



Funded by
the European Union



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

5 modulis. Ligos akvakultūroje klimato kaitos kontekste ir apsaugos priemonės

Doc. dr. Gražina Žibienė
Alvydas Žibas, Akvakultūros centro vadovas
Vytauto Didžiojo universitetas, Lietuva

Turinys

Ivadas	2
1. Dažniausios ligos ir jų poveikis vandens organizmams.....	4
1.1. Ligos akvakultūroje: klasifikacija ir požymiai	4
1.2. Infekcinės ligos pagal patogenų tipus	8
1.3. Pagrindinės moliuskų, vėžiagyvių ligos	11
1.4. Patogenų plitimo ir gydymo būdai.....	11
2. Apsaugos priemonės ir inovatyvūs sprendimai	13
2.1. Bendrosios ligų valdymo strategijos.....	13
2.2. Biotechnologiniai sprendimai valdant ligas.....	16
2.3. Integruotos patogenų valdymo strategijos auginant žuvis	18
3. Klimato kaitos įtaka ligų plitimui ir ateities iššūkiai	22
3.1. Klimato veiksniai, lemiantys ligų paplitimą	22
3.2. Genetinės apsaugos priemonės	23
3.3. Ateities kryptys: integruoti sprendimai.....	24
Santrauka	25
Literatūra.....	25



Įvadas

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, epiteliui, imuninėms ląstelėms ir vidinei aplinkai (t. y. kūno skysčiams, ląstelėms, audiniams ir organams) vandens organizmuose. Šie pokyčiai silpnina akvakultūros organizmų imuninį 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 dabartinį 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 apibrėžiama 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 šeimininkų 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.



1. Dažniausios ligos ir jų poveikis vandens organizmams

1.1. Ligos akvakultūroje: klasifikacija ir požymiai

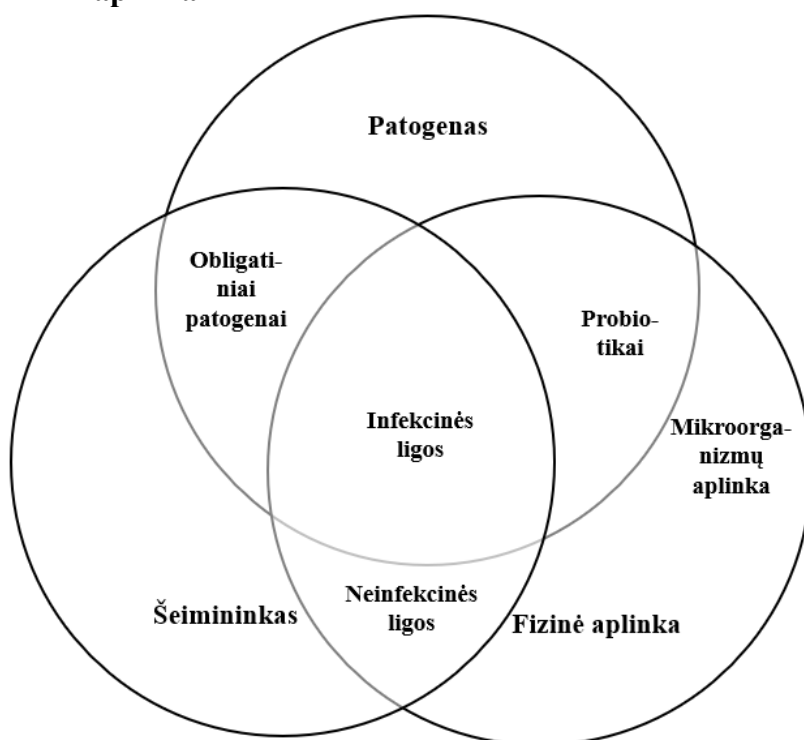
Įvadas į akvakultūros ligas

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.**



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

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).

Elgesio ir fiziniai sutrikimai

Nenormalus elgesys dažnai yra pirmasis požymis, rodantis artėjančią žuvų sveikatos problemą. Specialistai turi būti gerai susipažinę su žuvų rūšims 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 žuvis 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).

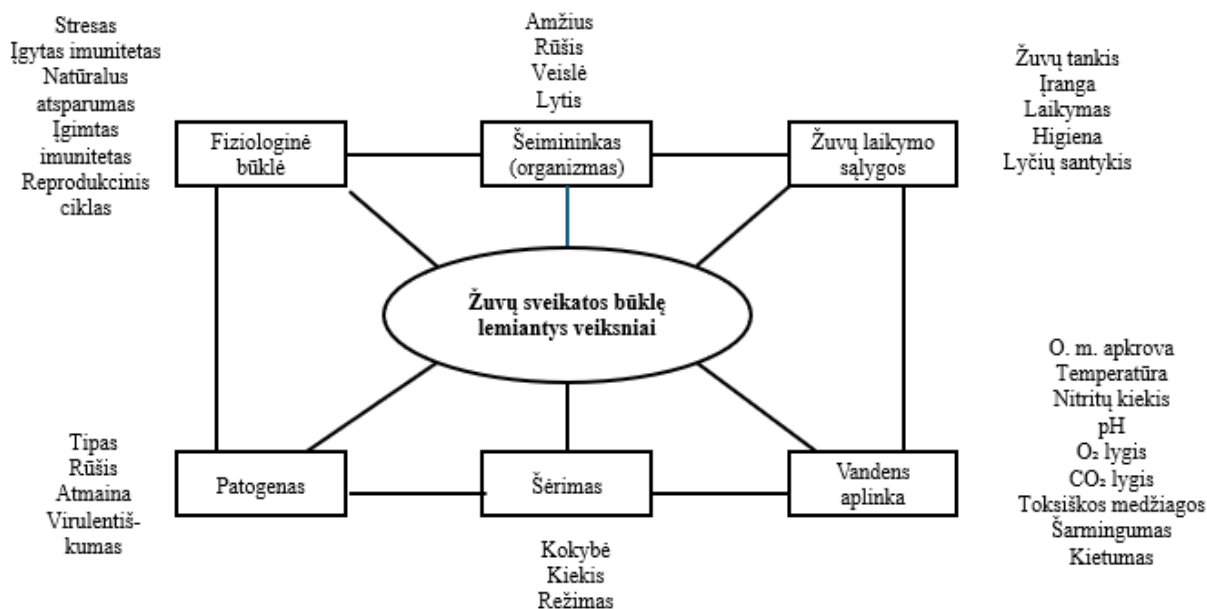
5.1 lentelė. Žuvų elgsenos ir fiziniai streso ir ligos požymiai (Timmons & Ebeling, 2013)

Žuvų elgesys	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 ištekančio 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 pelekų 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



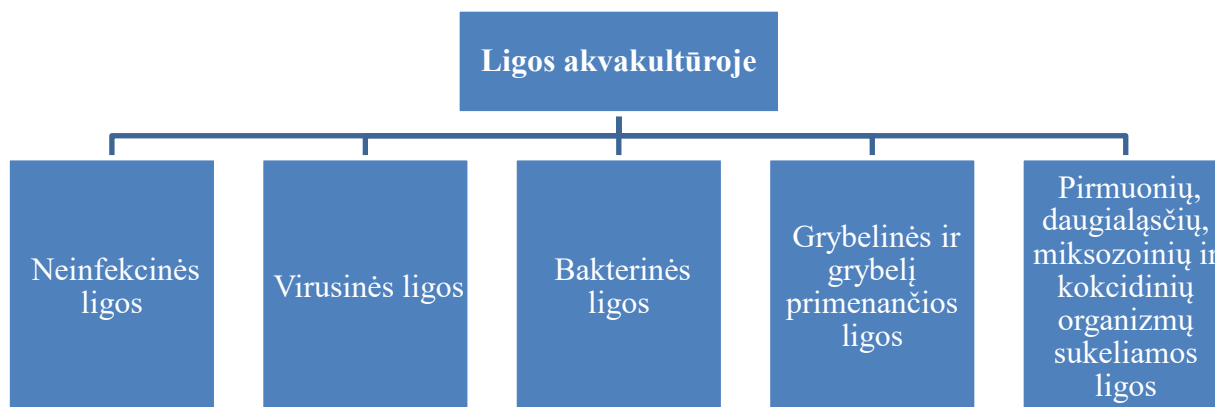
sėkmingai užkirsti kelią ligoms arba bent jau sumažinti nuostolius, patiriamus dėl ligų akvakultūroje (Jeney, 2017).



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, kokcidijų 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, knygose, 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. toksiškumas) 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).

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



Funded by
the European Union



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

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

1.2. 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 karpių viremija,
- epizootinė hematopoetinė nekrozė,
- raudonpelekių ešerių iridovirusas,
- infekcinė lašišų anemija,
- lašišinių žuvų alfa virusas.

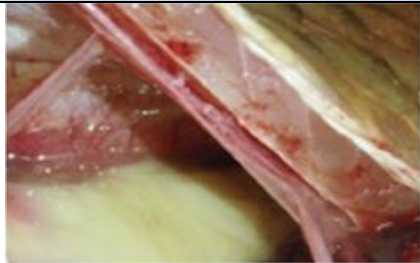
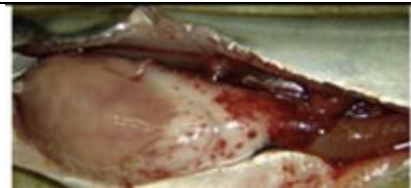
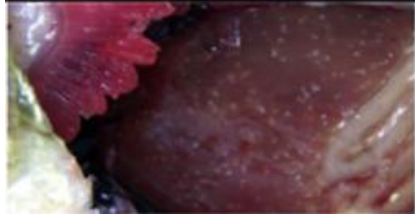

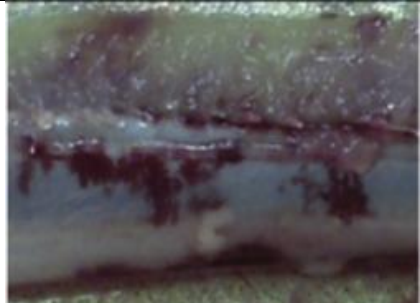


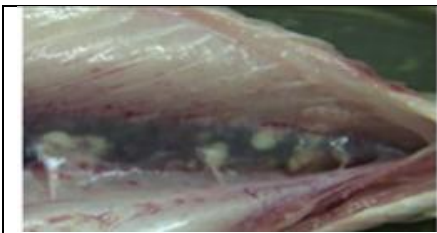
Funded by
the European Union



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

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

Neįprasti požymiai	Galimos ligos priežastys
	Skysčių sanakaupa 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 granulomatozines 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



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, miksozoinių 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.

Miksozoiniai (*Myxozoa*) – dažni laukinėje gamtoje sugautų žuvų ir tvenkiniuose auginamų žuvų parazitai. Dauguma šių parazitų pasižymi netiesioginiu gyvavimo ciklu, kuriame dažniausiai dalyvauja mažašerės, daugiašerės kirmėlės ir samangyviai.

1.3. 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 nelson*;
- *Haplosporidium costalis*;
- *Bonamia mackini*;
- *Bonamia ostrea*;
- *Marteilia refringens*;
- *Hexamita nelson*.

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

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

1.4. 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 dėsnį. Esant stovinčiam vandeniui, aplink užkrėstą individą susiformuoja patogenų koncentracijos gradientas.

Kiti patogenai, tokie kaip bakterijos, grybelio zoosporos, pirmuonys ir daugialąsčiai parazitai, dažniausiai pasižymi aktyviu, tačiau nevienodu judėjimu. Didėjant atstumui, mažiau patogenų pasiekia jautrius 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 šeiminkai. 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 žuvis 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. Būtinas 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.

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 šiems 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.

2.1. Bendrosios ligų valdymo strategijos

Ligos kontrolė akvakultūroje dažniausiai grindžiama prielaida, kad pageidautina būseną yra visiškai 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 visiškai 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 patogenu 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 šeimininkus,
- 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 jauniklius išplatina 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, jodoforais, 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 žuvys – 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 žuvis, 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 jauniausiuose 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



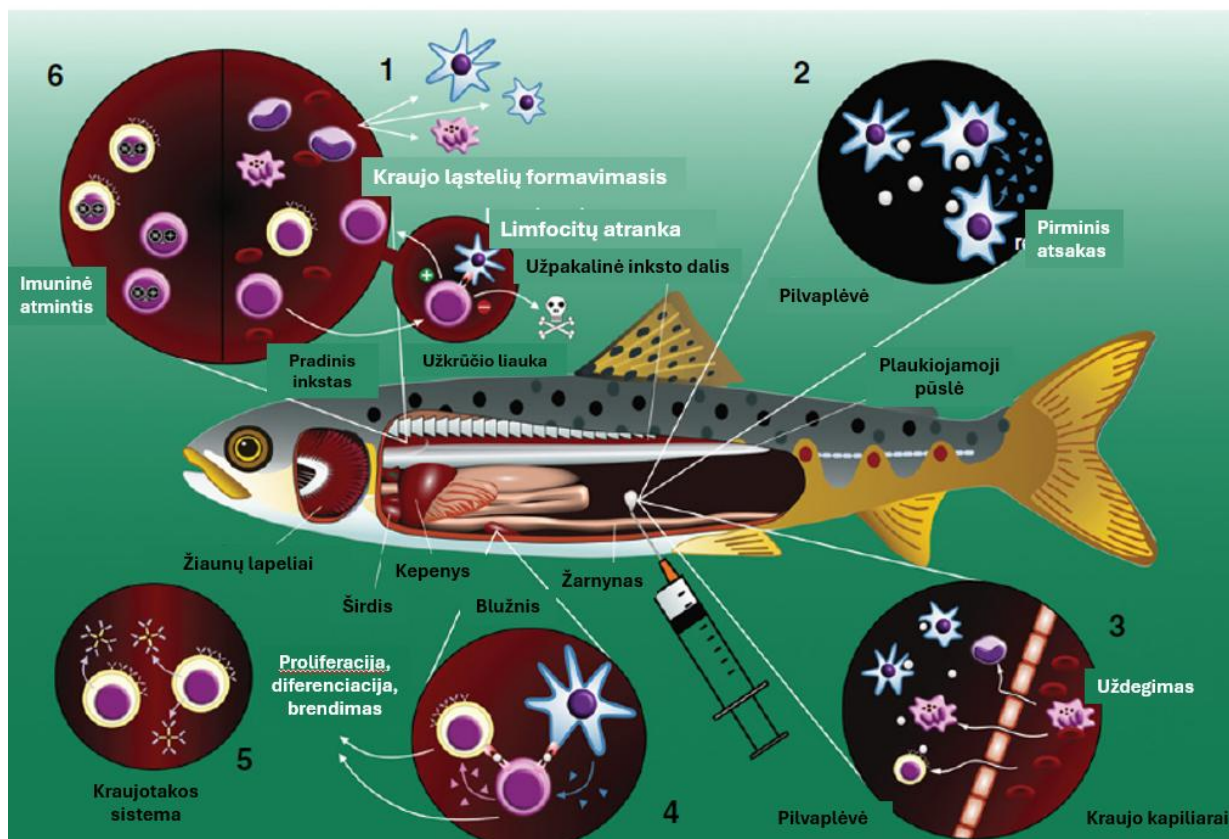
nepavyksta, organizmas išsenka, o streso hormonų gamyba tampa perteklinė. Du veiksmingiausi būdai stresui mažinti: dvigubinti aeraciją, ypač vasarą, siekiant sumažinti deguonies stresą, ir mažinti žuvų tankį.

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

2.2. 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 sudėtinės dalis ir įsimeina 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 chema, kurioje pavaizduoti pagrindiniai imuniniai audiniai ir atsako į vakcinaciją intraperitoninę injekciją eiga (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 imuninį 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, skatinamos arba sustiprinamos imuninį 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 imuninį 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.

Įrodyta, kad imunostimuliatoriai pagerina žuvų atsparumą ligoms ir sustiprina jų imuninį atsaką esant stresinėms sąlygoms, todėl jų naudojimas tapo įprasta ligų prevencijos programų dalimi akvakultūroje, ypač dėl to, kad juos galima lengvai pateikti žuvims 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 imuninę 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.

2.3. 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 gydymąsias 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 epizootiologiją, 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.

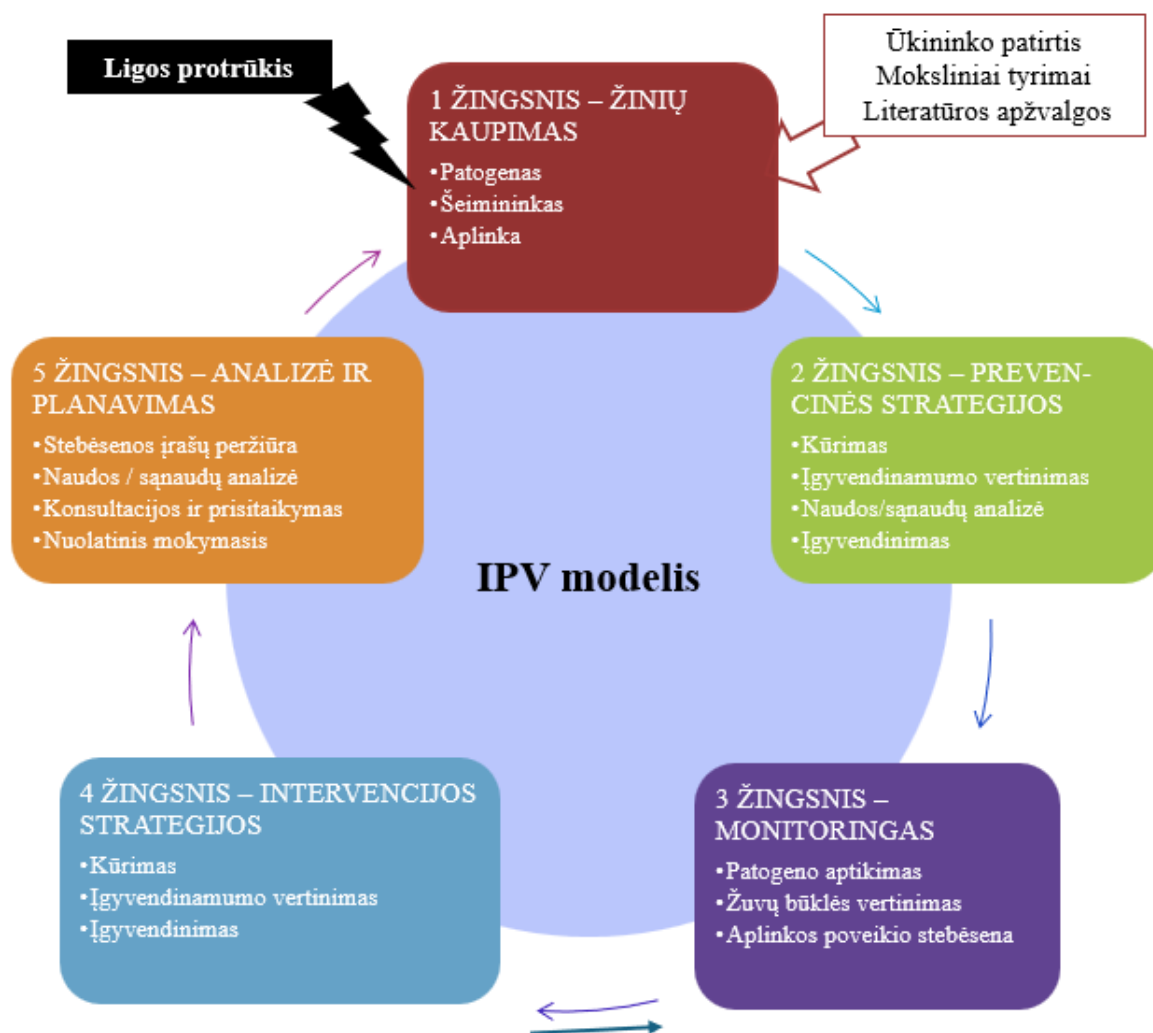
Valdymas. Tai patogenų palaikymas žemiau ekonominio žalingumo slenksčio, o ne jų išnaikinimas. Valdymo tikslas – rasti efektyvias, ekonomiškai pagrįstas strategijas, kurios sukeltų kuo mažesnę žalą aplinkai.

IPV sistemų kūrimas yra procesas, kurį sudaro keli etapai, apibendrinti 7 paveiksle (Jeney, 2017). Procesas prasideda, kai patogenas sukelia ligos protrūkį, o **pirmasis žingsnis** – sukaupti visą įmanomą informaciją apie svarbiausią (-us) patogeną (-us) (gyvavimo ciklą, šeimininko užkrėtimo strategijas, natūralius priešus, pernešėjus ir kt.), taip pat apie šeimininko ir aplinkos rizikos veiksmus, kurie palengvina 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 įgyvendinimo galimybių bei kaštų ir naudos kiekvienam patogenui įvertinimą. **Trečiasis žingsnis** – ligos stebėseną, kuri apima patogeno aptikimą, šeimininko būklės stebėseną 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 įvertinimą 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).

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.



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

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 aukštesnės temperatūros 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.

3. Klimato kaitos įtaka ligų plitimui ir ateities iššūkiai

3.1. Klimato veiksniai, lemiantys ligų paplitimą

Intensyvėjimas. Net ir esant pastovioms aplinkos sąlygoms, akvakultūros gamybos intensyvėjimas 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.

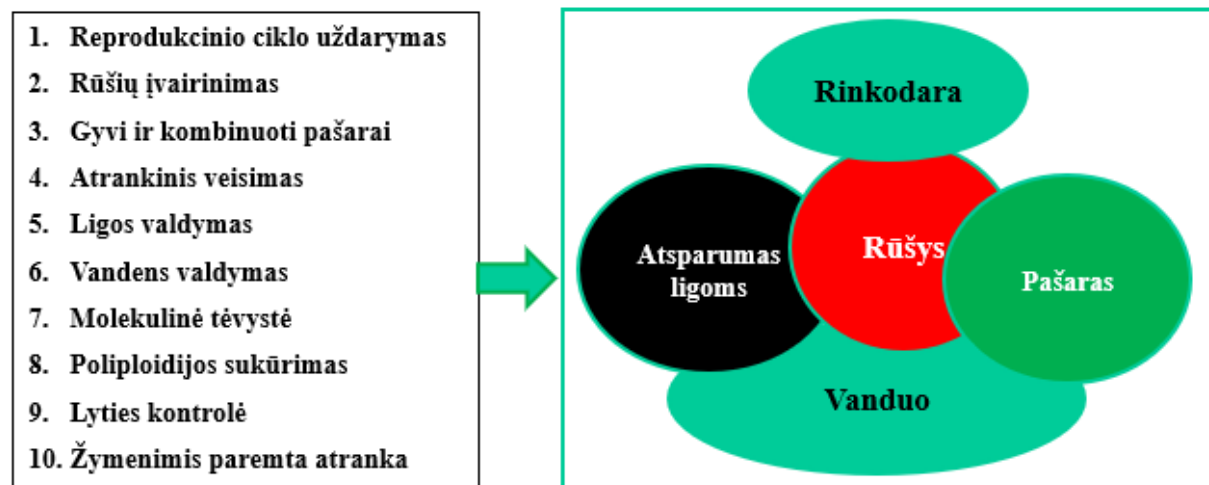
Abi selekcijos kryptys apima atsparumo ligoms atranką: toleranciją (infekcija be reikšmingo mirtingumo) ir atsparumą (gebėjimas išvengti infekcijos). Tačiau tokių selekcinų sprendimų privalumai priklauso nuo pastovių aplinkos parametrų. Kai aplinkos sąlygos tampa ekstremalios (pavyzdžiui, temperatūros, druskingumo, drumstumo svyravimai), atrinktos rūšys ir / arba genetinės 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 ištverti 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).

3.2. Genetinės apsaugos priemonės

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



A. Akvakultūroje taikomos technologijos

B. Svarbūs akvakultūros komponentai



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

Genetinis tobulinimas selekcijos būdu buvo vienas iš pagrindinių veiksnių, lėmusių pasaulinės akvakultūros plėtrą. Molekulinė 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 veislinės vertės. 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 vaisingumo 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.

3.3. Ateities kryptys: integruoti sprendimai

Šiuolaikiniai metodai padėjo sumažinti ligų paplitimą ir priklausomybę nuo antibiotikų bei cheminių gydymo priemonių. Norvegijoje vakcinų kūrimas ir geresnė 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 atnaujindami 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>



Funded by
the European Union



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

- 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.