β -1,3 glucan, and fructooligosaccharides on the growth performance, immune response, redox status, and resistance of pacific white shrimp, *litopenaeus vannamei* to *Fusarium solani* infection. *Fishes*, 8(2), 105. <https://doi.org/10.3390/fishes8020105>
- Elabd, H., Wang, H. P., Shaheen, A., Yao, H., & Abbass, A. (2016). Feeding *Glycyrrhiza glabra* (liquorice) and *Astragalus membranaceus* (AM) alters innate immune and physiological responses in yellow perch (*Perca flavescens*). *Fish & shellfish immunology*, 54, 374–384. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.04.024>
- El-Kady, A. A., Magouz, F. I., Mahmoud, S. A., & Abdel-Rahim, M. M. (2022). The effects of some commercial probiotics as water additive on water quality, fish performance, blood biochemical parameters, expression of growth and immune-related genes, and histology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 546, 737249. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737249>
- FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in Action*. FAO: Rome, Italy. ISBN 978-92-5-132692-3.
- Field, C. B., Behrenfeld, M. J., Randerson, J. T., & Falkowski, P. (1998). Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 281(5374), 237–240. <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237>

- Fowles, T. M., & Nansen, C. (2020). Insect-based bioconversion: value from food waste. *Food waste management: solving the wicked problem*, 321–346. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20561-4_12
- Froehlich, H. E., Jacobsen, N. S., Essington, T. E., Clavelle, T., & Halpern, B. S. (2018). Avoiding the ecological limits of forage fish for fed aquaculture. *Nature sustainability*, 1(6), 298–303. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0077-1>
- Fuller, R. (1989). Probiotics in man and animals. *The Journal of applied bacteriology*, 66(5), 365–378. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1989.tb05105.x>
- Garcia-Launay, F., Dusart, L., Espagnol, S., Laisse-Redoux, S., Gaudre, D., Meda, B., & Wilfart, A., (2018). Multiobjective formulation is an effective method to reduce environmental impacts of livestock feeds. *British journal nutrition*, 120, 1298–1309. <https://doi.org/10.1017/s0007114518002672>
- Gardiner, G. E., Metzler-Zebeli, B. U., & Lawlor, P. G. (2020). Impact of intestinal microbiota on growth and feed efficiency in pigs: A review. *Microorganisms*, 8(12), 1886. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8121886>
- Gasco, L., Acuti, G., Bani, P., Dalle Zotte, A., Danieli, P. P., De Angelis, A., ... & Roncarati, A. (2020). Insect and fish by-products as sustainable alternatives to conventional animal proteins in animal nutrition. *Italian journal of animal science*, 19(1), 360–372. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1743209>
- Geda, F., Rekecki, A., Decostere, A., Bossier, P., Wuyts, B., Kalmar, I. D., & Janssens, G. P. J. (2012). Changes in intestinal morphology and amino acid catabolism in common carp at mildly elevated temperature as affected by dietary mannanoligosaccharides. *Animal feed science and technology*, 178(1–2), 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.09.008>
- Ghafarifarsani, H., Hoseinifar, S. H., Javahery, S., & Van Doan, H. (2022). Effects of dietary vitamin C, thyme essential oil, and quercetin on the immunological and antioxidant status of common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 553, 738053. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738053>
- Giannenas, I., Triantafyllou, E., Stavrakakis, S., Margaroni, M., Mavridis, S., Steiner, T., & Karagouni, E. (2012). Assessment of dietary supplementation with carvacrol or thymol containing feed additives on performance, intestinal microbiota and antioxidant status of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 350, 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.027>
- Glencross, B. D., Huyben, D., & Schrama, J. W. (2020). The application of single-cell ingredients in aquaculture feeds-a review. *Fishes*, 5(3), 22. <https://doi.org/10.3390/fishes5030022>
- Godoy M. G., Amorim G. M., Barreto M. S., & Freire D. M. G. (2018). Chapter 12 – Agricultural Residues as Animal Feed: Protein Enrichment and Detoxification Using Solid-State Fermentation. In A. Pandey, C. Larroche, C. R. Soccol (eds.), *In Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 235–256). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63990-5.00012-8>
- Groot, R., Lyons, P., & Schrama, J. W. (2021). Digestible energy versus net energy approaches in feed evaluation for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animal feed science and technology*, 274, 114893. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114893>
- Guerreiro, I., Castro, C., Antunes, B., Coutinho, F., Rangel, F., Couto, A., ... & Enes, P. (2020). Catching black soldier fly for meagre: Growth, whole-body fatty acid profile and metabolic responses. *Aquaculture*, 516, 734613. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734613>

- Guillen, A. C., Borges, M. E., Herrerias, T., Kandalski, P. K., de Arruda Marins, E., Viana, D., ... & Donatti, L. (2019). Effect of gradual temperature increase on the carbohydrate energy metabolism responses of the antarctic fish *notothenia rossii*. *Marine environmental research*, 150, 104779. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.104779>
- Hanachi, P., Karbalaee, S., Walker, T. R., Cole, M., & Hosseini, S. V. (2019). Abundance and properties of microplastics found in commercial fish meal and cultured common carp (*Cyprinus carpio*). *Environmental science and pollution research*, 26, 23777–23787. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05637-6>
- Herrera, M., Mancera, J. M., & Costas, B. (2019). The use of dietary additives in fish stress mitigation: comparative endocrine and physiological responses. *Frontiers in endocrinology*, 10, 447. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00447>
- Hilborn, R., Banobi, J., Hall, S. J., Pucylowski, T., & Walsworth, T. E. (2018). The environmental cost of animal source foods. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(6), 329–335. <https://doi.org/10.1002/fee.1822>
- Howell, M. (2022). *An insider's view of advances in aquaculture nutrition*. 23 September 2022. <https://thefishsite.com/articles/an-insiders-view-of-advances-in-aquaculture-nutrition-alltech-coppens>
- Hua, K., Cobcroft, J. M., Cole, A., Condon, K., Jerry, D. R., Mangott, A., ... & Strugnell, J. M. (2019). The future of aquatic protein: implications for protein sources in aquaculture diets. *One earth*, 1(3), 316–329. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>
- Huertas, I. E., Rouco, M., Lopez-Rodas, V., & Costas, E. (2011). Warming will affect phytoplankton differently: evidence through a mechanistic approach. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1724), 3534–3543. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.0160>
- Huguet, C. T., Norambuena, F., Emery, J. A., Hermon, K., & Turchini, G. M. (2015). Dietary n-6/n-3 LC-PUFA ratio, temperature and time interactions on nutrients and fatty acids digestibility in Atlantic salmon. *Aquaculture*, 436, 160–166. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.11.011>
- Idenyi, J. N., Eya, J. C., Nwankwegu, A. S., & Nwoba, E. G. (2022). Aquaculture sustainability through alternative dietary ingredients: Microalgal value-added products. *Engineering microbiology*, 2(4), 100049. <https://doi.org/10.1016/j.engmic.2022.100049>
- Jones, S. W., Karpol, A., Friedman, S., Maru, B. T., & Tracy, B. P. (2020). Recent advances in single cell protein use as a feed ingredient in aquaculture. *Current opinion in biotechnology*, 61, 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.12.026>
- Jusadi, D., Ekasari, J., Suprayudi, M. A., Setiawati, M., & Fauzi, I. A. (2021). Potential of underutilized marine organisms for aquaculture feeds. *Frontiers in marine science*, 7, 609471. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.609471>
- Khan, M. A., Das, S. K., & Bhakta, D. (2018). Food and feeding habits, gastro-somatic index and gonado-somatic index of *Scylla serrata* from Hooghly-Matlah estuary of West Bengal, India. *Journal of the marine biological association of india*, 60(1), 14. <https://doi.org/10.6024/jmbai.2018.60.1.1994-02>
- Lazzarotto, V., Médale, F., Larroquet, L., & Corraze, G. (2018). Long-term dietary replacement of fishmeal and fish oil in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effects on growth, whole body fatty acids and intestinal and hepatic gene expression. *PLoS One*, 13(1), e0190730. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190730>
- Legrand, T. P., Wynne, J. W., Weyrich, L. S., & Oxley, A. P. (2020). A microbial sea of possibilities: current knowledge and prospects for an improved understanding of the fish microbiome. *Reviews in aquaculture*, 12(2), 1101–1134. <https://doi.org/10.1111/raq.12375>

- Li, Y., Kortner, T. M., Chikwati, E. M., Belghit, I., Lock, E. J., & Krogdahl, Å. (2020). Total replacement of fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal does not compromise the gut health of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 520, 734967. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734967>
- Lock, E. J., Biancarosa, I., & Gasco, L. (2018). Insects as raw materials in compound feed for aquaculture. *Edible insects in sustainable food systems*, 263–276. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9_16
- Ma, M., & Hu, Q. (2024). Microalgae as feed sources and feed additives for sustainable aquaculture: prospects and challenges. *Reviews in aquaculture*, 16(2), 818–835. <https://doi.org/10.1111/raq.12869>
- Mackenzie, S. G., Leinonen, I., Ferguson, N., & Kyriazakis, I. (2016). Towards a methodology to formulate sustainable diets for livestock: accounting for environmental impact in diet formulation. *British journal of nutrition*, 115(10), 1860–1874. <https://doi.org/10.1017/S0007114516000763>
- MacLeod, M. J., Hasan, M. R., Robb, D. H., & Mamun-Ur-Rashid, M. (2020). Quantifying greenhouse gas emissions from global aquaculture. *Scientific reports*, 10(1), 11679. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68231-8>
- Mancuso, T., Pippinato, L., & Gasco, L. (2019). The European insects sector and its role in the provision of green proteins in feed supply. *Calitatea*, 20(S2), 374–381. <https://www.researchgate.net/publication/332504133>
- Matassa, S., Papirio, S., Pikaar, I., Hülsen, T., Leijenhof, E., Esposito, G., ... & Verstraete, W. (2020). Upcycling of biowaste carbon and nutrients in line with consumer confidence: the “full gas” route to single cell protein. *Green chemistry*, 22(15), 4912–4929. <https://doi.org/10.1039/D0GC01382J>
- Messeder, T. (2021). *Innovation opportunities in European Aquaculture*. KTN AgriFood and EIT Food. March 2021.
- Mo, W. Y., Cheng, Z., Choi, W. M., Man, Y. B., Liu, Y., & Wong, M. H. (2014). Application of food waste-based diets in polyculture of low trophic level fish: Effects on fish growth, water quality and plankton density. *Marine pollution bulletin*, 85(2), 803–809. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.01.020>
- Nadermann, N., Seward, R. K., & Volkoff, H. (2019). Effects of potential climate change-induced environmental modifications on food intake and the expression of appetite regulators in goldfish. *Comparative biochemistry and physiology part a: molecular & integrative physiology*, 235, 138–147. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2019.06.001>
- Nagappan, S., Das, P., AbdulQuadir, M., Thaher, M., Khan, S., Mahata, C., ... & Kumar, G. (2021). Potential of microalgae as a sustainable feed ingredient for aquaculture. *Journal of biotechnology*, 341, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.09.003>
- Nasser, N., Abiad, M. G., Babikian, J., Monzer, S., & Saoud, I. P. (2018). Using restaurant food waste as feed for Nile tilapia production. *Aquaculture research*, 49(9), 3142–3150. <https://doi.org/10.1111/are.13777>
- Nathanailides, C., Kolygas, M., Choremi, K., Mavraganis, T., Gouva, E., Vidalis, K., & Athanasopoulou, F. (2021). Probiotics Have the Potential to Significantly Mitigate the Environmental Impact of Freshwater Fish Farms. *Fishes*, 6(4), 76. <https://doi.org/10.3390/fishes6040076>
- Nielsen, T. B., Würtz, A. M. L., Tjønneland, A., Overvad, K., & Dahm, C. C. (2022). Substitution of unprocessed and processed red meat with poultry or fish and total and cause-specific mortality. *British Journal of Nutrition*, 127(4), 563–569. <https://doi.org/10.1017/S0007114521001252>

- NOAA Fisheries. (2022). *Climate Resilience and Aquaculture. Fact Sheet 2022*. www.fisheries.noaa.gov/aquaculture
- Ojeda, J. (2021). *Can sustainable aquaculture help to achieve the UN SDGs?* 17 August, 2021. <https://www.eitfood.eu/blog/can-sustainable-aquaculture-help-to-achieve-the-un-sdgs>
- Onomu, A. J., & Okuthe, G. E. (2024). The Role of Functional Feed Additives in Enhancing Aquaculture Sustainability. *Fishes*, 9(5), 167. <https://doi.org/10.3390/fishes9050167>
- Oscar, E. V., Joshua, E. O., Felix, E., & Eyerituvie, A. F. (2020). A Review on the Application and Benefits of Probiotics Supplements in Fish Culture. *Oceanography & Fisheries Open Access Journal*, 11(4), 62–65. <https://doi.org/10.19080/OFOAJ.2020.11.555817>
- Parker, L. M., Scanes, E., O'Connor, W. A., Dove, M., Elizur, A., Pörtner, H. O., & Ross, P. M. (2024). Resilience against the impacts of climate change in an ecologically and economically significant native oyster. *Marine pollution bulletin*, 198, 115788. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115788>
- Pombo, A., Baptista, T., Granada, L., Ferreira, S. M., Gonçalves, S. C., Anjos, C., ... & Costa, J. L. (2020). Insight into aquaculture's potential of marine annelid worms and ecological concerns: a review. *Reviews in aquaculture*, 12(1), 107–121. <https://doi.org/10.1111/raq.12307>
- Porteus, C. S., Hubbard, P. C., Uren Webster, T. M., van Aerle, R., Canário, A. V., Santos, E. M., & Wilson, R. W. (2018). Near-future CO2 levels impair the olfactory system of a marine fish. *Nature climate change*, 8(8), 737–743. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0224-8>
- Puvanasundram, P., Chong, C. M., Sabri, S., Yusoff, M. S., & Karim, M. (2021). Multi-strain probiotics: Functions, effectiveness and formulations for aquaculture applications. *Aquaculture reports*, 21, 100905. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100905>
- Qiu, X., Neori, A., Kim, J. K., Yarish, C., Shpigel, M., Guttman, L., ... & Davis, D. A. (2018). Evaluation of green seaweed *Ulva* sp. as a replacement of fish meal in plant-based practical diets for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal of applied phy-cology*, 30, 1305–1316. <https://www.researchgate.net/publication/320042463>
- Ragaza, J. A., Hossain, M. S., Koshio, S., Ishikawa, M., Yokoyama, S., Kotzamanis, Y., ... & Kumar, V. (2021). Brown seaweed (*Sargassum fulvellum*) inclusion in diets with fish-meal partially replaced with soy protein concentrate for Japanese flounder (*Paralich-thys olivaceus*) juveniles. *Aquaculture nutrition*, 27(4), 1052–1064. <https://doi.org/10.1111/anu.13246>
- Rasidi, R., Jusadi, D., Setiawati, M., Yuhana, M., Zairin Jr, M., & Sugama, K. (2021). Dietary Supplementation of humic acid in the Feed of juvenile asian seabass, *Lates calcarifer* to counteract possible negative effects of Cadmium Accumulation on Growth and Fish Well-being when Green Mussel (*Perna viridis*) is used as a Feed ingredient. *Aq-uaculture research*, 52(6), 2550–2568. <https://doi.org/10.1111/are.15104>
- Reid, G. K., Gurney-Smith, H., Marcogliese, D. J., Knowler, D., Benfey, T., Garber, A. F., Forster, I., Chopin, T., Brewer-Dalton, K., Moccia, R. D., Flaherty, M. S., Smith, C. T., de Silva, S. (2019). Climate change and aquaculture: considering biological response and resources. *Aquaculture environment interactions*, 11, 569–602. <https://doi.org/10.3354/aei00332>
- Rimoldi, S., Torrecillas, S., Montero, D., Gini, E., Makol, A., Valdenegro, V. V. et al. (2020). Assessment of dietary supplementation with galactomannan oligosaccharides and phyto-genics on gut microbiota of European sea bass (*Dicentrarchus Labrax*) fed low fishmeal and fish oil based diet. *PLoS ONE* 15(4), e0231494. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231494>

- Ritala, A., Häkkinen, S. T., Toivari, M., & Wiebe, M. G. (2017). Single cell protein – state-of-the-art, industrial landscape and patents 2001–2016. *Frontiers in microbiology*, 8, 2009. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02009>
- Sandblom, E., Gräns, A., Axelsson, M., & Seth, H. (2014). Temperature acclimation rate of aerobic scope and feeding metabolism in fishes: implications in a thermally extreme future. *Proceedings of the royal society b: biological sciences*, 281(1794), 20141490. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1490>
- Sarker, P. K. (2023). Microorganisms in fish feeds, technological innovations, and key strategies for sustainable aquaculture. *Microorganisms*, 11(2), 439. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020439>
- Sarker, P. K., Fournier, J., Boucher, E., Proulx, E., de la Noüe, J., & Vandenberg, G. W. (2011). Effects of low phosphorus ingredient combinations on weight gain, apparent digestibility coefficients, non-fecal phosphorus excretion, phosphorus retention and loading of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animal feed science and technology*, 168, 241–9. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.086>
- Sarker, P. K., Kapuscinski, A. R., McKuin, B., Fitzgerald, D. S., Nash, H. M., & Greenwood, C. (2020). Microalgae-blend tilapia feed eliminates fishmeal and fish oil, improves growth, and is cost viable. *Scientific reports*, 10(1), 19328. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75289-x>
- Šelo, G., Planinić, M., Tišma, M., Tomas, S., Koceva Komlenić, D., & Bucić-Kojić, A. (2021). A comprehensive review on valorization of agro-food industrial residues by solid-state fermentation. *Foods*, 10(5), 927. <https://doi.org/10.3390/foods10050927>
- Sepulveda, J., & Moeller, A. H. (2020). The effects of temperature on animal gut microbiomes. *Frontiers in microbiology*, 11, 384. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00384>
- Shahin, S., Okomoda, V. T., Ma, H., & Ikhwanuddin, M. (2023). Sustainable alternative feed for aquaculture: state of the art and future perspective. *Planetary sustainability*, 1(1), 62–96. <https://www.researchgate.net/publication/373874626>
- Sharma, J., Singh, S. P., & Chakrabarti, R. (2017). Effect of temperature on digestive physiology, immune-modulatory parameters, and expression level of Hsp and LDH genes in *Catla catla* (Hamilton, 1822). *Aquaculture*, 479, 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.05.031>
- Siikavuopio, S.I., James, P., Lysne, H., & Saather, B. J. (2012). Effects of size and temperature on growth and feed conversion of juvenile green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*). *Aquaculture*, 354–355, 27–30. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.036>
- Smáráson, B. Ö. (2023). Why are sustainable feed need? Eit Food. 01.07.2023. <https://www.eitfood.eu/blog/fish-feed-why-we-need-sustainable-alternatives>
- Stumpp, M., Hu, M., Casties, I., Saborowski, R., Bleich, M., Melzner, F., & Dupont, S. (2013). Digestion in sea urchin larvae impaired under ocean acidification. *Nature climate change*, 3(12), 1044–1049. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE2028>
- Tait, J. (2021). New approach to feed production can transform climate impact of industries including fish farming. <https://www.sps.ed.ac.uk/news-events/news/new-approach-feed-production-can-transform-climate-impact-industries-including>
- Tocher, D. R., Betancor, M. B., Sprague, M., Olsen, R. E., & Napier, J. A. (2019). Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, EPA and DHA: Bridging the gap between supply and demand. *Nutrients*, 11(1), 89. <https://doi.org/10.3390/nu11010089>

- Trinh, L. T., Bakke, I., & Vadstein, O. (2017). Correlations of age and growth rate with microbiota composition in Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae. *Scientific reports*, 7(1), 8611. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09073-9>
- Van Doan, H., Hoseinifar, S. H., Tapingkae, W., Seel-Audom, M., Jaturasitha, S., Dawood, M. A., & Esteban, M. Á. (2020). Boosted growth performance, mucosal and serum immunity, and disease resistance Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings using corn-cob-derived xylooligosaccharide and *Lactobacillus plantarum* CR1T5. *Probiotics and antimicrobial proteins*, 12, 400–411. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100953>
- Vieira, L., Filipe, D., Amaral, D., Magalhães, R., Martins, N., Ferreira, M., ... & Peres, H. (2023). Solid-state fermentation as green technology to improve the use of plant feedstuffs as ingredients in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Animals*, 13(17), 2692. <https://doi.org/10.3390/ani13172692>
- Volkoff, H. (2019). Feeding and its regulation. In *Climate change and non-infectious fish disorders* (pp. 87–101). Wallingford UK: CABI. <https://doi.org/10.1079/9781786393982.0087>
- Warwas, N. (2023). *Novel Marine Ingredients for Aquaculture - Fish Nutrition, Physiology and Intestinal Health*. Doctoral thesis, University of Gothenburg Faculty of Science, Department of Biological and Environmental Sciences. Institutionen för biologi och miljövetenskap. ISBN 978-91-8069-513-8 978-91-8069-514-5
- Widanarni, W., Taufik, A., Yuhana, M., & Ekasari, J. (2019). Dietary mannan ligosaccharides positively affect the growth, digestive enzyme activity, immunity and resistance against vibrio harveyi of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) larvae. *Turkish journal of fisheries and aquatic sciences*, 19, 271–278. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v19_4_01
- Wilfart, A., Garcia-Launay, F., Terrier, F., Soudé, E., Aguirre, P., & Skiba-Cassy, S. (2023). A step towards sustainable aquaculture: Multiobjective feed formulation reduces environmental impacts at feed and farm levels for rainbow trout. *Aquaculture*, 562, 738826.
- Yadav, S., & Jha, R. (2019). Strategies to modulate the intestinal microbiota and their effects on nutrient utilization, performance, and health of poultry. *Journal of animal science and biotechnology*, 10, 1–11. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0310-9>
- Yousefi, M., Ghafarifarsani, H., Hoseinifar, S. H., Rashidian, G., & Van Doan, H. (2021). Effects of dietary marjoram, *Origanum majorana* extract on growth performance, hematological, antioxidant, humoral and mucosal immune responses, and resistance of common carp, *Cyprinus carpio* against *Aeromonas hydrophila*. *Fish & shellfish immunology*, 108, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.11.019>
- Zengin, M., Sur, A., İlhan, Z., Azman, M. A., Tavşanlı, H., Esen, S., Bacaksız, O. K., Demir, E. (2022). Effects of fermented distillers grains with solubles, partially replaced with soybean meal, on performance, blood parameters, meat quality, intestinal flora, and immune response in broiler. *Research in veterinary science*, 150, 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.06.027>
- Zhang, Z., Liu, H., Jin, J., Zhu, X., Han, D., & Xie, S. (2024). Towards a low-carbon footprint: Current status and prospects for aquaculture. *Water biology and security*, 3, 1–15, 100290. <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2024.100290>
- Ziv-Douki, H. (2020). Combining strengths for greater impact. *Cargill aqua nutrition sustainability report 2020. Healthy seafood for future generations*. <https://www.cargill.com/doc/1432196768685/cargill-aqua-nutrition-sustainability-report-2020.pdf>



Funded by
the European Union



Skaitmeninė mėlynoji karjera įveikus anglies krizę – akvakultūros mokymo programos naujovės [DiBluCa]
2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

5 skyrius. Ligos akvakultūroje klimato kaitos kontekste ir apsaugos priemonės

Doc. dr. Gražina Žibienė

Alvydas Žibas, Akvakultūros centro vadovas

Vytauto Didžiojo universitetas, Lietuva

Išvadas

Klimato kaita vyksta nuolat ir daro įtaką vandens aplinkai (gėlo, sūraus ir druskėto vandens ekosistemoms): didėja jo temperatūra, keičiasi lygis ir srauto režimas, skatindama eutrofikaciją, rūgštėjimą, maistinių medžiagų srautų pokyčius, ultravioletinių (UV) spindulių skvarbos padidėjimą, buveinių mažėjimą ir nykimą bei didindama terminį stresą ir rūšių paplitimo pokyčius.

Aplinkos kintamieji, tokie kaip temperatūra, druskingumas bei lėtinis ištirpusio deguonies trūkumas, daro poveikį gleivinių barjerams, epiteliumi, imuninėms ląstelėms ir vidinei aplinkai (t. y. kūno skysčiams, ląstelėms, audiniams ir organams) vandens organizmuose. Šie pokyčiai silpnina akvakultūros organizmų imuninę atsaką, lemia prastesnį augimą ir mažesnį reprodukcinį efektyvumą.

Klimato kaita taip pat gali neigiamai paveikti žuvų energijos atsargas, prisidėti prie oksidacinio streso padidėjimo ir sumažinti šiluminį atsparumą (Woo & Iwama, 2019).

Apskaičiuota, kad, norint išlaikyti dabartinę žmonijos jūrų gėrybių vartojimo lygį, akvakultūra iki 2030 m. turės pagaminti daugiau nei 80 mln. tonų produkcijos. Tai reiškia, kad per mažiau nei penkiolika metų reikės papildomai užauginti apie 30 mln. tonų jūrų gėrybių. Tikėtina, kad nėra pakankamai žemės ar tinkamų jūrų

plotų tam pasiekti be esminių daugelio ekosistemų sutrikdymo. Tačiau apie 40 proc. visos akvakultūros produkcijos prarandama dėl ligų, kaip plačiau apibūrinama toliau. Taigi, pašalinus arba sumažinus ligų poveikį, žmonija galėtų beveik visiškai patenkinti jūrų gėrybių poreikį nekeisdama žemės naudojimo praktikos (Lucas et al., 2019).

Prognozuojama, kad iki 2030 m. pasaulio vidutinė oro temperatūra padidės 0,5–1,5 °C, o poveikio intensyvėjimas tikėtinas peržengus 1–2 °C temperatūros augimą. Iki 2100 m. prognozuojama, kad pasaulio vandenynų temperatūra iki 100 m gylyje pakils 0,6–2,0 °C. Dėl šiluminės plėtimosi savybės bei ledynų ir ledo skydų tirpimo labai tikėtinas pasaulio jūros lygio padidėjimas 10–35 cm iki 2050 m. Klimato kaita taip pat lėmė ekstremalių orų reiškinių, tokių kaip audros ir sausros, dažnėjimą. Iki 2050 m. ekstremalūs orai gali kainuoti iki 1 proc. pasaulinio bendrojo vidaus produkto (BVP) per metus. Apie 20–35 proc. CO₂ emisijų sugeria vandenynai, o tai lemia jų rūgštėjimą.

Pasaulinis atšilimas didina ligų paplitimą ir intensyvumą. Padidėjusi vandens temperatūra spartina patogenų augimą ir dauginimąsi, o tai lemia dažnesnius ir sunkesnius ligų protrūkius akvakultūroje. Dėl aukštesnės temperatūros paspartėja daugelio vandens patogenų gyvavimo ciklai, tad didėja jų paplitimas ir virulentiškumas. Bakterijos, virusai ir parazitai gali tapti agresyvesni arba išvystyti atsparumą gydymui. Dauguma akvakultūros rūšių turi siaurą šiluminės tolerancijos diapazoną. Aukštesnė temperatūra silpnina jų imuninę sistemą, todėl jos tampa jautresnės infekcijoms. Šiltesnis vanduo gali sudaryti sąlygas tropiniams ir subtropiniams patogenams išplisti į vidutinio klimato regionus, kur gali kilti naujų ligų grėsmių.

Klimato kaitos pasekmės ateities akvakultūrai bus skaudžios. Dėl dažnėjančių sausrų ir ekstremalių orų tikėtini trikdžiai tvenkinių ūkiuose. Be to, mažėjantis derlingumas ir didėjanti paklausa, susijusi su gyventojų ir ekonomikos augimu, lems pagrindinių žemės ūkio kultūrų, naudojamų pašarams, trūkumą ir kainų augimą. Dėl jūros lygio kilimo ir ekstremalių orų padidės pakrančių zonoje įrengtų akvakultūros objektų pažeidžiamumas, ypač Azijoje, kur yra gausi akvakultūros infrastruktūra, įskaitant krevečių ir žuvų tvenkinius, moliuskų plūdurus ir žuvų narvus.

Vandenynų rūgštėjimas kels grėsmę pakrančių dvigeldžių moliuskų akvakultūros tvarumui. Dėl klimato kaitos, tikėtina, padidės akvakultūros neatsparumas ligoms (Lucas et al., 2019). Padidėjęs CO₂ kiekis lemia vandenynų rūgštėjimą, kuris veikia kalcifikuojančius organizmus, tokius kaip moliuskai ir koralai. Rūgštinės sąlygos silpnina jų kriaukles ir skeletus, todėl jie tampa jautresni ligoms ir aplinkos stresui. Dėl rūgštėjimo gali kisti vandens ekosistemų sudėtis ir būseną, potencialiai

paveikiant rūšis, kurios priklauso nuo tokių buveinių, įskaitant akvakultūros organizmus.

Dėl pasaulinio atšilimo gali pakisti druskingumas dėl pakitusio kritulių režimo ir padidėjusio gėlo vandens nutekėjimo. Akvakultūros rūšims tai gali sukelti osmosinį stresą, padidinti jautrumą ligoms ir sumažinti augimą. Druskingumo pokyčiai taip pat veikia tam tikrų patogenų paplitimą ir ligų eigą, todėl reikia koreguoti valdymo priemones. Padidėjęs maistinių medžiagų nuotėkis iš žemės ūkio ir urbanizuotų teritorijų gali sukelti eutrofikaciją, sąlygojančią dumblių žydėjimą ir hipoksines sąlygas. Šie pokyčiai blogina vandens kokybę ir sudaro palankias sąlygas ligų protrūkiams.

Pasaulinis atšilimas gali skatinti kenksmingų dumblių žydėjimą (KDŽ). Kai kurios dumblių rūšys išskiria toksinus, tiesiogiai kenksmingus akvakultūros rūšims arba sudarančius palankias sąlygas patogenams plisti. Ekstremalūs oro reiškiniai, tokie kaip audros ar potvyniai, gali fiziškai pažeisti akvakultūros infrastruktūrą ir lemti staigius vandens kokybės pokyčius. Tokie stresoriai silpnina akvakultūros rūšių sveikatą ir didina jų neatsparumą ligoms.

Dėl pasaulinio atšilimo gali pakisti vandens patogenų paplitimas ir įvairovė. Nauji arba anksčiau reti patogenai gali tapti dažnesni, keldami naujų iššūkių ligų valdymui akvakultūroje.

Kiti klimato kaitos poveikiai, tokie kaip hipoksija, rūgštėjimas ir druskingumo pokyčiai, gali dar labiau sustiprinti stresą ir pakenkti imuninėms funkcijoms. Dėl pasaulinio atšilimo gali pakisti parazitų ir šeiminių gyvavimo ciklai bei sąveikos, o tai gali lemti naujų ligų pernešėjų ir perdavimo būdų atsiradimą. Akvakultūros ūkiai turės prisitaikyti prie besikeičiančio patogenų peizažo, diegdami atnaujintas ligų stebėsenos ir valdymo strategijas.

5.1. Dažniausios ligos ir jų poveikis vandens organizmams

Ligos akvakultūroje: klasifikacija ir požymiai

Įvadas į akvakultūros ligas

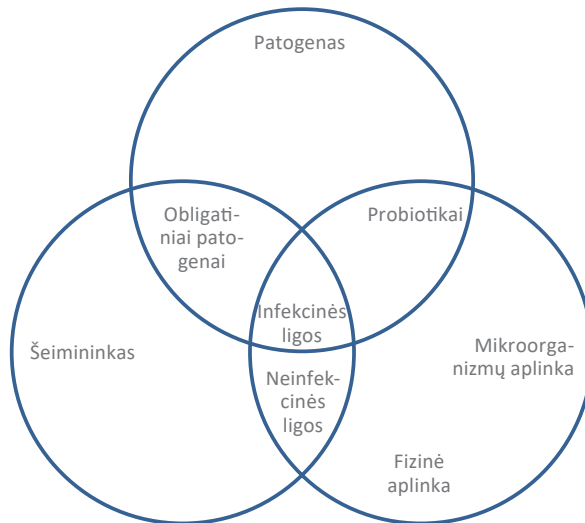
Liga – tai organizmo reakcija į nepalankius išorinės aplinkos veiksnius. Dėl šių veiksnių sutrinka normali organizmo veikla ir sumažėja prisitaikymo galimybės. Tuo pačiu metu aktyvuojamos organizmo gynybinės funkcijos.

Ligos pasižymi tam tikrais klinikiniais reiškiniais, simptomais, atitinkamais organizmo audinių struktūros pažeidimais ir jų funkcijų sutrikimais.

Sneizko trijų žiedų (Veno diagramos) modelis, vaizduojantis sąveiką tarp šeimininko (akvakultūros rūšies), patogeno ir aplinkos (5.1 pav.), iliustruoja, kad dauguma infekcinių ligų kyla esant trijų veiksnių sąveikai:

- patogenas,
- šeimininkas,
- aplinka.

Neinfekcinės ligos kyla tik sąveikaujant šeimininkui ir aplinkai. Sritis, kurioje sutampa patogeno ir šeimininko veiksniai, žymi privalomuosius patogenus – pavojingiausią grupę, nes šiems ligą sukeliantiems mikroorganizmams nereikia aplinkos streso, kad išsivystytų klinikinė liga (Lucas et al., 2019).



5.1 pav. Modifikuotas Sneizko trijų žiedų modelis, vaizduojantis šeimininko, patogeno ir aplinkos sąveiką (Lucas et al., 2019)

Elgesio ir fiziniai sutrikimai

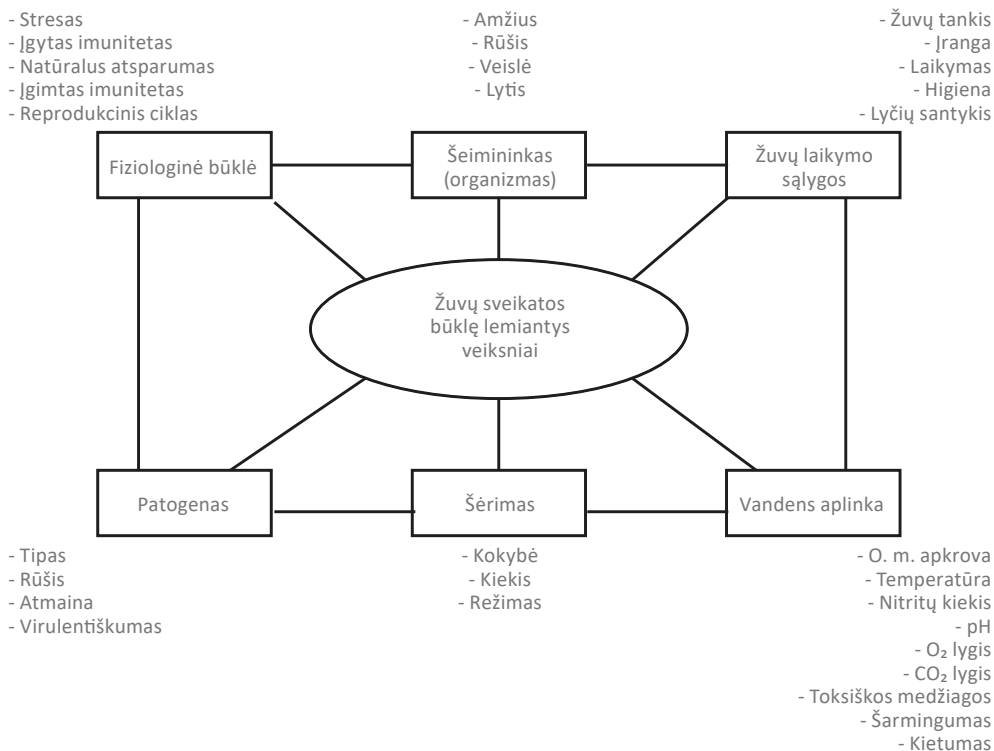
Nenormalus elgesys dažnai yra pirmasis požymis, rodantis artėjančią žuvų sveikatos problemą. Specialistai turi būti gerai susipažinę su žuvų rūšimis būdingu normaliu elgesiu ir išvaizda. Būtina atidžiai stebėti visus elgesio aspektus, įskaitant maitinimosi, plaukiojimo aktyvumą bei reakciją į staigius judesius. Žuvininkystės ūkio darbuotojai turi išmokti atpažinti elgesio niuansus. Sveikos žuvys demonstruoja „normalų“ elgesį. 5.1 lentelėje pateikiami žuvų elgesio ir fiziniai nukrypimai,

galintys byloti apie stresą ar ligą. Šie požymiai padeda nustatyti galimą problemos priežastį (Timmons & Ebeling, 2013).

5.1 lentelė. Žuvų elgsenos ir fiziniai streso ir ligos požymiai (Timmons & Ebeling, 2013)

Žuvų elgsensys	Stebimi ženklai
Judėjimas	Silpnas, nekoordinuotas arba vangus plaukiojimas Padidėjusi arba sumažėjusi reakcija į išorinius dirgiklius, pavyzdžiui, garsą ar judesį Trynimasis, švytėjimas ar kūno trynimasis į rezervuaro sienelės ar dugną Trūkčiojimas, staigus šuoliavimas, sukimasis ar šokimas iš vandens Būrimasis prie įtekančio vandens vietos Plaukiojimas aukštyje pilvu Trūkčiojantis kvėpavimas vandens paviršiuje
Maitinimasis	Visiškas maitinimosi nebuvimas Sumažėjęs ėdimas (nustatomas tiek stebint, tiek pagal augimo kreives)
Kvėpavimas	Padidėjęs arba sumažėjęs žiaunų dangtelių judėjimo greitis
Fizinė būklė	Drumzlinos akys Iššokusios akys Žiaunos patinusios, baltos, rausvos arba blyškiai raudonos, pažeistos, paburkusios, kraujuojančios, rudos spalvos Žvynų netekimas Paburkęs pilvas Perteklinės gleivės ant odos ir / arba žiaunų (taip pat patikrinti rezervuaro sienelės) Dėmės arba grybelis ant odos Neįprasta kūno spalva, įskaitant paraudusias, patinusias vietas, pilkas arba geltonas žaizdeles Atviri žiaunadangčiai Nudraskytos peleky ar uodegos kraštinės Burbuliukai akyse arba ant odos

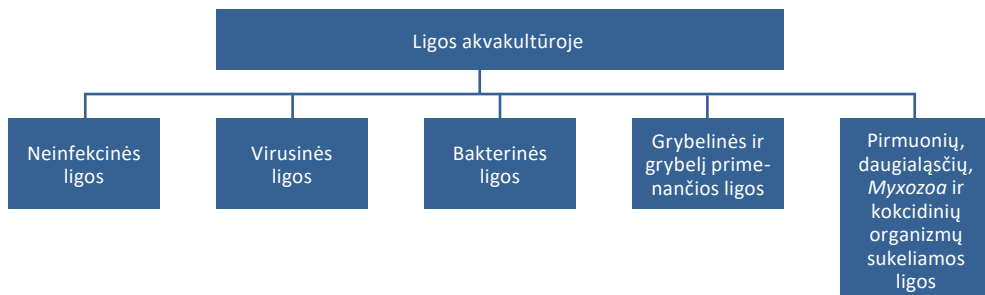
Žuvis, auginamos akvakultūros sistemose, susiduria su įvairaus pobūdžio stresoriais, kuriuos galima suskirstyti į abiotinius ir biotinius veiksnus. Abiotinių stresorių poveikį auginamų žuvų sveikatai įvertinti itin sudėtinga (5.2 pav.). Kai kurie biotiniai veiksniai gali būti lengvai kontroliuojami, o kruopštus tam tikrų biotinių veiksnių valdymas gali padėti sėkmingai užkirsti kelią ligoms arba bent jau sumažinti nuostolius, patiriamus dėl ligų akvakultūroje (Jeney, 2017).



5.2 pav. Veiksniai, turintys įtakos žuvų sveikatos būklei (Jeney, 2017)

Akvakultūros ligų klasifikacija

Akvakultūros ligas galima suskirstyti į kelias grupes: neinfekcines ligas, virusines ligas, bakterijų sukeltas ligas, grybelių ir į grybelius panašių organizmų sukeltas ligas ir parazitų (pirmuonių, metazojų ir miksozojų, koccidijų ir kt.) sukeltas ligas (5.3 pav.).



5.3 pav. Akvakultūros ligų klasifikacija

Išsamios informacijos apie ligas, etiologiją, signalus, rizikos veiksnius, valdymą ir prevenciją galima rasti specializuotuose šaltiniuose, knygoje, duomenų bazėse:

- Klinikinis žuvų medicinos vadovas. (2021). In Wiley eBooks.
- Noga, E. J. (2010). Žuvų ligos: diagnostika ir gydymas. John Wiley & Sons.
- <http://afs-fhs.org/bluebook/bluebook-index.php>. Žuvų sveikatos skyrius BLUE BOOK, 2014 m. leidimas. Siūlomos tam tikrų žuvų ir vėžiagyvių patogenų aptikimo ir identifikavimo procedūros.
- <http://www.thefishsite.com/diseaseinfo/>.
- https://www.dnr.state.mn.us/fish_diseases/index.html.

5.2 ir 5.3 lentelėse pateikiami dažniausiai pasitaikantys auginamų žuvų išorinių ar vidinių pažeidimų, rodančių ligas, pavyzdžiai.

Neinfekcinės ligos

Neinfekcinės ligos susijusios su vandens kokybe (mažas ištirpusio deguonies kiekis, dujų persotinimas, barotrauma, temperatūrinis stresas, pH stresas, amoniako, nitritų, nitratų, chloro, sunkiųjų metalų, vandenilio sulfido, pesticidų ir kt. toksikumas) arba atsiranda dėl kitų priežasčių (traumos, fizinio krūvio miopatija, šoninės linijos depigmentacija, skydliaukės hiperplazija, mukometra ir kiaušidžių cistos, ikrų sulaikymas arba surišimas, distocija, katarakta, lipidų keratopatija, mikroelementų trūkumas, virškinamojo trakto svetimkūniai ir neoplazija) (Clinical Guide to Fish Medicine, 2021).

Infekcinės ligos pagal patogenų tipus

Virusinės ligos

Dauguma žinomų žuvų virusinių ligų sukėlėjų priklauso trimis šeimoms:

- *Herpesviridae*, *Rhabdoviridae* ir *Iridoviridae*.

Šios žuvų virusinės ligos yra pavojingiausios ir apie jas reikia pranešti OIE (Pasaulio gyvūnų sveikatos organizacijai), regioninėms ir nacionalinėms organizacijoms, atsakingoms už gyvūnų ligas (Clinical Guide to Fish Medicine, 2021):

- Koi herpeso virusas,
- virusinė hemoraginė septicemija,
- infekcinė kraujodaros nekrozė,
- pavasarinė karpų viremija,
- epizootinė hematopoetinė nekrozė,
- raudonpelekių ešerių iridovirusas,

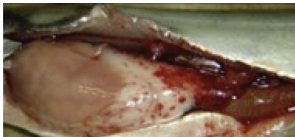
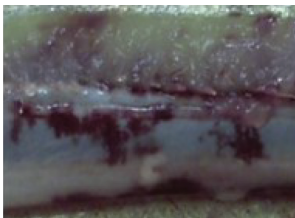
- infekcinė lašišų anemija,
- lašišinių žuvų alfa virusas.

5.2 lentelė. Dažniausiai pasitaikančių išorinių pažeidimų, rodančių auginamų žuvų ligas, pavyzdžiai (Jeney, 2017)

Neįprasti požymiai	Galimos ligos priežastys
	Dauginės arba susiliejusios kraujosruvos ant kūno rodo sisteminę virusinę ir / arba bakterinę infekciją arba stiprų išorinį parazitavimą
	Išplitusios kraujosruvos ir kraujuojanti analinė anga rodo sisteminę, poūmę virusinę ir / arba bakterinę infekciją
	Pūlinys (furunkulas) rodo galimą užsikrėtimą <i>Aeromonas salmonicida</i>
	Gilios hemoraginės opos rodo galimą bakterinę infekciją
	Pelekų erozija ir gili opa uodegos srityje rodo galimą flavobakterinę infekciją
	Egzoftalmija (akies išsipūtimas) su kraujosruva akyje rodo sisteminę virusinę ir / arba bakterinę infekciją
	Ryškiai išblyškusios žiaunos rodo galimą anemiją, kurią galėjo sukelti virusinė arba bakterinė infekcija

Neįprasti požymiai	Galimos ligos priežastys
	Žiaunos su ryškiais audinių praradimo požymiais rodo flavobakterinę infekciją ir kai kurias virusines ligas (pavyzdžiui, Koi herpeso virusą)

5.3 lentelė. Dažniausiai pasitaikančių auginamų žuvų vidaus pažeidimų, rodančių ligas, pavyzdžiai (Jeney, 2017)

Neįprasti požymiai	Galimos ligos priežastys
	Skysčių sankaupa pilvo ertmėje rodo sisteminę bakterinę ir / arba virusinę ligą
	Kraujosruvos visceraliniuose riebaluose rodo galimą mitybos nepakankamumą arba sisteminę virusinę / bakterinę infekciją
	Daugybiniai balkšvi mazgeliai kepenyse rodo granuliozines ligas, tokias kaip mikobakteriozė, bakterinė inkstų liga ar <i>Piscirickettsia salmonis</i> sukeliama liga. Tokius pačius pažeidimus gali sukelti ir lervinių trematodų metacerkarijų cistos
	Hemoraginis žarnyno uždegimas rodo galimą toksikozę arba enterinę raudonosios burnos ligą, kurią sukelia <i>Yersinia ruckeri</i>
	Kraujosruvos plaukiojamojoje pūslelėje rodo sisteminę virusinę ir / arba bakterinę ligą

Neįprasti požymiai	Galimos ligos priežastys
	Balkšvi mazgeliai inkstų parenchimoje rodo galimą bakterinę inkstų ligą

Bakterinės ligos

Daugumą bakterinių žuvų ligų sukelia oportunistinės gramneigiamos lazdelių formos bakterijos. Taip pat aprašytos reikšmingos gramteigiamos bakterinės infekcijos, tokios kaip *Streptococcus* ir *Renibacterium* spp.; *Mycobacterium* spp. irgi gali būti nudažomos Gramo būdu. Sergamumas ir mirtingumas dažnai yra antriniai ir susiję su stresoriais. Dažniausiai pasitaiko sisteminės infekcijos, nors gali pasireikšti ir lokalūs pažeidimai. Klinikiniai požymiai dažnai yra nespecifiniai, todėl galutinei diagnozei būtini papildomi laboratoriniai tyrimai.

Antibiotikų skyrimas turėtų būti grindžiamas bakteriologinio pasėlio ir jautrumo antibiotikams tyrimų rezultatais (Clinical Guide to Fish Medicine, 2021).

Grybelinės ir į jas panašios ligos

Žuvis yra jautrios įvairioms grybelinėms ir jas primenančioms ligoms. Dažniausi patogenai – oomicetai, *Exophiala* spp., *Fusarium* spp., mikrosporidijos ir *Mesomycetozoea*.

Oomycota (saprolegniozė), dar vadinami oomicetais arba vandens pelėsiais, yra grybelį primenantys organizmai, galintys pažeisti žuvų odą ar žiaunas, taip pat ikrus ar bet kokią irti pradėjusią organinę medžiagą:

- dažni oportunistiniai gėlavandenių ir sūrokame vandenyje gyvenančių žuvų patogenai, ypač svarbūs akvakultūroje auginamoms šamų rūšims;
- infekcija dažniausiai išsivysto antriniu būdu po traumos arba esant temperatūriniam stresui;
- tipinius oomicetus galima gydyti medicininėmis priemonėmis ir taikant tinkamą ūkininkavimo praktiką, tačiau ligos atsinaujinimas yra dažnas reiškinys;
- netipiniai oomicetai pasižymi didesniu invazyvumu ir sukelia sunkų lėtinį uždegimą;
- *Aphanomyces invadans* – tai netipinis oomicetas, galintis sukelti sezonines epizootijas tarp laukinių ir akvakultūroje auginamų gėlavandenių bei sūrokų vandenų žuvų.

Pirmuonių, daugialąsčių, Myxozoa ir kokcidinių sukeltos ligos

Ichthyophthirius multifiliis – tai blakstienuotasis pirmuonis ektoparazitas, infekuojantis gėlavandenių spindeliakiaulių žuvų odą ir žiaunas. Ši liga dažnai vadinama gėlavandeniu „ichu“ arba baltųjų dėmių liga.

Metazoa yra daugialąsčiai eukariotiniai organizmai. *Monogenea* – tai plokščiosios kirmėlės (plaukagalviai), dažni žuvų ektoparazitai. Kapsalidai – tai stambios, ovalo formos, kiaušinius dedančios *Monogenea*, infekuojančios jūrų žuvų odą, akis ir žiaunas. Dėlės – tai kraują siurbiantys daugialąsčiai parazitai, dažnai matomi ant odos ir pelekų.

Myxozoa – dažni laukinėje gamtoje sugautų žuvų ir tvenkiniuose auginamų žuvų parazitai. Dauguma šių parazitų pasižymi netiesioginiu gyvavimo ciklu, kuriame dažniausiai dalyvauja mažasėrės, daugiasėrės kirmėlės ir samangyviai.

Pagrindinės moliuskų, vėžiagyvių ligos

Pasauliniu mastu pirmuonys yra reikšmingiausia dvigeldžių moliuskų pramonės nuostolių priežastis. Šis pirmuonių dominavimas atsispindi ir moliuskų augintojams skirtame ligų vadove (Elston, 1990). Iš vienuolikos vadove aprašytų „Svarbių austrių ligų“ net septynias sukelia pirmuonys:

- *Perkinsus marina*;
- *Haplosporidium nelsoni*;
- *Haplosporidium costalis*;
- *Bonamia mackini*;
- *Bonamia ostrea*;
- *Marteilia refringens*;
- *Hexamita nelsoni*.

Tačiau ligas moliuskams sukelia ne tik pirmuonys – virusai ir bakterijos taip pat atlieka svarbų vaidmenį. Virusai yra sukėlę didelius jaunikių mirtingumo protrūkius perėjimo cechuose ir reikšmingas augimo problemas jūrinėje krevečių akvakultūroje.

Iki šiol labiausiai niokojantis žinomas virusas yra baltų dėmių sindromo virusas (WSSV) (Lucas et al., 2019).

Patogenų plitimo ir gydymo būdai

Patogenų plitimas priklauso nuo populiacijos tankio, todėl jam įtaką daro žuvų tankis auginimo sistemoje. Egzistuoja ryšys: kuo didesnis tankis, tuo mažesnis atstumas tarp individų. Tai didina tikimybę, kad patogenai sėkmingai įveiks atstumą tarp šeimininkų ir išliks gyvybingi.

Nejudrūs patogenai, tokie kaip virusai, nejudrios bakterijos, sporiniai pirmuonys ar parazitų kiaušinėliai, daugiausia plinta pagal difuzijos dėsnius. Esant stovinčiam vandeniui, aplink užkrėstą individą susiformuoja patogenų koncentracijos gradientas.

Kiti patogenai, tokie kaip bakterijos, grybelio zoosporos, pirmuonys ir daugialaščiai parazitai, dažniausiai pasižymi aktyviu, tačiau nevienodu judėjimu. Didėjant atstumui, mažiau patogenų pasiekia jautresius šeimininkus ir geba inicijuoti arba tęsti infekcijos protrūkį.

Kadangi aplinkoje patogenai palaipsniui nyksta, jei jie nepasiekia jautraus šeimininko per tam tikrą laiką, naujos infekcijos tikimybė tampa beveik lygi nuliui (Lucas et al., 2019).

Monokultūrų auginimas akvakultūroje pašalina rūšies, kuri auginama, natūralius plėšrūnus ir konkurentus. Kartu pašalinama ir daug natūralių jos grobio rūšių. Pašalinus kartu gyvenančius organizmus, iš ekosistemos eliminuojami tiek tarpiniai, tiek galutiniai šeimininkai. Tai efektyviai nutraukia daugelio daugiašeimininkių helmintų (pavyzdžiui, *Diginea ar kaspinočių*) gyvavimo ciklus, todėl jų vaidmuo ligų sukėlime akvakultūroje yra daug mažesnis nei laukinėse populiacijose.

Varžos jūrose yra kur kas mažiau efektyvūs nutraukiant šiuos gyvavimo ciklus nei tvenkiniai ar recirkuliacinės sistemos (Lucas et al., 2019).

Dėl pasaulinio atšilimo gali pasikeisti patogenų paplitimas ir dažnis, nes pasikeis aplinkos sąlygos ir bus sutrikdytos ekosistemos. Gali atsirasti naujų patogenų arba anksčiau retai pasitaikę patogenai gali tapti dažnesni. Akvakultūros rūšys gali susidurti su naujais ar agresyvesniais patogenais, prie kurių nėra prisitaikiusios. Tai didina ligų protrūkių riziką ir apsunkina jų valdymą.

Žuvų ligų gydymo metodai

Įvairūs gydymo metodai ir vaistų taikymo būdai padeda kontroliuoti žuvų ligas, kaip aprašyta Parker (2011) darbuose.

Pamirkomasis gydymas. Naudojamas stiprios koncentracijos cheminės medžiagos tirpalas trumpą laikotarpį. Šis metodas gali būti pavojingas, nes naudojami tirpalai yra labai koncentruoti, o skirtumas tarp efektyvios ir žuvims žalingos dozės

dažnai būna labai mažas. Paprastai žuvys įdedamos į tinklą ir trumpam – dažniausiai 15–45 sekundėms – panardinamos į stiprų cheminį tirpalą. Laikas priklauso nuo cheminės medžiagos rūšies, jos koncentracijos bei gydomų žuvų rūšies.

Praplovimas. Tai gana paprastas metodas, kai koncentruoto cheminio tirpalo įpilama į sistemos viršutinę dalį ir leidžiama tekėti per visą įrenginį. Būtinai pakankamas vandens srautas, kad cheminė medžiaga būtų greitai praplauta per sistemą. Šis metodas netinka tvenkiniams.

Ilgalaikis gydymas. Yra du ilgalaikio gydymo tipai: trumpalaikis (vonelė) ir neapibrėžtos trukmės.

Vonelės metodas. Reikiamas cheminės medžiagos ar vaisto kiekis įpilamas tiesiai į auginimo arba laikymo talpyklą ir paliekamas nustatytam laikui – dažniausiai vienai valandai. Vėliau tirpalas greitai pašalinamas praplaunant šviežiu vandeniu. Reikia imtis atsargumo priemonių, kad būtų išvengta nuostolių. Nors rekomenduojama gydymo trukmė gali būti viena valanda, žuvis būtina stebėti viso gydymo metu. Pasirodžius pirmiesiems streso požymiams, būtina nedelsiant plauti šviežiu vandeniu. Svarbu užtikrinti, kad cheminė medžiaga tolygiai pasiskirstytų visame įrenginyje ir nesusidarytų perdozavimo „karštųjų zonų“.

Neapibrėžtos trukmės gydymas. Šis metodas dažniausiai taikomas tvenkiniuose ar žuvų transportavimo talpyklose. Naudojama mažos koncentracijos cheminė medžiaga, kuriai leidžiama natūraliai išsiskaidyti aplinkoje. Tai laikoma vienu saugiausių gydymo metodų. Pagrindinis trūkumas – didelis reikiamų cheminių medžiagų kiekis, kuris gali būti ekonomiškai nenaudingas. Kaip ir vonelės metodu, būtina užtikrinti tolygų paskirstymą, kad būtų išvengta perdozavimo vietų.

Gydymas naudojant pašarus. Kai kurias ligas galima gydyti tik tuomet, kai vaistų patenka į žuvies skrandį. Tai galima atlikti dviem būdais: vaistų įmaišoma į pašarą arba tikslus vaisto kiekis įdedamas į želatinos kapsulę, kuri specialiu prietaisu įvedama tiesiai į žuvies skrandį. Šis metodas grindžiamas žuvies kūno masės skaičiavimu.

Injekcijos. Didelių ir vertingų žuvų, ypač kai jų kiekis nedidelis, gydymas gali būti efektyviausias suleidžiant vaistų injekcijomis – į pilvo ertmę (intraperitonealiai, IP) arba į raumenis (intramuskuliariai, IM). Dauguma vaistų veikia greičiau, kai suleidžiami IP. Atliekant tokią injekciją, reikia būti ypač atsargiems, kad nebūtų pažeisti vidaus organai. Patogiausia IP injekcijos vieta – ties vienu iš pilvo pelekų. IM injekcijos dažniausiai leidžiamos šalia nugaros peleko.

Aplinkos sąlygų pokyčiai gali lemti patogenų populiacijų kitimą ir naujų ar pavojingesnių atsiradimą. Dėl to gali pasireikšti anksčiau nežinotos ligos, dažnėti ligų protrūkiai bei kilti papildomų sunkumų diagnozuojant ir gydant ligas.

5.2. Apsaugos priemonės ir inovatyvūs sprendimai

Žuvų sveikatos valdymas apima ligų prevenciją, o ne jų gydymą. Kai žuvis jau suserga, jas išgelbėti būna sudėtinga. Sėkmingas žuvų sveikatos valdymas prasideda nuo ligų prevencijos, o ne nuo gydymo. Tinkamas vandens kokybės užtikrinimas, subalansuota mityba ir geros higienos palaikymas yra pagrindinės sąlygos, padedančios išvengti žuvų ligų. Be viso šito oportunistinių ligų protrūkiai tampa neišvengiami. Žuvis nuolat kontaktuoja su potencialiais patogenais – bakterijomis, grybais ir parazitais. Prasta vandens kokybė, netinkama mityba arba nusilpusi imuninė sistema, dažniausiai susijusi su stresinėmis sąlygomis, leidžia šioms patogenams sukelti ligas. Vaistai, naudojami ligoms gydyti, suteikia žuvims laiko įveikti oportunistines infekcijas, tačiau negali atstoti tinkamos priežiūros ir geros ūkininkavimo praktikos (Parker, 2011).

Dėl pasaulinio atšilimo didėja būtinybė reguliariai ir visapusiškai stebėti vandens kokybę, patogenų lygį ir žuvų sveikatos rodiklius. Šis stebėjimas apima pažangias diagnostines priemones bei ligų protrūkių ankstyvo aptikimo ir kontrolės sistemas, kurios leidžia greitai reaguoti ir užkirsti kelią žalos plitimui.

Bendrosios ligų valdymo strategijos

Ligos kontrolė akvakultūroje dažniausiai grindžiama prielaida, kad pageidautina būseną yra visiškas patogenų nebuvimas. Tačiau tikimybė pradėti akvakultūros veiklą visiškai be potencialių patogenų sistemoje yra labai menka, todėl kyla klausimas, ar ekonomiškai pagrįsta siekti tokios patogenų eliminavimo būsenos. Ši visiško patogenų pašalinimo strategija yra klasikinis požiūris į ligų kontrolę, dar vadinamas patogenocentrinio požiūriu (Lucas et al., 2019).

Priimant sprendimus dėl kontrolės priemonių akvakultūroje, būtina įvertinti kelis veiksnius:

- **Kontrolės priemonės kaina.** Kai kurių patogenų buvimas daro žuvininkystės veiklą ekonomiškai nuostolingą, todėl jų visiškas pašalinimas iš auginimo sistemos tampa būtinas.
- **Pakartotinės infekcijos tikimybė.** Idealiu atveju neturėtų būti galimybės patogenui vėl patekti į sistemą iš aplinkos ar laukinių populiacijų netoliese. Kita vertus, užsikrėtus patogenų ir atlikus gydymą, stuburinių imuninė sistema dažnai įgauna atsparumą, kuris riboja tolesnes infekcijas.

- **Patikimas patogeno identifikavimo metodas.** Būtina turėti galimybę tiksliai nustatyti patogeną, kad būtų galima įvertinti, kaip veiksmingai pasirinktos kontrolės priemonės paveikė jo populiaciją.

Bendrieji ligų valdymo metodai

Svarbiausias veiksnys, lemiantis patogenų pernešimą ir jų patekimą į ūkius tiek vietiniu, tiek platesniu geografiniu mastu yra gyvūnų judėjimas. Tai apima:

- gyvus reprodukcinius organizmus (ypač svarbu),
- gyvas lervų formas, skirtas įveisti,
- gyvus alternatyvius šeiminkus,
- užšaldytas skerdienas, skirtas žmonėms vartoti,
- akvakultūros pašarus,
- masalus.

Dauguma naujų patogenų patekimo atvejų į iki tol neužkrėstas sistemas kyla dėl nekontroliuojamo užkrėstų gyvūnų judėjimo. Kartais to išvengti neįmanoma, nes akvakultūra neįmanoma be reprodukcinių organizmų ar gyvų jauniklių įveisimui. Tačiau reprodukcinių žuvų biosauga – pagrindinis užkrato šaltinis – dažnai ignoruojama, nors iš tiesų turėtų būti pirmasis vertinimo taškas. Tad Europoje reikalaujama, kad prieš pervežant reprodukcinius organizmus būtų atlikti jų tyrimai, siekiant nustatyti pagal ilgą sąrašą privalomai registruotinas bakterines ir virusines ligas (Lucas et al., 2019).

Jeigu neprieinami patogenų neturintys reprodukciniai organizmai, būtina žinoti, kokia yra naudojamų reprodukcinių žuvų patogeninė būklė. Pavyzdžiui, jūrinių žuvų akvakultūroje ir krevečių ūkiuose virusinis encefalopatijos ir retinopatijos, taip pat baltųjų dėmių sindromo virusai perduodami vertikaliai – nuo reprodukcinių organizmų lervoms, kurios vėliau per jaunikius išplatintos ūkiuose.

Nors nėra vienos universalios strategijos, kuri apsaugotų nuo visų patogenų, vis dėlto egzistuoja keletas veiksmingų procedūrų, kurios padeda riboti jų paplitimą auginimo sistemose (Lucas et al., 2019).

Nors neįmanoma sukurti strategijų, kurios būtų veiksmingos prieš visus patogenus, egzistuoja keletas procedūrų, kurios padeda apriboti patogenų plitimą auginimo sistemose (Lucas et al., 2019).

Partijinė akvakultūra. Remiasi principu „visos įleidžiamos, visos išleidžiamos“ (angl. *all in, all out*), kai vienu metu įleidžiama viena žuvų grupė, kuri auginama iki derliaus nuėmimo, tik tada ūkinis vienetas ištuštinamas ir dezinfekuojamas.

Įeinančio vandens valymas. Vandens valymas yra ypač svarbus recirkuliacinėse sistemose, o inkubatorinėse sistemose – naudingesnis nei augimo fazėje dėl žymiai

mažesnio vandens kiekio. Valymas apima tiek cheminį sterilizavimą (chloru, jodo-forais, ozonu), tiek fizinį (UV spinduliais).

Mažesnis žuvų tankis. Mažinant žuvų tankį, padidėja vidutinis atstumas tarp individų, todėl patogeno galimybė pasiekti kitą šeimininką eksponentiškai mažėja. Teoriškai epidemijos neliks, jei tam tikroje teritorijoje nėra kritinio šeimininkų skaičiaus. Paprastai tariant, kiekvienas užsikrėtęs individas turi užkrėsti mažiausiai du kitus, kad epidemija galėtų plisti. Be to, dėl mažesnio tankio sumažėja stresas dėl konkurencijos tarp brolių / seserų bei dėl erdvės ir maisto.

Vienkartinis išnerštų individų įveisimas. Diferencijuotas augimas dažnai rodo sveikatos problemas populiacijoje. Mažos ir neaugusios žuvis – naudingi indikatoriai, nes gali būti sulaikyti patogenų, arba patiria mitybos ar elgsenos stresą būdamos žemiau hierarchijoje. Tokie individai taip pat aktyviau reiškia patogenus. Jei sistema įveisiama mišraus neršto žuvimis, skirtumai, susiję su amžiumi, genetika ar perinimo sąlygomis, gali užmaskuoti ligų sukeltą augimo skirtumą. Todėl vienos neršto grupės įveisimas ypač naudingas vandens gyvūnų patobiologams. Šis metodas rečiau taikomas žuvims, kurių kultūroje įprasta rūšiavimas pagal dydį (pavyzdžiui, unguriai, lašišos, upėtakiai), bet gerai tinka bestuburiams (pavyzdžiui, vėžiams). Be to, tai pabrėžia dažną ūkininkų daromą klaidą: mažas žuvis, kurios nepasiekė rinkai tinkamo dydžio, jie įleidžia į atskirą tvenkinį, kad dar paaugtų. Taip ūkininkas galimai nesąmoningai išlaiko infekcijos židinį, kuris gali paveikti kitą įveisimo partiją.

Reprodukciniai organizmai be specifinių patogenų. Dauguma patogenų pavojingiausi jauniausiose šeimininko vystymosi etapuose. Naudojant patogenų neturinčius reprodukcinis organizmus, palikuonys turi didesnę tikimybę užaugti iki nebeimlių dydžių dar prieš susidurdami su patogenu. Tai veikia ir tais atvejais, kai visos vystymosi stadijos vienodai jautrios – vėlyvas užsikrėtimas leidžia pasiekti derliaus nuėmimo stadiją prieš ligai įsitvirtinant.

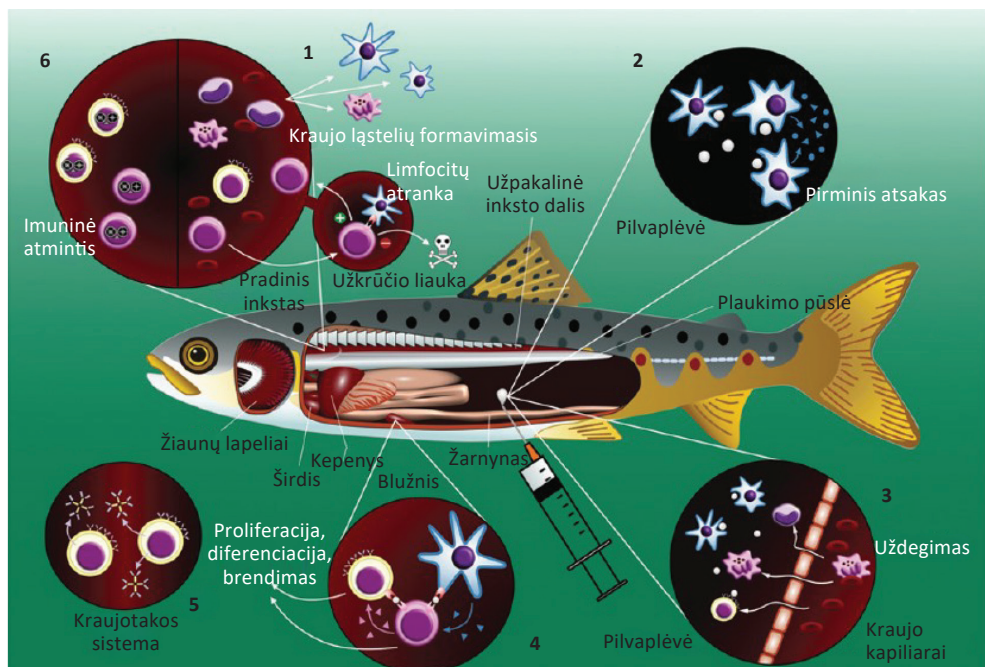
Streso mažinimas. Stresas dažnai nurodomas kaip priežastis, kai nėra kitų logiškų paaiškinimų, tačiau jis turi fiziologinį pagrindą ir pasekmes. Nepalankiomis sąlygomis organizmas mėgina prisitaikyti ir pasiekti naują homeostazės lygmenį. Jei to pasiekti nepavyksta, organizmas išsenka, o streso hormonų gamyba tampa perteklinė. Du veiksmingiausi būdai stresui mažinti: dvigubinti aeraciją, ypač vasarą, siekiant sumažinti deguonies stresą, ir mažinti žuvų tankį.

Vakcinavimas. Vakcinavimas grindžiamas principu, kad imuninė sistema turi atmintį ir kad ankstesnė sąveika su patogenu leidžia išvystyti greitesnį ir stipresnį atsaką, jei kontaktas kartojasi.

Biotechnologiniai sprendimai valdant ligas

Žuvų skiepijimas

Terminas „vakcina“ šiais laikais plačiau vartojamas apibrėžti bet kokią preparato formą, naudojamą imunitetui prieš ligą suformuoti per inokuliaciją. Šio principo esmė – vakcinuojamas organizmas turi turėti prisitaikomąją imuninę sistemą, kuri reaguoja į vakcinos sudėtines dalis ir įsimena jų struktūrą. Tokiu atveju imuninė sistema geba greičiau ir stipriau reaguoti į vėlesnius kontaktus su tuo pačiu antigenu, aktyvindama efektyvias apsaugines reakcijas (5.4 pav.) (Lucas et al., 2019).



5.4 pav. Atlantinių lašišų imuninio atsako į intraperitoninę vakcinaciją schema (Lucas et al., 2019)

Žuvų imunizavimas akvakultūroje taikomas jau daugiau nei 50 metų. Vakcinacija yra veiksmingas būdas apsaugoti nuo bakterinių ir virusinių ligų. Be to, vakcinacija prisideda prie akvakultūros pramonės aplinkosauginio, socialinio ir ekonominio tvarumo. Deja, vakcinų kūrimas akvakultūros sektoriuje vis dar ženkliai atsilieka nuo gyvulininkystės sektoriaus. Šiuo metu tik nedidelė dalis vakcinų yra registruotos ir iš tikrųjų naudojamos. Be to, žuvų vakcinavimas dažniausiai yra darbo jėgai imlus procesas, nes kiekvienai žuviai vakcina turi būti suleidžiama

rankiniu būdu. Vakcinavimas per burną yra alternatyva tradiciniam vakcinavimui injekcijomis. Šis būdas leidžia išvengti žuvų streso ir mechaninių pažeidimų, taip sumažinant mirtingumą vakcinacijos metu. Viena iš potencialių technologijų – mikroinkapsuliavimas, kai patogenų antigenai įterpiami į apsauginę kapsulę, kad būtų sėkmingai pernešami į žuvies organizmą per virškinamąjį traktą. Šiuo metu yra galimybių kurti naujos kartos geriamąsias vakcinas, tačiau, pasak Yue ir Shen (2021), efektyvių geriamųjų vakcinų akvakultūros pramonėje kol kas dar nėra.

Dėl pasaulinio atšilimo būtina kurti ir taikyti vakcinas, siekiant apsaugoti akvakultūros rūšis nuo specifinių ligų. Tam reikalingi nuolatiniai moksliniai tyrimai, susiję su naujų vakcinų ir imunizacijos strategijų kūrimu. Reikia kurti ir diegti efektyvias vakcinacijos programas, siekiant užkirsti kelią ligų protrūkiams, kuriuos sukelia klimato kaitos padariniai.

Imunomodulatoriai ir imunostimuliatoriai

Medžiagos, kurios sukelia, sustiprina arba slopina imuninę atsaką, bendrai vadinamos imunomodulatoriais, jos turi didelį potencialą sumažinti ligų sukeltus nuostolius akvakultūroje. Egzistuoja platus šių medžiagų spektras – rekombinantinės, sintetinės ir natūralios kilmės junginiai – kurie yra patraukli alternatyva antibiotikams, nes paprastai sukelia mažiau nepageidaujamų reakcijų nei tradiciniai vaistai, o patogenų atsparumas jiems išsivysto rečiau (Jeney, 2017).

Imunostimuliatoriai – tai medžiagos, stimuliuojančios žuvų imuninę sistemą, skatindamos arba sustiprindamos imuninę atsaką. Tai gali vykti: specifiskai – kai atsakas nukreiptas prieš konkretų antigeną (pavyzdžiui, vakcinos), nespecifiskai – kai stimuliuojama nepriklausomai nuo antigeno atpažinimo (pavyzdžiui, adjuvantai arba nespecifiniai imunostimuliatoriai). Adjuvantai yra į vakcinas įtraukiamos medžiagos, kurios sustiprina imuninę atsaką į vakcinos sudėtyje esančius antigenus ir padidina apsaugą nuo patogeno. Be to, citokinai, gaminami ląstelinės imuninės sistemos, taip pat veikia kaip imunostimuliatoriai, stiprindami imuninę funkciją. Imunostimuliatoriai gali būti natūralios arba sintetinės kilmės. Tarp jų galima paminėti β -gliukanus, chitiną, laktoferiną, levamizolį, B ir C grupės vitaminus, augimo hormoną, prolaktiną.

Irodyta, kad imunostimuliatoriai pagerina žuvų atsparumą ligoms ir sustiprina jų imuninę atsaką esant stresinėms sąlygoms, todėl jų naudojimas tapo įprasta ligų prevencijos programų dalimi akvakultūroje, ypač dėl to, kad juos galima lengvai pateikti žuvis per pašarą. β -gliukanai – dažniausiai akvakultūroje naudojami imunostimuliatoriai. Ypač plačiai taikomi β -1,3 ir β -1,6 gliukanai, išskirti iš duonos

mielių *Saccharomyces cerevisiae* ląstelių sienelių. Nagrinėjamos ir kitos β -gliukanų kilmės alternatyvos (Jeney, 2017).

Probiotikai ir prebiotikai bei adaptyvus šėrimas

Probiotikai – tai gyvi mikroorganizmai, dažniausiai kilę iš „normalių“ aplinkos ar žarnyno bakterijų, kurie gali turėti teigiamą poveikį žuvų sveikatai, kai skiriama efektyvi jų dozė. Jie apibrėžiami kaip naudingi gyvieji mikroorganizmai, kurie, patekę į šeimininko organizmą tinkama doze, suteikia naudos sveikatai. Tyrimais nagrinėti šie potencialūs akvakultūrai tinkami probiotikai iš bakterijų genčių: *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Carnobacterium*, *Shewanella*, *Bacillus*, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Clostridium*, *Saccharomyces*, *Pediococcus* ir *Streptococcus*. Probiotikų veikimas grindžiamas jų gebėjimu skatinti specifinių mikroorganizmų augimą žuvų žarnyne. Jie padeda palaikyti žarnyno mikrofloros pusiausvyrą, konkuruodami su patogeninėmis bakterijomis dėl prisitvirtinimo vietų žarnyno gleivinėje ir maisto medžiagų. Be to, probiotikai pasižymi antagonistiniu poveikiu patogenams, nes gamina įvairias antimikrobines medžiagas (baktericidines arba bakteriostatines), kurios slopina patogenų dauginimąsi arba juos sunaikina, taip neleisdamos jiems kolonizuoti žuvies žarnyno. Jie taip pat tiesiogiai stiprina šeimininko imuninį atsaką prieš patogeną (Jeney, 2017).

Prebiotikai – tai nevirškinami angliavandeniai, kurie suteikia naudos šeimininko sveikatai, skatindami tam tikrų naudingųjų bakterijų augimą ir / arba aktyvumą žarnyno trakte. Iš jų fermentuojami angliavandeniai laikomi perspektyviausiais – jie teigiamai veikia vietinės mikrofloros sudėtį ir aktyvumą žarnyne. Akvakultūroje išbandyta keletas potencialių prebiotikų. Jie metabolizuojami žuvies žarnyne tokių bakterijų kaip *Lactobacillus* ir *Bifidobacterium*, kurios savo ruožtu gamina trumpos grandinės riebalų rūgštis – svarbias storosios žarnos sveikatai. Be to, prebiotikai mažina žarnyne esančių patogenų kiekį (Jeney, 2017).

Probiotikų ir imunostimuliatorių naudojimas pašaruose, siekiant sustiprinti akvakultūros rūšių imuninę sistemą ir padidinti jų atsparumą ligoms, yra vienas svarbiausių veiksnių, siekiant sumažinti klimato kaitos poveikį. Atsižvelgiant į aplinkos pokyčių poveikį žuvų augimui ir sveikatai, būtina koreguoti pašarų sudėtį bei šėrimo praktiką. Tai apima maisto medžiagų profilio pritaikymą pagal vandens temperatūrą ir kokybę, specializuotų pašarų naudojimą, siekiant palaikyti imuninę funkciją ir atsparumą stresui. Kartu reikia nuolat stebėti pašarų įsisavinimo efektyvumą ir esant poreikiui atlikti korekcijas. Išsamesnis aprašymas, kaip dėl pasaulinio atšilimo turėtų būti keičiama pašarų sudėtis ir šėrimo strategijos akvakultūroje, pateikiamas atskirame skyriuje.

Integruotos patogenų valdymo strategijos auginant žuvis

Patogenų poveikis akvakultūrai yra reikšmingas – finansiniai nuostoliai vertinami maždaug 20 proc. visos produkcijos vertės. Pagrindinis integruoto patogenų valdymo (IPV) tikslas yra sujungti visas prieinamas prevencijos ir gydomąsias priemones, siekiant sumažinti patogenų poveikį gamybos grandinei, kartu mažinant poveikį aplinkai bei išvengiant nepageidaujamų šalutinių reiškinių ateityje. Taip siekiama didesnio ekologinio ir ekonominio tvarumo (Jeney, 2017).

IPV sąvoka apima šiuos aspektus:

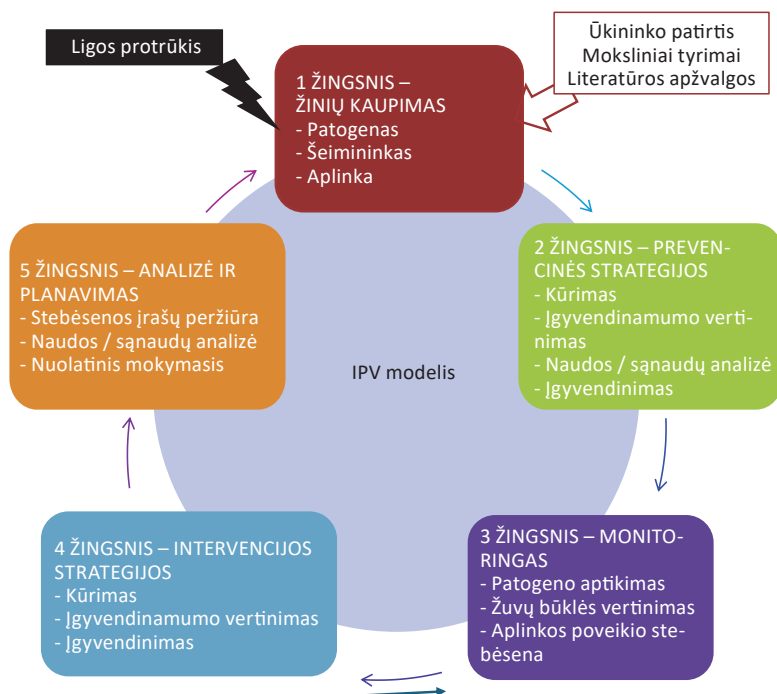
Integruotas. Tai holistinis požiūris, vienijantis visas prieinamas ligų kontrolės strategijas, ypatingą dėmesį skiriant sąveikai tarp patogeno, šeimininko ir aplinkos. Šių trijų veiksmų ryšiai yra sudėtingi – vien tik patogeno buvimas dar nereiškia ligos išsivystymo. Tačiau ši sąveika, nors ir apsunkina ligų epizootologiją, suteikia galimybių mažinti infekcijų poveikį.

Patogenas. Tai bet kuris organizmas, trukdantis augalų ar gyvūnų gamybai. Jei patogeno poveikis nėra reikšmingas, IPM strategijų kurti neverta. IPM ypač efektyvus kovojant su patogenais, turinčiais sudėtingą gyvavimo ciklą, nes tai leidžia įsikišti skirtinguose etapuose.

Valdymas. Tai patogenų palaikymas žemiau ekonominio žalingumo slenksčio, o ne jų išnaikinimas. Valdymo tikslas – rasti efektyvias, ekonomiškai pagrįstas strategijas, kurios sukeltų kuo mažesnę žalą aplinkai.

IPV sistemų kūrimas yra procesas, kurį sudaro keli etapai, apibendrinti 5.5 pa-veiksle (Jeney, 2017). Procesas prasideda, kai patogenas sukelia ligos protrūkį, o **pirmasis žingsnis** – sukaupti visą įmanomą informaciją apie svarbiausią (-us) pa-togeną (-us) (gyvavimo ciklą, šeimininko užkrėtimo strategijas, natūralius priešus, pernešėjus ir kt.), taip pat apie šeimininko ir aplinkos rizikos veiksmus, kurie pa-lengvina patogeno plitimą ir poveikį žuvų populiacijai. Ši informacija iš pradžių gaunama iš ūkininkų patirties, mokslinių tyrimų ir literatūros apžvalgų. **Antrasis žingsnis** – prevencija. Tai reiškia geriausių prevencijos strategijų kūrimą, jų įgyven-dinimo galimybių bei kaštų ir naudos kiekvienam patogenui įvertinimą. **Trečiasis žingsnis** – ligos stebėseną, kuri apima patogeno aptikimą, šeimininko būklės stebė-seną ir galimo poveikio aplinkai vertinimą. Kai prevencijos priemonių nepakanka ligai sustabdyti, **ketvirtasis žingsnis** – intervencija. Tai reiškia fizinių, cheminių ir (arba) biologinių gydymo priemonių kūrimą, jų galimybių ir kaštų / naudos įverti-nimą bei įgyvendinimą. Po intervencijos stebėseną tęsiama. **Penktasis žingsnis** – pervertinimas ir planavimas pagal įvairių strategijų rezultatus, nes IPV sistemos turi būti nuolat vertinamos ir tobulinamos, siekiant maksimalaus efektyvumo. Tai

apima ligos įrašų peržiūrą, kaštų / naudos įvertinimą, konsultacijas, prisitaikymą prie inovacijų ir nuolatinį mokymąsi. Idealiu atveju tai ilgainiui turėtų leisti kurti prognozavimo modelius. Penktasis žingsnis grįžta į pirmąjį, taip papildydamas žinių bazę. Šiame skyriuje aprašysime prieinamas galimybes atlikti daugumą šių žingsnių žuvininkystės ūkiuose, esamus apribojimus jiems įgyvendinti gamybos vietose ir ateities perspektyvas (Jeney, 2017).



5.5 pav. Žuvų ligų integruoto patogenų valdymo (IPM) strategijų kūrimo procesas (Jeney, 2017)

Pasaulinis atšilimas daro reikšmingą poveikį ligų dažniui ir valdymui akvakultūros sistemose. Suprasdami, kaip aplinkos pokyčiai sąveikauja su ligų dinamika, akvakultūros ūkiai gali įgyvendinti veiksmingas valdymo strategijas, padedančias sušvelninti šiuos padarinius. Sustiprinta stebėseną, temperatūros ir vandens kokybės kontrolė, sveikatos valdymo praktikos ir infrastruktūros atsparumas yra pagrindiniai veiksniai, padedantys išlaikyti akvakultūros rūšių sveikatą ir produktyvumą kintančio klimato sąlygomis.

Pasaulinis atšilimas daro didelę įtaką ligų plitimui akvakultūros sistemose ir jų valdymui. Suprasdami aplinkos pokyčių ir ligų dinamikos sąveiką, akvakultūros

veiklos vykdytojai gali įgyvendinti veiksmingas valdymo strategijas šiam poveikiui sušvelninti. Geresnė stebėseną, temperatūros ir vandens kokybės kontrolė, sveikatos valdymo praktika ir infrastruktūros atsparumas yra svarbiausi veiksniai, siekiant išlaikyti akvakultūros rūšių sveikatą ir produktyvumą kintančio klimato sąlygomis.

Pagrindiniai biologinio saugumo reikalavimai akvakultūros ūkyje

Lietuvoje įprasti pagrindiniai biosaugos reikalavimai akvakultūros ūkiams yra šie:

1. Kiekviena akvakultūros įmonė privalo turėti biosaugos planą, skirtą užkirsti kelią užkratui patekti į ūkį ir (arba) infekcijai plisti už ūkio ribų.
2. Kiekvienos įvažiuojančios transporto priemonės ratai turi būti dezinfekuojami.
3. Reikia nuolat stebėti vandens kokybės parametrus žuvų auginimo telkiniuose ir tvenkiniuose.
4. Dezinfekciniai kilimėliai arba vonelės turi būti įrengti prie kiekvieno įėjimo / išėjimo į / iš patalpų tiek pastato viduje, tiek išorėje.
5. Darbuotojai, atvykę į darbą, turi persirengti specialiais darbo drabužiais ir pasibaigus darbo laikui juos vėl pasikeisti.
6. Darbuotojai, dirbantys skirtinguose žuvų auginimo ciklo etapuose, kaskart pereidami iš vienos patalpos į kitą, privalo dezinfekuoti rankas.
7. Žuvims gaudyti, perkelti, šerti ar valyti skirti įrankiai negali būti naudojami keliose patalpose.
8. Panaudoti įrankiai ir įranga iki kito naudojimo turi būti laikomi sūrymo tirpale.
9. Reikia riboti lankytojų skaičių, jų atvykimą registruoti, o lankymosi metu naudoti vienkartinės apsaugos priemones.
10. Darbuotojams leidžiama dirbti tik viename akvakultūros ūkyje, siekiant užkirsti kelią patogenų pernešimui.

Žuvų sveikatos valdymo planas ūkio lygmeniu yra labai vertingas, tačiau gali būti nepakankamas, siekiant užkirsti kelią patogenų plitimui plačiau – regioniniu, nacionaliniu ar tarptautiniu mastu, todėl būtina įgyvendinti atitinkamą politiką ir reglamentavimą šiais lygmenimis (Jeney, 2017).

Kitos apsaugos priemonės klimato kaitos poveikiui ir ligoms mažinti

Akvakultūros infrastruktūrai labai svarbu pasirinkti vietas, kuriose mažinama ligų plitimo rizika ir klimato kaitos poveikis.

Atsižvelgus į auginimo sistemos tipą ir auginamų rūšių ypatybes, tinkamai parinkta vieta gali reikšmingai sumažinti ligų plitimo riziką. Tinkamos vietos užtikrina aplinkos sąlygas (vandens temperatūrą, druskingumą ir kt.), kurios mažina fiziologinį stresą, todėl sumažėja infekcinių ligų dažnis ir sunkumas. Taip pat būtina įvertinti turimo vandens kokybę. Vandens kiekis ir jo prieinamumo kaita laikui bėgant gali riboti gamybos apimtis. Ūkiai, kuriuose vandens ištekliai yra nepakankami, dažnai susiduria su prastesniais žuvų augimo rezultatais, didesniu sergamumu ir mažesniu pelningumu. Molinių tvenkinių atveju svarbu įsitikinti, kad dirvožemis neužterštas cheminėmis medžiagomis, kurių galėtų patekti į vandens aplinką ir pakenkti žuvų sveikatai arba užteršti žuvų mėsą (Tucker & Hargreaves, 2009).

Ekstremalūs orai gali fiziškai pažeisti akvakultūros infrastruktūrą, sukelti staigius vandens kokybės pokyčius ir į akvakultūros sistemas įnešti patogenų ar teršalų. Dėl to gali kilti ligų protrūkiai ir sutrikti veikla.

Dėl klimato kaitos ir jos padarinių gali būti pažeistos talpyklos ar narvai, pablogėti vandens kokybė ir padidėti ligų plitimas dėl taršos ar streso. Taip pat gali kilti veiklos iššūkių valdant ir prižiūrint akvakultūros sistemas.

Tinkamai parinkus vietas taip pat sumažėja tikimybė, kad natūralūs reiškiniai (pavyzdžiui, potvyniai, audrų sukeltos ar didelės jūros bangos) pažeis biosaugos sistemą ir patogenai pateks į aplinką ar pabėgs užkrėstos žuvys. Parenkant vietą svarbu įvertinti ir galimą poveikį jautrioms laukinių žuvų populiacijoms. Tokios populiacijos gali būti nykstančios, saugomos arba migruojančios, jautrios rūšys (Tucker & Hargreaves, 2009).

Dėl klimato kaitos gali tekti stiprinti esamas konstrukcijas, kelti aukščiau įrenginius, kad būtų apsaugota nuo potvynių, bei diegti lanksčias ir atsparias sistemas. Taip pat būtina parengti ir palaikyti ekstremalių situacijų valdymo planus, susijusius su infrastruktūros pažeidimais, vandens kokybės problemomis ir ligų protrūkiais. Gali būti pasirenkamos tokios žuvų rūšys, kurios pasižymi didesniu atsparumu šilumai, kad būtų galima atlaikyti aukštesnes temperatūras ir sumažinti jautrumą ligoms.

Daugiau prevencijos priemonių ir inovatyvių sprendimų galima taikyti recirkuliacinėse akvakultūros sistemose (RAS). Optimalios temperatūros palaikymas padeda valdyti stresą ir mažinti ligų riziką. Prevencijai galima taikyti temperatūros kontrolės technologijas, kurių nustatymai koreguojami realiuoju laiku pagal surinktus duomenis. Reguliarus vandens kokybės parametru, tokių kaip pH, ištirpusio deguonies, maistinių medžiagų kiekio ir pan., testavimas ir optimizavimas gali būti automatizuoti. Gali būti taikomi tokie metodai kaip šešėliavimas,

papildomas aeravimas ir kontroliuojamas šėrimas, siekiant sumažinti temperatūros ir kitų aplinkos veiksnių poveikį žuvims. Sistemų parinkimas ir priemonės prieš klimato kaitos poveikį akvakultūroje detaliau aptariami atskirame skyriuje.

5.3. Klimato kaitos įtaka ligų plitimui ir ateities iššūkiai

Klimato veiksniai, lemiantys ligų paplitimą

Intensyvinimas. Net ir esant pastovioms aplinkos sąlygoms, akvakultūros gamybos intensyvinimas kelia tvarumo riziką ir iššūkių, kuriems įveikti reikalingas griežtas valdymas, kad būtų galima efektyviai reaguoti į patogenų aptikimą ir / arba ligų protrūkius. Dėl klimato kaitos dar labiau padidės šios grėsmės ir iššūkiai.

Toje pačioje gamybinėje aplinkoje auginant daug vienos rūšies, reikia:

- 1) greitai reaguoti į nesimaitinančius gyvūnus, sergamumo ir mirtingumo požymius;
- 2) gebėti izoliuoti paveiktus gyvūnus nuo sveikų populiacijų ir ūkių;
- 3) gebėti likviduoti (išginti) paveiktus ūkius, jei neįmanoma gydyti.

Didelio intensyvumo ūkius vis dažniau veikia ekstremalūs oro reiškiniai, kurie sukelia stresą auginamiems gyvūnams ir apsunkina valdymo mechanizmus, pavyzdžiui, trukdo užtikrinti saugų aptvarų veikimą (išsiveržimai) ir ligotų bei stresą patyrusių gyvūnų izoliavimą nuo sveikų.

Rūšių ir genetinė įvairovė. Pastaruosius 30–40 metų akvakultūra buvo plėtojama taikant rūšių įvairovės principą (renkamos rūšys, kurios rodo geriausius gamybinius rezultatus auginimo sąlygomis) bei selekcionuojant genetines linijas eksperimentinėmis sąlygomis komercinei gamybai.

Abi selekcijos kryptys apima atsparumo ligoms atranką: toleranciją (infekcija be reikšmingo mirtingumo) ir atsparumą (gebėjimas išvengti infekcijos). Tačiau tokių selekcinų sprendimų privalumai priklauso nuo pastovių aplinkos parametrų. Kai aplinkos sąlygos tampa ekstremalios (pavyzdžiui, temperatūros, druskingumo, drumstumo svyravimai), atrinktos rūšys ir / arba genatinės linijos gali būti labiau pažeidžiamos nei mažiau selekcionuoti, genetiškai įvairesni, vietiniai individai.

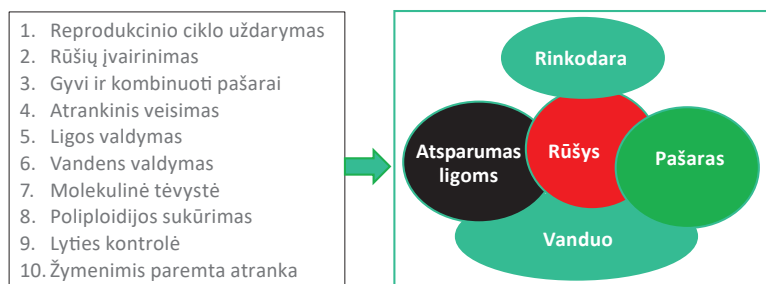
Plėtra už natūralaus rūšių paplitimo ribų. Vietinės rūšys, pasižyminčios gera produktyvumo dinamika ūkiuose, dažnai naudojamos plečiant ūkius į periferines arba už natūralaus geografinio paplitimo ribų esančias teritorijas. Tokie gyvūnai gali ištvirti nedidelius sezoninius temperatūros ir / ar druskingumo svyravimus,

tačiau ekstremaliomis sąlygomis jų išgyvenamumas sumažėja, ypač kai sutrinka normalūs reprodukcijos ar augimo ciklai.

Kaip ir intensyvinimo bei selekcijos atveju, esant reikšmingiems aplinkos pokyčiams, atsparumas oportunistinėms ar pirminėms infekcijoms gali labai sumažėti (Klimato kaitos..., 2018).

Genetinės apsaugos priemonės

Biotechnologijos, įskaitant lyties kontrolę, poliploidizaciją, ginogenezę ir androgenezę (5.6 pav.), atlieka svarbų vaidmenį didinant akvakultūros produktyvumą (Yue & Shen, 2021).



5.6 pav. Akvakultūroje taikomos technologijos, lemiančios spartų akvakultūros produkcijos augimą (Yue & Shen, 2021)

Genetinis tobulinimas selekcijos būdu buvo vienas iš pagrindinių veiksmų, lėmusių pasaulinės akvakultūros plėtrą. Molekuliinių technologijų integravimas į esamas selekcijos programas reikšmingai paspartino tam tikrų akvakultūros rūšių genetinį tobulinimą. Pavyzdžiui, žymenimis paremta atranka (angl. *marker-assisted selection*, MAS) jau buvo taikyta siekiant pagerinti atsparumą ligoms (pavyzdžiui, lašišų atsparumą IPN I) (Yue & Shen, 2021).

Genominė atranka (GA) yra naujas molekulinės selekcijos metodas. GA naudoja daugybę žymenų kaip našumo prognozės rodiklius ir leidžia tiksliau prognozuoti veislines vertes. Tobulėjant sekoskaitos ir bioinformatikos technologijoms bei mažėjant VNP (vieno nukleotido polimorfizmo) genotipavimo kainoms, GA, pagrįsta visą genomą apimančiais SNP arba tam tikromis su savybėmis susijusiomis VNP atrankomis, vis plačiau taikoma įvairiose akvakultūros rūšyse, siekiant optimizuoti selekciją ir paspartinti genetinį tobulinimą (Yue & Shen, 2021).

Genomo redagavimas (GR), naudojant CRISPR/Cas technologiją, leidžia dar sparčiau tobulinti akvakultūros rūšis, kai žinomi redaguotini genai. GE leidžia greitai įvesti naudingas alelines formas į genomą, padidinti pageidaujamų alelių dažnį svarbiuose lokusuose, sukurti naujus alelius ir / arba perkelti palankius alelius iš kitų rūšių. Akvakultūros rūšys ypač tinka GE taikyti dėl didelio jų vaisinimumo ir išorinio apvaisinimo – tai leidžia vienu metu redaguoti daugybę individų.

GA ir GR pažanga iš esmės keičia akvakultūros sektorių, padėdama tobulinti ekonomiškai svarbias daugelio rūšių savybes. Ateityje GA ir GR derinimas su pažangiomis tradicinės selekcijos strategijomis bei subrendusiomis biotechnologijomis ženkliai paspartins genetinį tobulinimą akvakultūroje (Yue & Shen, 2021).

Apie pasaulinį atšilimą, selekciją ir biotechnologijas akvakultūroje plačiau kalbama atskirame skyriuje.

Ateities kryptys: integruoti sprendimai

Šiuolaikiniai metodai padėjo sumažinti ligų paplitimą ir priklausomybę nuo antibiotikų bei cheminių gydymo priemonių. Norvegijoje vakcinų kūrimas ir gesnė biosaugos sistema (ligų kontrolė ir suvaldymas) labai sumažino antibiotikų poreikį auginant lašišas. Investicijų poreikis biosaugai užtikrinti ir ligų protrūkių rizikai sumažinti skiriasi priklausomai nuo vietovės ir masto, tačiau visų bendras poreikis – stiprinti nacionalinių veterinarinių tarnybų diagnostikos ir stebėsenos gebėjimus. Nors akvakultūra ir toliau susidurs su naujomis ligomis, bus kuriamos naujos sveikatos valdymo technologijos, padėsiančios įveikti šiuos iššūkius. Genomo sekoskaitos kaina sparčiai mažėja – tai sudaro sąlygas kurti specifiniams patogenų štamams pritaikytus diagnostikos metodus, vaistus ir kitas gydymo priemones, t. y. individualizuotą ligų gydymą (Lucas et al., 2019).

Viena pagrindinių didžiųjų tendencijų – spartėjanti technologinė pažanga, ypač biotechnologijų, nanotechnologijų ir informacinių-kompiuterinių technologijų srityse. Mokslo ir technologijų plėtra pasaulyje spartėja, ją skatina ekonomikos augimas ir viešosios investicijos. Jutikliai, programinė įranga ir belaidis ryšys leidžia realiuoju laiku rinkti ir analizuoti duomenis. Sujungus juos su išvesties įrenginiais, galima operatyviai reaguoti į gautą informaciją. Pavyzdžiui, vaizdo stebėjimo sistemos, fiksuojančios lašišų šėrimą, leidžia efektyviau dozuoti pašarą, gerinti konversijos rodiklius, mažinti nuostolius ir aplinkos taršą. Tvenkiniuose deguonies jutikliai, sujungti su analizės ir valdymo programomis, gali aktyvuoti aeratorius ir palaikyti tinkamą deguonies koncentraciją. „Daiktų internetas“ taps dar labiau

išplėtotas vystant jutiklius, automatiką, autonomines mašinas, dronus ir povandeninius įrenginius. Skaitmeninės ir robotizuotos technologijos vis dažniau papildys ar net pakeis žmonių darbą (Lucas et al., 2019).

Technologijos yra esminės siekiant gerinti akvakultūros produktyvumą ir aplinkosaugos efektyvumą. Pagrindinės inovacijų sritys: pašarai, genetinis tobulinimas, ligų kontrolė, dauginamosios medžiagos išgavimo ir augimo sistemų tobulinimas (Lucas et al., 2019).

Siekiant mažinti klimato kaitos poveikį ligų dinamikai, būtina investuoti į mokslinius tyrimus ir kurti naujus ligų prevencijos bei valdymo sprendimus. Ypač svarbus glaudus bendradarbiavimas su mokslininkais ir institucijomis, siekiant taikyti naujas technologijas, atsparias ligoms žuvų veisles ir prisitaikančius valdymo metodus. Tai turėtų tapti pagrindiniu keliu siekiant efektyvios ligų kontrolės ir klimato kaitos poveikio švelninimo.

Akvakultūrai vis labiau reikia kvalifikuotų specialistų ir ekspertų, todėl labai svarbūs ir reikalingi mokymai, seminarai, internetiniai seminarai bei informaciniai ištekliai ligų prevencijos, aplinkos valdymo ir prisitaikymo strategijų temomis.

Santrauka

Pasaulinis atšilimas daro poveikį akvakultūros rūšių sveikatai ir valdymui įvairiais mechanizmais – nuo padidėjusio ligų paplitimo ir imuninės sistemos funkcijos sutrikimų iki pablogėjusios vandens kokybės. Siekiant veiksmingo atsako, būtinas kompleksinis požiūris, apimantis sustiprintą stebėseną, aplinkos kontrolę, vandens kokybės valdymą, sveikatos priežiūros priemones, infrastruktūros atsparumo didinimą ir prisitaikančią pašarų valdymo praktiką. Įgyvendindami šias strategijas bei nuolat atnaujudami žinias apie kylančius iššūkius ir galimus sprendimus, akvakultūros veiklos vykdytojai gali geriau apsaugoti auginamas rūšis ir užtikrinti tvarią gamybą besikeičiančio klimato sąlygomis.

Literatūra

Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M. C. M., Cochrane, K. L., Funge-Smith, S., & Poulain, F. (eds.). (2018). Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627*. Rome, FAO, 628.

Clinical Guide to Fish Medicine. (2021). In Wiley eBooks. <https://doi.org/10.1002/9781119259886>

- Elston, R. A. (1990). *Mollusc Diseases: Guide for the Shellfish Farmer*. Washington Sea Grant Program, University of Washington Press, Seattle.
- Ergün, D. et al. (2020). *Handbook on European Fish Farming*. Tudás Alapítvány, 326.
- Jeney, G. (2017). *Fish diseases: Prevention and Control Strategies*. Academic Press.
- Fish viruses and bacteria: pathobiology and protection. (2017). In *CABI eBooks*. <https://doi.org/10.1079/9781780647784.0000>
- Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627*. Rome, FAO, 628.
- Lal, J., Vaishnav, A., Singh, S. K., Meena, D. K., Biswas, P., Mehta, N. K., & Priyadarshini, M. B. (2024). Biotechnological innovation in fish breeding: from marker assisted selection to genetic modification. *Deleted Journal*, 1(1). <https://doi.org/10.1007/s44340-024-00007-6>.
- Lucas, J. S., Southgate, P. C., & Tucker, C. S. (2019). *Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants*. John Wiley & Sons.
- Noga, E. J. (2010). *Fish disease: diagnosis and treatment*. John Wiley & Sons.
- Parker, R. (2011). *Aquaculture Science*. Delmar.
- Timmons, M. B., & Center, N. R. A. (2013). *Recirculating Aquaculture*.
- Tucker, C. S., & Hargreaves, J. A. (eds.). (2009). *Environmental best management practices for aquaculture*. John Wiley & Sons.
- Yue, K., & Shen, Y. (2021). An overview of disruptive technologies for aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*, 7(2), 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.04.009>
- Woo, P. T., & Iwama, G. K. (eds.). (2019). *Climate change and non-infectious fish disorders*. CABI.



Funded by
the European Union



Skaitmeninė mėlynoji karjera įveikus anglies krizę – akvakultūros mokymo programos naujovės [DiBluCa]
2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

6 skyrius. Akvakultūros sistemų pasirinkimas atsižvelgiant į pasaulinį atšilimą

Doc. dr. Dimitris Klaoudatos
Tesalijos universitetas, Graikija

Įvadas

Pasaulinis atšilimas daro reikšmingą poveikį vandens ekosistemoms ir akvakultūrai, todėl būtina diegti atsparias sistemas, padedančias spręsti tokius iššūkius kaip temperatūros kilimas, deguonies stoka ir didėjantis ligų plitimas. Tvarios akvakultūros praktikos yra itin svarbios šiems poveikiams sušvelninti, o tinkamas sistemos pasirinkimas atlieka svarbų vaidmenį užtikrinant prisitaikymą ir ilgalaikį gyvybingumą. Šiame skyriuje pateikiama išsami klimato kaitos poveikio akvakultūros sistemoms analizė, aptariami inovatyvūs sprendimai ir strategijos, skirtos politikos formuotojams, mokslininkams ir pramonės dalyviams, siekiant skatinti tvarumą šioje srityje. Tyrimai pabrėžia klimato pokyčiams atsparių technologijų, tokių kaip recirkuliacinės akvakultūros sistemos ir integruotos daugiapakopės akvakultūros sistemos, svarbą siekiant padidinti produktyvumą ir sumažinti poveikį aplinkai (Boyd et al., 2022; Handisyde et al., 2017; Froehlich et al., 2018).

Akvakultūra yra vienas sparčiausiai augančių maisto gamybos sektorių pasaulyje, atliekantis svarbų vaidmenį tenkinant augančios žmonijos mitybos poreikius. Tačiau pasaulinio atšilimo poveikis kelia rimtų grėsmių jos tvarumui. Didėjanti pasaulinė temperatūra, vandenynų rūgštėjimas, sūrumo pokyčiai ir patogenų plitimas keičia vandens ekosistemas ir sukuria naujų iššūkių akvakultūros veiklai. Šie

aplinkos pokyčiai kelia grėsmę ne tik akvakultūros ekonominiam gyvybingumui, bet ir pasauliniam maisto saugumui bei biologinei įvairovei.

Dėl klimato kaitos didėja šiluminis stresas vandens aplinkose, todėl kinta auginamų rūšių medžiagų apykaita, augimas ir dauginimasis. Boyd ir McNevin (2015) teigia, kad temperatūros svyravimai už optimalaus rūšių diapazono ribų gali padidinti deguonies poreikį, susilpninti imuninę sistemą ir padidinti mirtingumą. Be to, šylantys vandenys sukuria palankias sąlygas KDŽ, kurie gali sumažinti deguonies lygį ir išskirti toksinus, pavojingus vandens organizmams (Diaz & Rosenberg, 2008). Dėl šių reiškinių reikia inovatyvaus požiūrio į akvakultūros sistemų projektavimą ir valdymą.

Vandenynų rūgštėjimas – tiesioginė padidėjusios anglies dioksido (CO₂) koncentracijos atmosferoje pasekmė – kelia dar vieną rimtą grėsmę. Rūgštus vanduo sumažina karbonato jonų prieinamumą, kurie reikalingi moliuskams ir kitiems organizmams, formuojantiems kiaušius ar skeletus. Cooley ir kt. (2009) tyrimai pabrėžia ekonominę ir ekologinę riziką, susijusią su rūgštėjimu, ypač moliuskų pramonei. Taip pat sūrumo pokyčiai, sukelti tirpstančių ledynų ir pasikeitusio kritulių režimo, trikdo akvakultūros rūšių geografinį paplitimą, versdami ūkius prisitaikyti prie šių kintančių sąlygų (Troell et al., 2003).

Ligų plitimas yra dar viena didėjanti problema akvakultūroje klimato kaitos sąlygomis. Dėl aukštesnės temperatūros pagreitėja daugelio patogenų ir parazitų gyvavimo ciklai, dėl to dažnėja ir sunkėja protrūkiai. Pavyzdžiui, *Vibrio* spp. – dažnas patogenas akvakultūroje – klesti pakilusioje temperatūroje, lemdamas didelių ekonominių nuostolių (Bondad-Reantaso et al., 2005). Šie iššūkiai pabrėžia klimato kaitai atsparių akvakultūros sistemų diegimo svarbą.

Sistemos pasirinkimas yra itin svarbus prisitaikymo žingsnis. Uždaro tipo recirkuliacinės akvakultūros sistemos (RAS), integruota daugiapakopė akvakultūros sistema (IDAS) ir atviro vandenyno akvakultūros sistemos yra inovatyvūs požiūriai, didinantys atsparumą ir tvarumą. Martins ir kt. (2010) pažymi, kad RAS leidžia tiksliai valdyti aplinkos sąlygas, taip mažinant išorinius stresorius auginamoms rūšims. IDAS sujungia skirtingas rūšis, atliekančias papildomas ekologines funkcijas, taip pagerindama maistinių medžiagų ciklą ir ekosistemų sveikatą. Atviro vandenyno akvakultūra, veikianti gilesniuose ir stabilesniuose vandenyse, yra tvari alternatyva pakrantės ūkiams, kurie labiau pažeidžiami dėl eutrofikacijos ir hipoksijos, sukeltos klimato kaitos (Holmer, 2010; Pereira et al., 2024).

6.1. Pasaulinio atšilimo keliamų iššūkių poveikis akvakultūros sistemoms

Pasaulinis atšilimas sukėlė reikšmingų iššūkių akvakultūros sistemoms, įskaitant didėjančią vandens temperatūrą, vandenynų rūgštėjimą ir pakitusius sūrumo lygius, kurie kenkia vandens organizmų sveikatai ir produktyvumui. Padidėjęs šiluminis stresas spartina medžiagų apykaitą, o eutrofikacija ir hipoksija kelia grėsmę vandens buveinėms. Be to, klimato kaita skatina ligų ir patogenų plitimą, ypač tarp rūšių, kurių aplinkos tolerancija yra maža (Boyd & McNevin, 2015; Diaz & Rosenberg, 2008). Itin svarbu suprasti šiuos poveikius, siekiant kurti prisitaikančias strategijas, užtikrinančias akvakultūros atsparumą.

Šiluminė įtampa ir vandens temperatūros svyravimai

Didėjanti pasaulinė temperatūra kelia iššūkių akvakultūros sistemoms, ypač toms rūšims, kurios pasižymi siauru šiluminiu tolerancijos diapazonu. Žuvis, moliuskai ir kiti vandens organizmai dažnai turi ribotą optimalios temperatūros intervalą, reikalingą jų fiziologinėms funkcijoms. Pakilus temperatūrai, pagreitėja medžiagų apykaita, todėl padidėja deguonies poreikis ir fiziologinis stresas (Boyd & McNevin, 2015). Kartu su vandens temperatūros kilimu mažėja deguonies tirpumas, todėl susidaro šilumos sukelta hipoksija. Šis reiškinys didina tokių rūšių kaip lašišos ar tilapijos, ypač stratifikuotuose vandens telkiniuose, kur deguonies lygis natūraliai svyruoja, mirtingumo rodiklius.

Eutrofikacija, hipoksija ir patogenų plitimas

Klimato kaita skatina eutrofikacijos procesus, didindama maistinių medžiagų išplovimą iš žemės ūkio veiklų ir intensyvindama kritulių kiekį. Perteklinės maistinės medžiagos, ypač azotas ir fosforas, lemia kenksmingų dumblių žydėjimą, kurie išskiria toksinus ir, jiems skylant, išseikvoja ištirpusį deguonį. Eutrofikacija yra pagrindinė hipoksinių zonų, vadinamų negyvimis, priežastis – šiose buveinėse gyvūnams tampa neįmanoma išgyventi. Pavyzdžiui, Meksikos įlankos hipoksinė zona, kurią skatina maistinės medžiagos iš Misisipės upės, išsiplėtė dėl tiek

antropogeninių, tiek klimato veiksnių, turinčių įtakos žuvų ištekliams ir akvakultūros veiklai.

Šiltėjantis vanduo sudaro palankias sąlygas patogenams ir parazitams daugintis, todėl akvakultūros sistemose išauga rizika. Pavyzdžiui, *Vibrio* spp. klesti padidėjusioje temperatūroje, sukeldamas ekonominių nuostolių krevečių ir žuvų ūkiuose (Bondad-Reantaso et al., 2005; Pounds et al., 2006). Be to, dėl aukštesnės temperatūros silpnėja vandens organizmų imuninė sistema, todėl jie tampa imlesni infekcijoms. Pavyzdžiui, pastaraisiais metais lašišų ūkiuose padaugėjo jūros utėlių, dėl kurių patiriama didelių nuostolių ir tenka naudoti daugiau cheminių priemonių, kurios kelia pavojų aplinkai (Abolofia et al., 2017).

Vandenynų rūgštėjimas ir druskingumo pokyčiai

Vandenynų rūgštėjimas yra dar vienas svarbus iššūkis akvakultūrai, ypač moliuskų auginimui. Kai atmosferinis CO₂ tirpsta vandenyje, susidaro anglies rūgštis, kuri mažina pH lygį ir karbonatų jonų prieinamumą, būtiną kriauklių ir skeletų formavimui kalcifikuojantiems organizmams (Cooley et al., 2009). Tokie moliuskai kaip austrės ar jūrų šukutės ypač pažeidžiami: rūgštus vanduo lemia plonesnes kriaukles ir mažesnę išgyvenamumą. Be to, rūgštėjimas trikdo kai kurių žuvų rūšių jutimo funkcijas, pakeisdamas jų elgseną ir sutrikdydamas ekosistemų pusiausvyrą (Munday et al., 2009).

Tirpstant ledo kepurėms ir keičiantis kritulių režimui, keičiasi vandens druskingumo lygis jūrinėse ir estuarinėse aplinkose, o tai veikia akvakultūros rūšių paplitimą ir produktyvumą. Tokios rūšys kaip krevetės ir jūriniai ešeriai, jautrios druskingumo svyravimams, gali patirti augimo ir reprodukcijos sutrikimų (Troell et al., 2003). Pavyzdžiui, Bangladeše dėl didėjančio pakrančių vandenų druskingumo krevečių ūkiai buvo priversti pradėti auginti druskingumui atsparesnes rūšis, tačiau šie pokyčiai susiję su didelėmis ekonominėmis ir ekologinėmis sąnaudomis.

6.2. Klimato kaitai atsparių sistemų atrankos kriterijai

Akvakultūros sistemų, atsparių klimato kaitos poveikiui, pasirinkimas yra būtinas siekiant užtikrinti tvarumą ir ekonominį gyvybingumą. Pagrindiniai pasirinkimo kriterijai apima atsparumą temperatūros svyravimams, eutrofikacijos mažinimą, patogenų kontrolę, energinį efektyvumą ir prisitaikymą prie druskingumo

pokyčių. Tokios sistemos kaip uždaros recirkuliacinės akvakultūros sistemos ir IDAS efektyviai sprendžia šiuos iššūkius – suteikia aplinkos kontrolės galimybes bei padeda perdirbti maistines medžiagas (Martins et al., 2010; Pereira et al., 2024). Šie kriterijai leidžia akvakultūros sistemoms prisitaikyti prie besikeičiančių klimato sąlygų.

Atsparumas aplinkos sąlygų pokyčiams

RAS sistemos leidžia tiksliai kontroliuoti temperatūrą ir padidina sistemų atsparumą šilumos stresui. Sistemos turi būti pritaikytos prie temperatūros pokyčių, kad sumažėtų terminis stresas vandens organizmams. RAS sistemose palaikomos optimalios sąlygos rūšims augti ir išgyventi (Martins et al., 2010). Pavyzdžiui, Norvegijoje taikomos RAS technologijos lašišoms auginti padeda mažinti šiltėjančios jūros temperatūros poveikį (Badiola et al., 2012).

Eutrofikacijos mažinimas

Integruotoje daugiapakopėje akvakultūroje (IMTA) naudojami filtruojantys pašarai ir jūros dumbliai, kad būtų sumažinta maistinių medžiagų apkrova, absorbuojamas maistinių medžiagų perteklius, gerinama bendra vandens kokybė ir švelinama eutrofikacija (Pereira et al., 2024). Integruota daugiatautė akvakultūra (IMTA) yra tvarus maistinių medžiagų valdymo sprendimas. IMTA integruoja tokias rūšis kaip žuvis, jūrų dumbliai ir vėžiagyviai, kad būtų galima perdirbti maistingąsias medžiagas ir sumažinti eutrofikacijos riziką. Jūrų dumblių ūkiai Azijoje įrodė, kad maistinių medžiagų apykaita yra veiksminga, mažina KDŽ ir gerina vandens kokybę (Troell et al., 2003).

Patogenų kontrolė

Klimato kaita didina patogenų ir ligų riziką akvakultūroje, nes dėl aukštesnės temperatūros spartėja kenksmingų organizmų (bakterijų, virusų, parazitų) gyvavimo ciklai. Pažangios patogenų kontrolės priemonės yra būtinos akvakultūros veiklos saugumui. Bioapsaugai užtikrinti itin svarbios uždaros RAS sistemos, kurios izoliuoja auginamus organizmus nuo išorinės aplinkos ir sumažina kontaktą su patogenais. Tokios technologijos kaip ultravioletinis (UV) sterilizavimas, ozonavimas ir biologiniai filtrai efektyviai mažina mikroorganizmų kiekį vandenyje (Bondad-Reantaso et al., 2005). Pavyzdžiui, Pietryčių Azijos krevečių ūkiuose naudojamos RAS su UV sterilizavimu padeda valdyti vibriozės protrūkius, kuriuos

dažnai sukelia šiltėjantys vandenys (Aly & Fathi, 2024). Patogenams atsparių rūšių auginimas bei selekcija ligų tolerancijai didina sistemų atsparumą.

Efektyvus energijos ir išteklių naudojimas

Energetiškai efektyvios sistemos svarbios siekiant sumažinti akvakultūros veiklos anglies pėdsaką. Atsinaujinančių energijos šaltinių, pavyzdžiui, saulės ir vėjo, integravimas bei pažangių technologijų (tokios kaip modernios aeracijos sistemos) diegimas skatina tvarią plėtrą. Nors RAS sistemos pasižymi dideliu energijos poreikiu (vandens siurbimas, aeracija, temperatūros palaikymas), jų veikla gali būti tvari naudojant atsinaujinančią energiją. Pavyzdžiui, hibridinėmis saulės energija paremtomis RAS sistemomis buvo sumažintos eksploatavimo energijos sąnaudos 30 proc. ir išlaikytas produktyvumas (Manolache ir Andrei, 2024).

Inovatyvūs sprendimai, kaip atliekų pavertimas energija (pavyzdžiui, biudujų gamyba iš organinių akvakultūros atliekų), dar labiau gerina tvarumą, sprendžiant ir atliekų naudojimo iššūkius (Martins et al., 2010). Saulės energija varomos akvakultūros sistemos išteklių stokojančiuose regionuose, pavyzdžiui, subsacharinėje Afrikoje, rodo, kad energetiškai efektyvūs sprendimai gali prisidėti prie aplinkos ir ekonominio tvarumo. Naudojant atsinaujinančius energijos šaltinius bei efektyvias technologijas, galima sumažinti neigiamą poveikį aplinkai ir kartu užtikrinti ilgalaikį atsparumą ir produktyvumą (Badiola et al., 2012).

Prisitaikymas prie druskingumo svyravimų

Įrengiant akvakultūros sistemas pakrančių ir žiočių regionuose, reikia atsižvelgti į druskingumo pokyčius, kuriuos lemia pasaulinis atšilimas. Pirmenybė gali būti teikiama eurihalinėms rūšims, gebančioms pakęsti didelį druskingumo diapazoną. Dažnai taikomos selekcinės programos, skirtos išvesti rūšis, pasižyminčias didesniu atsparumu druskingumui (Rahman et al., 2021). Pavyzdžiui, akvakultūros ūkiai Bangladeše prisitaikė prie didėjančio druskingumo augindami druskai atsparias rūšis, tokias kaip tilapijos.

Prisitaikymas prie druskingumo svyravimų yra itin svarbus akvakultūros sistemoms, ypač pakrančių ir žiočių regionuose, kur klimato kaita sukelia reikšmingų druskingumo pokyčių. Tirpstant ledo kepurėms, kintant kritulių režimui ir kylant jūros lygiui, druskingumas tampa nenusipėjamas, o tai daro poveikį rūšims, jautrioms šiems pokyčiams. Siekiant išlaikyti produktyvumą, būtina pasirinkti tinkamas rūšis ir technologinius sprendimus. Eurihalinės rūšys, galinčios pakęsti

didelį druskingumo svyravimą, dažnai pasirenkamos šiose aplinkose. Pavyzdžiui, tilapijos ir jūrų ešeriai pasižymi dideliu atsparumu druskingumo pokyčiams, todėl juos tinka auginti kintančiomis sąlygomis (Tine et al., 2014; Rahman et al., 2021).

Technologiniai sprendimai, tokie kaip selekcinės veisimo programos, leidžia išvesti rūšis, turinčias geresnį atsparumą druskingumui. Tyrimai su tilapijomis parodė, kad galima išvesti druskingumui atsparias atmainas, gebančias klestėti aplinkoje, paveiktoje druskos prasiskverbimo (Yue et al., 2024). Be to, tokios uždaros sistemos kaip recirkuliacinės akvakultūros sistemos (RAS) leidžia palaikyti kontroliuojamą aplinką, kur druskingumas reguliuojamas pagal rūšies poreikius, mažinant stresą ir skatinant augimą. Pažangūs vandens filtravimo ir desalinizacijos sprendimai taip pat padeda efektyviai švelninti druskingumo pokyčių poveikį (Martins et al., 2010).

Tarp prisitaikančios akvakultūros praktikų pavyzdžių – ūkiai Bangladeše, kurie perėjo prie druskingumui atsparių rūšių auginimo, reaguodami į didėjančią pakrančių vandenų druskingumą. Tokios praktikos sumažino ekonominius nuostolius ir padidino maisto saugumą pažeidžiamuose regionuose (Troell et al., 2023). Teikiant pirmenybę prisitaikomumui, akvakultūros sistemos gali geriau atlaikyti dinamiškus klimato kaitos iššūkius ir užtikrinti tvarią gamybą bei atsparumą.

Ekonominis gyvybingumas ir plėtros galimybės

Pažangių akvakultūros sistemų ekonominis gyvybingumas ir plėtojimo galimybės yra būtinos, siekiant užtikrinti jų plačiai paplitusį taikymą. Nors tokios sistemos kaip RAS ir IDAS (integruota daugiapakopė akvakultūros sistema) suteikia ilgalaikės naudos, jų didelės pradinės investicijos gali atbaidyti smulkius ir vidutinio dydžio ūkininkus. Siekiant įveikti finansines kliūtis, galima pasitelkti išlaidų pasidalijimo mechanizmus, tokius kaip viešojo ir privataus sektoriaus partnerystės bei valstybės subsidijos. Be to, dėl masto ekonomijos, pasiekiamos vykdant didesnės apimties veiklą ar bendradarbiavimo modelius, gali sumažėti vieneto sąnaudos. Tyrimai rodo, kad dėl IDAS sistemų plėtros Kanadoje gamybos efektyvumas padidėjo 25 proc., kartu reikšmingai pagerėjo aplinkosaugos rezultatai (Baltadakis, 2021). Inovatyvūs moduliniai akvakultūros sprendimai, leidžiantys laipsniškai plėstis, suteikia lankstų ir ekonomišką kelią naujiems dalyviams atsirasti šiame sektoriuje.

6.3. Inovatyvios sistemos klimato iššūkiams spręsti

Inovatyvios akvakultūros sistemos, tokios kaip akvakultūra atviroje jūroje, recirkuliacinės akvakultūros sistemos (RAS) ir integruota daugiapakopė akvakultūros sistema (IDAS), yra perspektyvūs sprendimai kovai su klimato kaitos keliama iššūkiais. Akvakultūra atviroje jūroje sumažina eutrofikacijos ir hipoksijos riziką, nes veikia stabilioje giliavandenėje aplinkoje, o RAS leidžia tiksliai kontroliuoti aplinkos sąlygas ir sumažina išorės poveikį. IDAS didina ekologinį atsparumą integruodama viena kitą papildančias rūšis, gerindama maistinių medžiagų perdirbimą ir vandens kokybę (Holmer, 2010; Pereira et al., 2024). Šios technologijos parodo tvarios akvakultūros praktikos potencialą, suderinantį aplinkosaugos ir ekonominius tikslus.

Akvakultūra atviroje jūroje

Akvakultūra atviroje jūroje tapo perspektyviu sprendimu, padedančiu spręsti klimato kaitos sukeltas problemas pakrančių ir priekrantės sistemose. Šios sistemos, veikiančios gilesniuose vandenyse, pasižymi stabilia temperatūra, aukštesniu deguonies lygiu ir mažesniu maistinių medžiagų kaupimu, todėl sumažėja eutrofikacijos ir hipoksijos rizika (Holmer, 2010). Atviroje jūroje įrengti narvai, pavyzdžiui, Viduržemio jūroje naudojami auksaspalvėms doradoms (*Sparus aurata*) ir paprastiesiems vilkešeriams (*Dicentrarchus labrax*) auginti, rodo šių sistemų potencialą plėsti akvakultūros gamybą, kartu sumažinant poveikį aplinkai (Nielsen et al., 2021). Vis dėlto akvakultūros sistemoms atviroje jūroje reikia didelių investicijų į tvirtą infrastruktūrą, kad būtų galima atlaikyti stiprias sroves ir bangavimą, taip pat į pažangias stebėsenos technologijas, kad būtų užtikrintas veiklos efektyvumas.

Recirkuliacinės akvakultūros sistemos (RAS)

Recirkuliacinės akvakultūros sistemos (RAS) leidžia minimaliai naudoti vandenį ir tiksliai kontroliuoti aplinkos sąlygas, taip sumažinant išorinių klimato svyravimų poveikį (Martins et al., 2010). Šios uždaros sistemos yra pažangus būdas spręsti aplinkos ir išteklių iššūkius. RAS technologija perdirba vandenį kontroliuojamoje aplinkoje, reikšmingai sumažindama vandens suvartojimą ir išorinės aplinkos pokyčių įtaką (Badiola et al., 2012). RAS leidžia tiksliai reguliuoti temperatūrą, deguonies kiekį ir atliekų tvarkymą, todėl jos ypač tinka rūšims, jautrioms aplinkos pokyčiams. Pavyzdžiui, Norvegijoje vis dažniau taikomos RAS sistemos lašišoms auginti, siekiant sušvelninti pakrančių vandens šiltėjimo padarinius. Tačiau dėl

didelio energijos poreikio ir veiklos sąnaudų RAS reikia nuolatinių inovacijų, siekiant didinti energinį efektyvumą ir ekonominį gyvybingumą (Martins et al., 2010).

Integruota daugiapakopė akvakultūros sistema (IDAS)

Integruota daugiapakopė akvakultūros sistema (IDAS) didina ekologinį atsparumą integruojant tarpusavyje papildančias rūšis, tokias kaip žuvis, vėžiagyviai ir jūrų dumbliai (Pereira et al., 2024). Tai inovatyvi sistema, vienijanti kelių skirtingų trofinių lygių organizmus vienoje ūkininkavimo operacijoje. Ji remiasi natūraliais ekologiniais rūšių ryšiais, gerinančiais maistinių medžiagų apytaką ir mažinančiais poveikį aplinkai. Pavyzdžiui, jūrų dumbliai ir dvigeldžiai moliuskai gali absorbuoti žuvų auginimo metu susidarančių maistinių medžiagų perteklių, taip mažindami eutrofikaciją ir gerindami vandens kokybę (Pereira et al., 2024). Kanadoje IDAS sistemos, kuriose auginamos atlantinės lašišos (*Salmo salar*), midijos (*Mytilus edulis*) ir jūrų dumbliai (*Saccharina latissima*), davė tiek ekologinės, tiek ekonominės naudos – padidėjo biomasės gamyba ir sumažėjo maistinių medžiagų apkrova aplinkiniuose vandenyse (Troell et al., 2003).

Jūrų dumblių akvakultūra

Jūrų dumblių auginimas vis plačiau pripažįstamas kaip klimato kaitai atspari akvakultūros sistema, teikianti didelės naudos aplinkai. Jūrų dumbliai sugeria anglies dioksidą ir maistingąsias medžiagas iš vandens, taip mažindami vandenynų rūgštėjimą ir eutrofikaciją. Be to, jų auginimas siūlomas kaip anglies dioksido sekvestracijos strategija, padedanti švelninti klimato kaitos poveikį (Froehlich et al., 2019). Azijoje didelio masto jūrų dumblių ūkiai svariai prisideda prie vietos ekonomikų vystymosi ir kartu gerina jūrų ekosistemų būklę. Naujos technologijos, tokios kaip jūrų dumblių auginimo platformos atviroje jūroje, dar labiau plečia tvaraus jūrų dumblių auginimo galimybes regionuose, kur pakrantės erdvė ribota (Visch et al., 2023).

Išmaniosios akvakultūros technologijos

Skaitmeninių technologijų, tokių kaip dirbtinis intelektas (DI), daiktų internetas ir nuotolinis stebėjimas, integravimas iš esmės keičia akvakultūros veiklą. Išmaniosios sistemos leidžia realiuoju laiku stebėti aplinkos parametrus – temperatūrą, druskingumą, ištirpusio deguonies kiekį, todėl ūkininkai gali greitai reaguoti į besikeičiančias sąlygas (Føre et al., 2018). Pavyzdžiui, automatinės šėrimo sistemos ir DI pagrįsta sveikatos diagnostika didina veiklos efektyvumą ir mažina atliekų

kiekį. Šios inovacijos padeda užtikrinti akvakultūros sistemų tvarumą ir mastelio plėtrą esant klimato kaitos spaudimui.

6.4. Politiniai, ekonominiai ir socialiniai aspektai

Klimato kaitai atsparioms akvakultūros sistemoms diegti būtina išsami politikos parama ir ekonominės priemonės. Reguliavimo paskatos, tokios kaip subsidijos ir paramos priemonės, gali kompensuoti dideles pradinės investicijas, o tarptautinis bendradarbiavimas ir tvarių produktų rinkos paklausa skatina viso sektoriaus transformaciją. Sertifikavimo schemas ir ekologiškos etiketės užtikrina ekonominius paskatinimus užsiimti aplinkai atsakinga veikla. Be to, draudimo mechanizmai, pritaikyti klimato rizikai, padeda užtikrinti pažeidžiamų grupių veiklos tęstinumą (FAO, 2020; Bush et al., 2013). Šie aspektai yra esminiai siekiant suderinti akvakultūros praktiką su pasauliniais tvarumo tikslais.

Teisinis reguliavimas ir politinė parama

Valstybės vaidmuo skatinant klimato kaitai atsparias akvakultūros sistemas yra itin svarbus. Politikoje turėtų būti teikiama pirmenybė paskatoms naudoti tvarias technologijas, tokias kaip recirkuliacinės akvakultūros sistemos (RAS) ir integruota daugiapakopė akvakultūra (IDAS). Pavyzdžiui, Europos Sąjungos bendroji žuvininkystės politika (BZP) skatina tvarią akvakultūrą, įtraukdama klimato kaitos pritaikymo strategijas (FAO, 2020). Subsidijos, mokesčių lengvatos ir dotacijos gali dar labiau paskatinti investicijas į inovatyvias sistemas. Taip pat teisiniai reglamentai turėtų apimti efektyvų vandens naudojimą, atliekų tvarkymą ir ligų kontrolę, kad akvakultūros praktika atitiktų aplinkos tvarumo principus (OECD, 2021).

Ekonominis efektyvumas ir rizikų valdymas

Didelės pradinės išlaidos pažangioms sistemoms, tokioms kaip RAS ir IDAS, turi būti kompensuojamos ilgalaikiais pranašumais, įskaitant mažesnius nuostolius dėl klimato sukeltų trikdžių (Tett et al., 2011). Pereinant prie tokių sistemų dažnai reikia didelių investicijų, o tai gali tapti kliūtimi, ypač mažesnių ir vidutinių pajamų šalyse. Todėl būtina atlikti sąnaudų ir naudos analizę, parodančią ilgalaikį ekonominį šių sistemų efektyvumą – pavyzdžiui, RAS sumažina priklausomybę nuo išorinių vandens šaltinių ir aplinkos riziką, todėl ilginiui mažėja veiklos sąnaudos (Badiola et al., 2012). Viešojo ir privataus sektoriaus partnerystės bei finansinės

pagalbos programos gali padėti užtikrinti platesnį šių technologijų prieinamumą (Pasaulio bankas, 2013).

Tarptautinis bendradarbiavimas ir vartotojų sąmoningumas

Klimato kaitos poveikis peržengia nacionalines ribas, todėl būtinas tarptautinis bendradarbiavimas. Bendros mokslinių tyrimų iniciatyvos, pavyzdžiui, vykdomos pagal „Horizon Europe“ programą, siekia kurti klimato kaitai atsparias akvakultūros technologijas ir skatinti gerųjų praktikų sklaidą tarp suinteresuotųjų šalių (European External Action Service, 2021). Be to, tokios tarptautinės organizacijos kaip Jungtinių Tautų maisto ir žemės ūkio organizacija (FAO) teikia techninę pagalbą ir politikos rekomendacijas, siekdamos stiprinti pasaulinį akvakultūros atsparumą (FAO, 2024). Regioninės sąjungos, pavyzdžiui, Azijos ir Ramiojo vandenyno žuvininkystės komisija (APFIC), taip pat palengvina žinių perdavimą ir išteklių telkimą, suteikdamos šalims galimybę taikyti sprendimus pagal vietos iššūkius (APFIC, 2019). Pasaulinės partnerystės skatina žinių mainus ir tyrimų, susijusių su klimato kaitai atsparia akvakultūra, finansavimą (Tett et al., 2011).

Rinkos dinamika ir vartotojų sąmoningumas

Rinkos jėgos yra svarbus veiksnys skatinant tvarių akvakultūros praktikų diegimą. Auganti ekologiškai atsakingų jūrų gėrybių paklausa skatina gamintojus pereiti prie tvarių sistemų. Sertifikavimo schemas, pavyzdžiui, „Aquaculture Stewardship Council“ (ASC), suteikia rinkos pranašumą, didina konkurencingumą ir užtikrina vartotojams skaidrumą, skatindamos viso sektoriaus posūkį tvarumo link (Bush et al., 2013). Šios sertifikavimo sistemos kartu su švietimo kampanijomis, kurios akcentuoja klimato kaitai atsparių praktikų, tokių kaip recirkuliacinės akvakultūros sistemos (RAS) ir integruota daugiapakopė akvakultūra (IDAS), aplinkosaugos pranašumus, daro įtaką pirkimo įpročiams ir skatina rinką rinktis aplinkai draugiškus produktus (Potts et al., 2021). Be to, skaitmeninės technologijos, įskaitant blokų grandinę (angl. „blockchain“) sprendimus, transformuoja jūrų gėrybių tiekimo grandinę, sudarydamos galimybę sekti produktų kilmę, stiprina pasitikėjimą ir skatina atskaitomybę tarp vartotojų ir gamintojų (Probst, 2020). Integruvus sertifikavimą, edukacines priemones ir technologines naujoves, akvakultūros sektorius vis labiau derinamas su tvarumo tikslais, užtikrinant aplinkosaugos ir ekonominius privalumus.

Rizikų valdymas ir draudimo mechanizmai

Didėjant klimato kaitos sukeltų rizikų, tokių kaip ekstremalūs orai ir ligų protrūkiai, dažniui ir intensyvumui, svarbu diegti veiksmingas rizikos mažinimo strategijas ir pritaikytus draudimo mechanizmus akvakultūros apsaugai. Specialiai šiam sektoriui pritaikyti draudimo produktai, tokie kaip akvakultūros rūšims skirtas derliaus draudimas arba parametrisinis draudimas nuo klimato veiksnių, gali suteikti veiklos vykdytojams finansinio saugumo. Tam būtinas vyriausybių, finansų institucijų ir draudimo teikėjų bendradarbiavimas, kad būtų sukurti priemonai ir įperkami draudimo modeliai. Pavyzdžiui, Filipinuose taikomos parametrisinio draudimo programos sėkmingai užtikrina išmokas žuvų augintojams po taifūnų, leidžiant greičiau atkurti veiklą (Van Anrooy et al., 2022). Tokios rizikos vertinimo priemonės kaip klimato modeliavimo ir ankstyvojo perspėjimo sistemos dar labiau didina atsparumą, padeda ūkiams laiku numatyti ir sušvelninti galimus sutrikimus (Allison et al., 2009).

Santrauka

Pasaulinio atšilimo poveikis akvakultūrai pabrėžia būtinybę strategiškai rinktis auginimo sistemas ir taikyti tvarias praktikas, kad būtų užtikrintas ilgalaikis šio sektoriaus atsparumas ir produktyvumas. Klimato kaitos sukelti iššūkiai – didėjanti temperatūra, vandenynų rūgštėjimas ir ligų plitimas – toliau stiprėja, todėl būtina diegti novatoriškas ir prisitaikančias akvakultūros sistemas. Šiame skyriuje buvo pristatyti tokie esminiai sprendimai kaip recirkuliacinės akvakultūros sistemos (RAS), integruota daugiapakopė akvakultūra (IDAS) ir akvakultūra atviroje jūroje kaip veiksmingi būdai spręsti šiuos iššūkius.

Recirkuliacinės akvakultūros sistemos (RAS) leidžia tiksliai kontroliuoti aplinkos sąlygas, todėl ūkininkavimo veikla tampa atsparesnė išoriniams klimato svyravimams ir mažėja priklausomybė nuo išorinių vandens šaltinių. Integruota daugiapakopė akvakultūra (IDAS) skatina maistinių medžiagų perdirbimą ir ekosistemų stabilumą, siūlydama holistinį požiūrį į tvarumą. Akvakultūra atviroje jūroje, vykdoma gilesniuose ir stabilesniuose vandenyse, padeda išvengti pakrančių eutrofikacijos ir hipoksijos, nes siūlomas efektyvus gamybos plėtros būdas.

Pereiti prie šių sistemų galima tik turint aiškius politinius pagrindus ir ekonomines paskatas, kurias padėtų įveikti su didelėmis pradinėmis investicijomis susijusias kliūtis. Vyriausybės, privatūs subjektai ir tarptautinės organizacijos turi bendradarbiauti per tokius mechanizmus kaip tarptautinės sutartys, finansavimo

programos ir žinių dalijimosi platformos. Konkretūs veiksmai – subsidijos, mokesčių lengvatos, dotacijos – būtini, kad būtų paskatintos investicijos į klimato kaitai atsparias technologijas, ypač smulkiesiems ūkininkams, kurie yra labiausiai pažeidžiami klimato sukrėtimų.

Vartotojų sąmoningumas ir didėjanti paklausa tvarioms jūrų gėrybėms kuria papildomas sektoriaus transformacijos galimybes. Sertifikavimo schemas ir ekologiniai ženklai gali paskatinti gamintojus taikyti klimato kaitai atsparias praktikas ir stiprinti vartotojų pasitikėjimą bei skaidrumą. Švietimo kampanijos ir šių iniciatyvų plėtra pasauliniu mastu dar labiau sustiprins jų poveikį, ypač regionuose, turinčiuose didelį akvakultūros potencialą. Be to, blokų grandinės technologijų taikymas tiekimo grandinei sekti padidins atsekamumą ir pasitikėjimą tarp vartotojų ir gamintojų.

Žvelgiant į ateitį, būtina investuoti į mokslinius tyrimus ir plėtrą, siekiant tobulinti akvakultūros sistemas. Prioritetinės sritys: RAS energijos vartojimo efektyvumo gerinimas, nebrangių IDAS sistemų kūrimas ir pažangių ligų valdymo strategijų vystymas. Ilgalaikis aplinkos stebėjimas ir aktyvus valdymas padės prisitaikyti prie kintančių klimato sąlygų.

Integruodamas technologinę pažangą ir ekologinius principus, akvakultūros sektorius gali stiprinti savo atsparumą ir tvarumą. Politikos formuotojai, tyrėjai ir verslo atstovai turi veikti ryžtingai, kad būtų įdiegtos sistemos, užtikrinančios ilgalaikį sektoriaus gyvybingumą klimato kaitos eroje. Tik bendromis pastangomis akvakultūra galės sėkmingai vystytis, prisidėdama prie pasaulinio maisto saugumo ir ekonominės plėtros.

Literatūra

- Abolofia, J., Asche, F., & Wilen, J. E. (2017). The cost of lice: Quantifying the impacts of parasitic sea lice on farmed salmon. *Marine Resource Economics*, 32(3), 329–349.
- Allison, E. H., Perry, A. L., Badjeck, M. C., Adger, W. N., Brown, K., Conway, D., ... & Dulvy, N. K. (2009). Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. *Fish and Fisheries*, 10(2), 173–196.
- Aly, S. M., & Fathi, M. (2024). Advancing aquaculture biosecurity: A scientometric analysis and future outlook for disease prevention and environmental sustainability. *Aquaculture International*, 32(7), 8763–8789.
- Asia-Pacific Fishery Commission. (2014). *Regional overview of aquaculture trends in the Asia-Pacific region*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand.

- Badiola, M., Mendiola, D., & Bostock, J. (2012). Recirculating aquaculture systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*, 51, 26–35.
- Baltadakis, A. (2021). *Investigating integrated multi-trophic aquaculture at different spatial scales*.
- World Bank. (2013). *Fish to 2030: Prospects for fisheries and aquaculture* (Report No. 83177-GLB). World Bank.
- Bondad-Reantaso, M. G., et al. (2005). Disease and health management in Asian aquaculture. *Veterinary Parasitology*, 132(3–4), 249–272.
- Boyd, C. E., & McNevin, A. A. (2015). *Aquaculture, resource use, and the environment*. John Wiley & Sons.
- Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., ... & Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578–633.
- Bush, S. R., Belton, B., Hall, D., Vandergeest, P., Murray, F. J., Ponte, S., ... & Kusumawati, R. (2013). Certify sustainable aquaculture? *Science*, 341(6150), 1067–1068.
- Cooley, S. R., et al. (2009). Ocean acidification's potential to alter global seafood supply. *Oceanography*, 22(4), 172–181.
- Diaz, R. J., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321(5891), 926–929.
- European External Action Service. (2021). *Horizon Europe strategic plan 2021–2024*. European Union. https://www.eeas.europa.eu/sites/default/files/horizon_europe_strategic_plan_2021-2024.pdf
- FAO. (2020). *The state of world fisheries and aquaculture 2020: Sustainability in action*. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- FAO. (2024). *The state of world fisheries and aquaculture 2024: Blue transformation in action*. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
- Føre, M., Frank, K., Norton, T., Svendsen, E., Alfredsen, J. A., Dempster, T., ... & Berckmans, D. (2018). Precision fish farming: A new framework to improve production in aquaculture. *Biosystems Engineering*, 173, 176–193.
- Froehlich, H. E., Gentry, R. R., & Halpern, B. S. (2018). Global change in marine aquaculture production potential under climate change. *Nature Ecology & Evolution*, 2(11), 1745–1750.
- Froehlich, H. E., Afflerbach, J. C., Frazier, M., & Halpern, B. S. (2019). Blue growth potential to mitigate climate change through seaweed offsetting. *Current Biology*, 29(18), 3087–3093.
- Handisyde, N. T., Ross, L. G., Badjeck, M. C., & Allison, E. H. (2006). The effects of climate change on world aquaculture: A global perspective. *Aquaculture and Fish Genetics Research Programme, Stirling Institute of Aquaculture. Final Technical Report, DFID, Stirling*.
- Holmer, M. (2010). Environmental issues of fish farming in offshore waters: Perspectives, concerns, and research needs. *Aquaculture Environment Interactions*, 1(1), 57–70.
- Manolache, A. I., & Andrei, G. (2024). A comprehensive review of multi-use platforms for renewable energy and aquaculture integration. *Energies*, 17(19), 4816.
- Martins, C. I., et al. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*, 43(3), 83–93.

- Munday, P. L., Dixon, D. L., Donelson, J. M., Jones, G. P., Pratchett, M. S., Devitsina, G. V., & Døving, K. B. (2009). Ocean acidification impairs olfactory discrimination and homing ability of a marine fish. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(6), 1848–1852.
- Nielsen, R., Ankamah-Yeboah, I., & Llorente, I. (2021). Technical efficiency and environmental impact of seabream and seabass farms. *Aquaculture Economics & Management*, 25(1), 106–125.
- OECD. (2021). *Strengthening climate resilience: Guidance for governments and development co-operation*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/4b08b7be-en>
- Pereira, R., Yarish, C., & Critchley, A. T. (2024). Seaweed aquaculture for human foods in land-based and IMTA systems. In *Applications of seaweeds in food and nutrition* (pp. 77–99). Elsevier.
- Potts, J., Wilkings, A., Lynch, M., & McFatridge, S. (2021). *State of sustainability initiatives review: Standards and the blue economy*. International Institute for Sustainable Development.
- Pounds, J. A., et al. (2006). Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*, 439(7073), 161–167.
- Probst, W. N. (2020). How emerging data technologies can increase trust and transparency in fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 77(4), 1286–1294.
- Rahman, M. L., Shahjahan, M., & Ahmed, N. (2021). Tilapia farming in Bangladesh: Adaptation to climate change. *Sustainability*, 13(14), 7657.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). *Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming* (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589).
- Tett, P., et al. (2011). Defining and detecting undesirable disturbance in the context of marine eutrophication. *Marine Pollution Bulletin*, 62(2), 1147–1155.
- Tine, M., Kuhl, H., Gagnaire, P. A., Louro, B., Desmarais, E., Martins, R. S., ... & Reinhardt, R. (2014). European sea bass genome and its variation provide insights into adaptation to euryhalinity and speciation. *Nature Communications*, 5(1), 5770.
- Troell, M., et al. (2003). Integrated mariculture: Asking the right questions. *Aquaculture*, 226(1–4), 69–90.
- Yue, G. H., Ma, K. Y., & Xia, J. H. (2024). Status of conventional and molecular breeding of salinity-tolerant tilapia. *Reviews in Aquaculture*, 16(1), 271–286.
- Van Anrooy, R., Espinoza Córdova, F., Japp, D., Valderrama, D., Karmakar, K. G., Lengyel, P., ... & Zhang, Z. (2022). *World review of capture fisheries and aquaculture insurance 2022*, Vol. 682. Food and Agriculture Organization.
- Visch, W., Layton, C., Hurd, C. L., Macleod, C., & Wright, J. T. (2023). A strategic review and research roadmap for offshore seaweed aquaculture: A case study from southern Australia. *Reviews in Aquaculture*, 15(4), 1467–1479.

ŽODYNAS

Adaptacija – prisitaikymas prie kintančių aplinkos sąlygų, vykstantis natūralios evoliucijos ar technologinių intervencijų (pavyzdžiui, veisimo atsparumui karščiui) būdu.

Aerobinis procesas – cheminiai arba biologiniai procesai, vykstantys esant deguoniui.

Akvakultūra – tai žuvų, vėžiagyvių, moliuskų ir vandens augalų veisimas, auginimas ir rinkimas kontroliuojamomis sąlygomis. Tai ūkininkavimas vandenyje, siekiant gauti maisto, išsaugoti biologinę įvairovę ar kitais komerciniais ir aplinkosaugos tikslais.

Akvakultūra atviroje jūroje – akvakultūros sistemos, įrengtos toliau nuo kranto, kur sąlygos yra stabilesnės ir poveikis aplinkai mažesnis.

Anaerobinės sąlygos – tai aplinka, kurioje yra labai mažai arba visai nėra deguonies, pavyzdžiui, tvenkinių ar šlapynių dugne. Tokiomis sąlygomis organinės medžiagos skyla be deguonies, dažnai išskiria tokias dujas kaip metanas.

Anglies dioksido išmetimas – anglies dioksido (CO_2) ir kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų išskyrimas į atmosferą, daugiausia dėl iškastinio kuro deginimo.

Anglies dioksido pėdsakas – tai bendras šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis (daugiausia CO_2 , bet ir metano ar azoto suboksido), kuris susidaro dėl žmogaus veiklos, produktų gamybos ar paslaugų teikimo. Jis padeda įvertinti, kiek konkreči veikla prisideda prie klimato kaitos. Pėdsaką palieka tokia veikla kaip transportas, energijos vartojimas, maisto gamyba ar pramonė. Mažesnis pėdsakas – mažesnis poveikis aplinkai.

Anglies dioksido sekvestravimas – atmosferos CO_2 surinkimo ir saugojimo procesas, dažnai vykstantis per natūralius procesus, pavyzdžiui, auginant jūrų dumblius.

Atranka pagal žymeklius – biotechnologinis metodas, kai, remiantis genetiniais žymenimis, veisimui parenkami individai su pageidaujamomis savybėmis, taip padidinant selekcinio veisimo efektyvumą.

Atsparumas – tai rūšies ar ekosistemos gebėjimas išlikti, atkurti struktūrą ir funkcijas po aplinkos trikdžių ar streso veiksnių, įskaitant klimato kaitos poveikį.

Bendroji energija – visa energija, esanti pašare.

Biofiltras – filtravimo sistema, kurioje naudojami gyvi organizmai (pavyzdžiui, bakterijos), skaidantys atliekas akvakultūros sistemose.

Biologinė įvairovė – tai augalų, gyvūnų ir mikroorganizmų įvairovė tam tikroje teritorijoje ar ekosistemoje. Ji būtina sveikoms ekosistemoms funkcionuoti, nes kiekviena rūšis prisideda prie ekologinės pusiausvyros palaikymo.

Biologinis saugumas – priemonės, kurių imamasi siekiant išvengti kenksmingų organizmų, pavyzdžiui, patogenų, patekimo į akvakultūros sistemas ir plitimo jose.

CRISPR/Cas9 – revoliucinis genų redagavimo įrankis, leidžiantis tiksliai keisti DNR sekas, siekiant sustiprinti pageidaujamas akvakultūros rūšių savybes, tokias kaip atsparumas ligoms ar augimo greitis.

Degūnies trūkumas – labai mažas arba visiškai išnykęs degūnies kiekis vandenyje, neleidžiantis daugeliui vandens gyvūnų išgyventi.

Denitrifikacija – anaerobinis procesas, kurio metu chemotropinės bakterijos nitratų (NO_3) paverčia azoto dujomis (N_2), azoto suboksidu (N_2O) arba amoniaku (NH_3).

Diagnozė – ligos atvejo pobūdžio nustatymas; **diagnostinis** (būdvardis) – susijęs su diagnoze.

Diferencinė diagnozė – kelių galimų ligų atskyrimas, siekiant nustatyti tikrąją diagnozę.

DO dieta – daugiaobjektis optimizavimas, kai kartu vertinami ekologiniai, ekonominiai ir kiti veiksniai.

Druskingumo svyravimai – druskos koncentracijos vandens telkiniuose kitimai, dažnai lemiami kritulių, ledynų tirpsmo ar žmogaus veiklos, turintys įtakos vandens organizmų išgyvenamumui.

Ekosistemos vientisumas – ekosistemos gebėjimas išlaikyti savo struktūrą, funkcijas ir procesus, palaikant biologinę įvairovę ir ekologines sąveikas.

Ekosistemų paslaugos – žmonių gaunama nauda iš gamtinių ekosistemų, pavyzdžiui, maisto tiekimas, vandens valymas, anglies sekvestracija. Tvari akvakultūra siekia šias paslaugas išsaugoti arba sustiprinti.

Eurihalinės rūšys – organizmai, galintys toleruoti platų druskingumo diapazoną ir prisitaikyti prie kintančios aplinkos.

Eutrofikacija – tai procesas, kai į vandens telkinius patenka per daug maistingų medžiagų, ypač azoto ir fosforo. Dėl to suintensyvėja dumblių žydėjimas, mažėja vandens skaidrumas ir ištirpusio degūnies kiekis, o tai kenkia vandens organizmams ir ekosistemų stabilumui.

Fenotipinis plastiškumas – organizmo gebėjimas prisitaikyti prie aplinkos pokyčių keičiant savo fiziologiją, morfologiją ar elgseną (pavyzdžiui, reaguojant į temperatūrą ar druskingumą).

Filtrų tiekuvai – vandens organizmai, pavyzdžiui, vėžiagyviai, kurie minta filtruodami smulkias vandens daleles ir padeda gerinti vandens kokybę.

Gyvavimo ciklo vertinimas – naudojamas aplinkosaugos poveikiui įvertinti nuo žaliavų iki galutinio produkto.

Gyvūnų gerovė – etiniai rūpesčiai dėl auginamų žuvų ir kitų vandens gyvūnų gerų gyvenimo sąlygų, sveikatos ir galimybės išreikšti natūralų elgesį akvakultūros sistemose.

Grynasis nulis – pusiausvyra tarp pagaminto ir iš atmosferos pašalinto šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) kiekio.

Grynoji energija – organizmui prieinama energija.

Hipoksija – būseną, kai vandenyje yra per mažai ištirpusio deguonies, kad dauguma vandens organizmų galėtų išgyventi. Šią būklę dažniausiai sukelia eutrofikacija arba aukšta temperatūra ir terminis sluoksniavimasis.

Infekcija – patogeninių organizmų invazija ir dauginimasis organizmo audiniuose.

Integruota daugiapakopė akvakultūra – įvairių rūšių (pavyzdžiui, žuvų, vėžiagyvių, jūrų dumblių) auginimas kartu, siekiant perdirbti maistines medžiagas ir mažinti poveikį aplinkai.

Išmanioji akvakultūra – pažangių technologijų (pavyzdžiui, DI, IoT, jutiklių) naudojimas akvakultūrai valdyti ir optimizuoti.

Jūrų dumblių akvakultūra – jūrų dumblių auginimas, siekiant CO₂ sugerties, maistinių medžiagų surinkimo ir tvaraus maisto tiekimo.

Karantinas – izoliacija arba judėjimo apribojimas, siekiant užkirsti kelią užkrečiamosios ligos plitimui.

Kenksmingų dumblių žydėjimas – spartus dumblių augimas, kuris gamina toksinus arba mažina deguonies kiekį vandenyje, kenkdamas vandens organizmams ir žmonių sveikatai.

Klimato kaita – ilgalaikiai pasaulio ar regiono klimato pokyčiai, susiję su padidėjusia šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracija atmosferoje.

Klinikiniai požymiai – gydytojo ar specialisto pastebimi ligos požymiai (pavyzdžiui, kūno paraudimas, sutrikęs plaukimas).

Ligų plitimas – greitas ligų plitimas, kurį dažnai skatina aukštesnė temperatūra ir prasta vandens kokybė.

Maistinių medžiagų apkrova – dideli azoto ir fosforo kiekiai, patenkantys į vandens telkinius iš žemės ūkio, buitinių ar pramoninių šaltinių, sukeliantys ekologinį disbalansą.

Maistinių medžiagų ciklas – procesas, kurio metu maisto medžiagos cirkuliuoja ekosistemoje; IDAS sistemos dažnai sustiprina šį ciklą.

Medžiagų apykaitos greitis – greitis, kuriuo organizmas naudoja energiją fiziologinėms funkcijoms palaikyti; žuvims aukštesnė temperatūra didina šį greitį ir deguonies poreikį.

Metabolizmo greitis – energijos sunaudojimo greitis organizme fiziologiniams procesams (pavyzdžiui, augimui, dauginimuisi, judėjimui); vandens organizmų jis dažnai didėja kylant temperatūrai.

Negyvosios zonos – vietovės vandenyje, kuriose deguonies kiekis itin mažas (dažnai dėl eutrofikacijos) ir kuriose dauguma jūros gyvių negali išgyventi.

Nitrifikacija – aerobinis procesas, kurio metu bakterijos amoniaką (NH_4^+) paverčia nitratais (NO_3^-).

Pasaulinis atšilimas – vidutinės Žemės paviršiaus temperatūros kilimas, susijęs su didėjančia šiltnamio dujų koncentracija, lemiantis jūros lygio kilimą, ekstremalius orus ir ekosistemų pokyčius.

Pašarų efektyvumo rodiklis – rodo prieaugio ir suvartotų pašarų santykį.

Pašarų konversijos koeficientas – rodo, kiek pašarų reikia, norint užauginti tam tikrą kiekį gyvūnų svorio.

Pašarų konversijos koeficientas – rodiklis, parodantis, kiek pašarų reikia tam tikram žuvų ar kitų akvakultūros organizmų kūno masės priaugimui. Kuo mažesnis FCR, tuo efektyviau pašarai paverčiami augimu.

Patogenas – mikroorganizmas (pavyzdžiui, bakterija, virusas, parazitas), galintis sukelti vandens organizmų ligas.

pH – vandens rūgštingumo arba šarmingumo matas; mažesnė vertė rodo rūgštesnį vandenį.

Poveikio švelninimo strategijos – priemonės, skirtos neigiamam klimato kaitos ar aplinkos pokyčių poveikiui mažinti (pavyzdžiui, CO_2 emisijų mažinimas, tvarios praktikos diegimas).

Prebiotikai – skaidulingi maisto priedai, kurie skatina naudingų mikroorganizmų augimą žarnyne.

Prebiotikų papildas – maisto produktai (paprastai turintys daug skaidulų), kurie veikia gyvūnų mikroflorą kaip maistas.

Probiotikai – tai gyvi mikroorganizmai, kurie, vartojant pakankamą kiekį, teigiamai veikia žarnyno mikroflorą ir prisideda prie šeiminingo sveikatos gerinimo. Jie gali būti maisto produktuose arba maisto papilduose.

Probiotikų papildas – maisto produktai arba maisto papildai, kurių sudėtyje yra gyvų mikroorganizmų.

Recirkuliacinės akvakultūros sistemos – uždaro ciklo sistemos, kuriose vanduo cirkuliuoja pakartotinai, leidžiant tiksliai kontroliuoti aplinkos sąlygas ir taupyti vandenį.

Rūgštėjimas – procesas, kurio metu mažėja vandens pH ir jis tampa rūgštesnis. Vandenyne tai daugiausia vyksta dėl atmosferos CO₂ absorbcijos.

Selekcinis veisimas – procesas, kurio metu parenkami tėviniai organizmai su pageidaujamosiomis savybėmis, siekiant palikuonių, turinčių tokias pačias ar geresnes savybes (pavyzdžiui, greitesnį augimą ar atsparumą ligoms).

Sterilizacija UV spinduliais – ultravioletinių spindulių naudojimas patogėms vandenyje sunaikinti, ypač RAS sistemose.

Šiltnamio efektą sukeliančios dujos – tai atmosferoje esančios dujos, tokios kaip anglies dioksidas (CO₂), metanas (CH₄) ir azoto oksidas (N₂O), kurios sulaiko šilumą ir prisideda prie pasaulinio atšilimo bei klimato kaitos.

Šiluminė įtampa – stresas, atsirandantis, kai vandens temperatūra neatitinka organizmo optimalių sąlygų, trikdamas augimą ar dauginimąsi.

Terminė stratifikacija – temperatūros sluoksnių susidarymas vandens telkinyje, trukdantis vertikaliam maistinių medžiagų ir deguonies pasiskirstymui, galintis lemti hipoksines sąlygas.

Transgeninės rūšys – genetiškai modifikuoti organizmai, kuriems įterpti kitų rūšių genai. Akvakultūroje tai gali būti žuvis, kurios auga greičiau arba pasižymi didesniu atsparumu ligoms.

Trofiniai lygmenys – tai mitybos grandinės pakopos ekosistemoje, per kurias energija perduodama nuo pirminių gamintojų (pavyzdžiui, augalų ar dumblių) iki vartotojų (žolėdžių, plėšrūnų) ir skaidytojų.

Tvaraus valdymo praktika – metodai, kurių tikslas – subalansuoti aplinkos, ekonominius ir socialinius aspektus ilgalaikiam gamtos išteklių tausojimui.

Uždara recirkuliacinė akvakultūros sistema – sistema, kurioje vanduo perdirbamas kontroliuojamoje aplinkoje, sumažinant vandens suvartojimą ir poveikį aplinkai.

Vakcina – biologinis preparatas, skirtas sukurti arba sustiprinti imunitetą prieš konkrečią ligą.

Vandenyne rūgštėjimas – tai vandenyne pH mažėjimas, sukeltas perteklinio anglies dioksido (CO₂) įsisavinimo iš atmosferos. Šis procesas trikdo tokių kalcifikuojančių organizmų kaip moliuskai ar koralai gebėjimą formuoti kiautus ar skeletus.

Vandens ekosistema – vandens aplinka, kurioje gyvi organizmai sąveikauja tarpusavyje ir su fizine aplinka.

Vandens kokybė – fizinės, cheminės ir biologinės vandens savybės, lemiančios vandens organizmų sveikatą ir produktyvumą.

Vandens trūkumas – būseną, kai vandens išteklių nepakanka patenkinti ekologinius ir žmonių poreikius, ypač klimato kaitos ir intensyvaus vartojimo sąlygomis.

Vibrio spp. – bakterijų grupė, klestinti šiltame vandenyje ir sukelianti žuvų bei krevečių ligas.

Vlasta BARTULOVIC, Anželika DAUTARTĖ, Ergün DEMIR, Tatjana DOBROSLAVIČ,
Dimitris KLAUDATOS, Halyna KRUSIR, Maryna MARDAR, Olha SAHDIEIEVA, Muhittin ZENGİN,
Alvydas ŽIBAS, Gražina ŽIBIENĖ

Akvakultūra klimato kaitos amžiuje

Metodinis leidinys

Atsakingoji redaktorė Anželika DAUTARTĖ

Iš anglų kalbos vertė Anželika Dautartė

Redaktorė Auksė Matiukė

Maketuotoja Laura Petrauskienė

Viršelio dizaineris Darius Jelenskis

2025 06 25. Tiražas 50 egz. Užsakymo Nr. K25-024.

Išleido

Vytauto Didžiojo universitetas
K. Donelaičio g. 58, LT-44248, Kaunas
www.vdu.lt | leidyba@vdu.lt

Spausdino

UAB „Vitaė Litera“
Savanorių pr. 137, LT-44146, Kaunas
www.tuka.lt | info@tuka.lt