



1 modulis. Pasaulinio atšilimo poveikis vandens kokybei ir įtaka akvakultūrai

Doc. dr. Anželika Dautartė
Vytauto Didžiojo universitetas



Įvadas

- **Kylanti temperatūra** pagreitina vandens gyvūnų medžiagų apykaitą, didina **deguonies poreikį** ir sukelia **augimo bei reprodukcijos problemų**.
- **Pajūrio ir estuarijų ekosistemos** kenčia nuo **druskingumo svyravimų**, kuriuos lemia **tirpstantis poliarinis ledas** ir kintantis **kritulių kiekis** (Guimbeau et al., 2024; Mensah et al., 2025).
- Druskos koncentracijos pokyčiai sutrikdo **rūšių pasiskirstymą**, mažina **biologinę įvairovę** ir apsunkina **akvakultūros veiklą**.
- **Maistinių medžiagų nuotėkis** (iš žemės ūkio, pramonės, miestų) skatina **eutrofikaciją** → sukelia **kenksmingą dumblių žydėjimą (KDŽ)**, **deguonies praradimą** ir ekosistemų žlugimą.
- Eutrofikacija didėja dėl **žmogaus veiklos** ir **klimato kaitos**, o tai lemia **ekologinius ir ekonominius padarinius** (Zhang et al., 2024; Mensah et al., 2025).



Įvadas

- **Sausra ir nenuspėjami krituliai** mažina **vandens išteklius** ir trikdo **hidrologinius ciklus** (DeNicola et al., 2015).
- **Tarša ir netinkamas vandens valdymas** blogina **vandens kokybę**, kelia grėsmę ekosistemoms ir žmonėms.
- **Aukštesnė vandens temperatūra** kelia stresą vandens gyvūnams ir didina **patogenų** bei **parazitų** keliamą pavojų → mažina **akvakultūros derlingumą** ir **pelningumą** (Moussa et al., 2025).
- **Pasaulinis atšilimas** keičia akvakultūros geografiją: jūrų atšilimas, vandenynų srovių pokyčiai ir kritulių pokyčiai daro įtaką **vietovių tinkamumui**.
- Ūkiai turi **persikelti į kitas vietas**, kur susiduria su naujomis grėsmėmis, pavyzdžiui, **invazinėmis rūšimis** ir **vietos ekosistemų pažeidimai**.
- Šie pokyčiai turi rimtų **socialinių, ekonominių** ir **aplinkos pasekmių**, todėl reikia **imtis skubių veiksmų**.



1. PASAULINIO ATŠILIMO POVEIKIS VANDENS KOKYBEI



Šiluminės stratifikacijos ir deguonies trūkumas

- Šiluminė stratifikacija sukuria sluoksnius dėl temperatūrų skirtumų.
- Dėl pasaulinio atšilimo padidėja paviršinių ir giliųjų vandenų atskyrimas.
- Dėl riboto vertikalios maišymosi giluminiuose sluoksniuose mažėja deguonies kiekis.
- Nerimą keliantys regionai:
 - Rytų tropinis Ramusis vandenynas, Arabijos jūra.

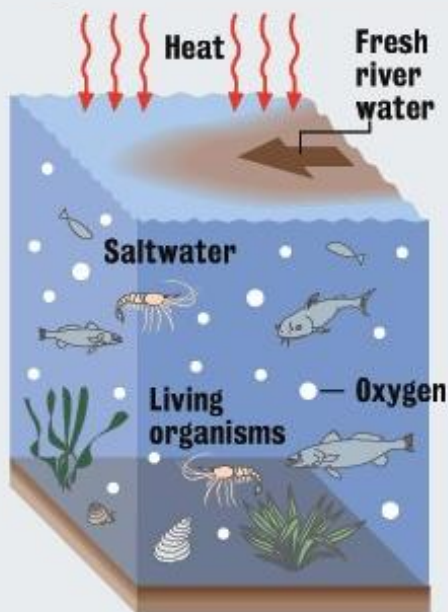


Regioninės ir pasaulinės tendencijos

- Pasaulinis vandenynų deguonies mažėjimas: 2 % nuo 1960 m.
- Pakrančių hipoksinės zonos:
 - Meksikos įlanka,
 - Česapiko įlanka.
- Palydoviniai duomenys:
 - Upvelingo regionuose pastebimas didelis deguonies kiekio svyravimas.

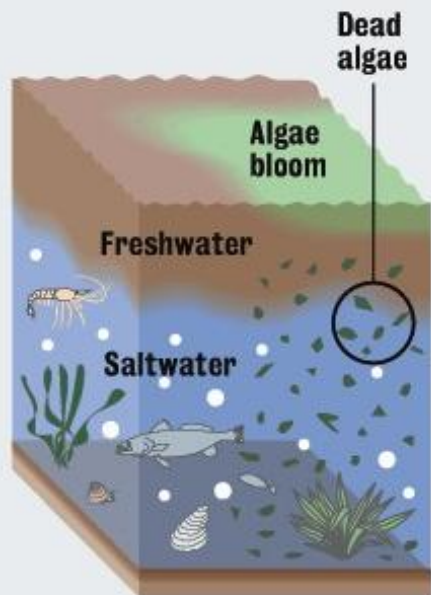


Kaip formuojasi negyvosios zonos

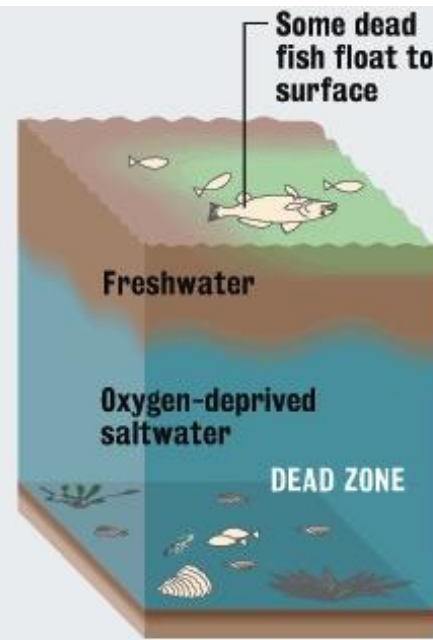


1 During the spring, sun-heated freshwater runoff from the Mississippi River creates a barrier layer in the Gulf, cutting off the saltier water below from contact with oxygen in the air.

Source: Staff research



2 Nitrogen and phosphorus from fertilizer and sewage in the freshwater layer ignite huge algae blooms. When the algae die, they sink into the saltier water below and decompose, using up oxygen in the deeper water.

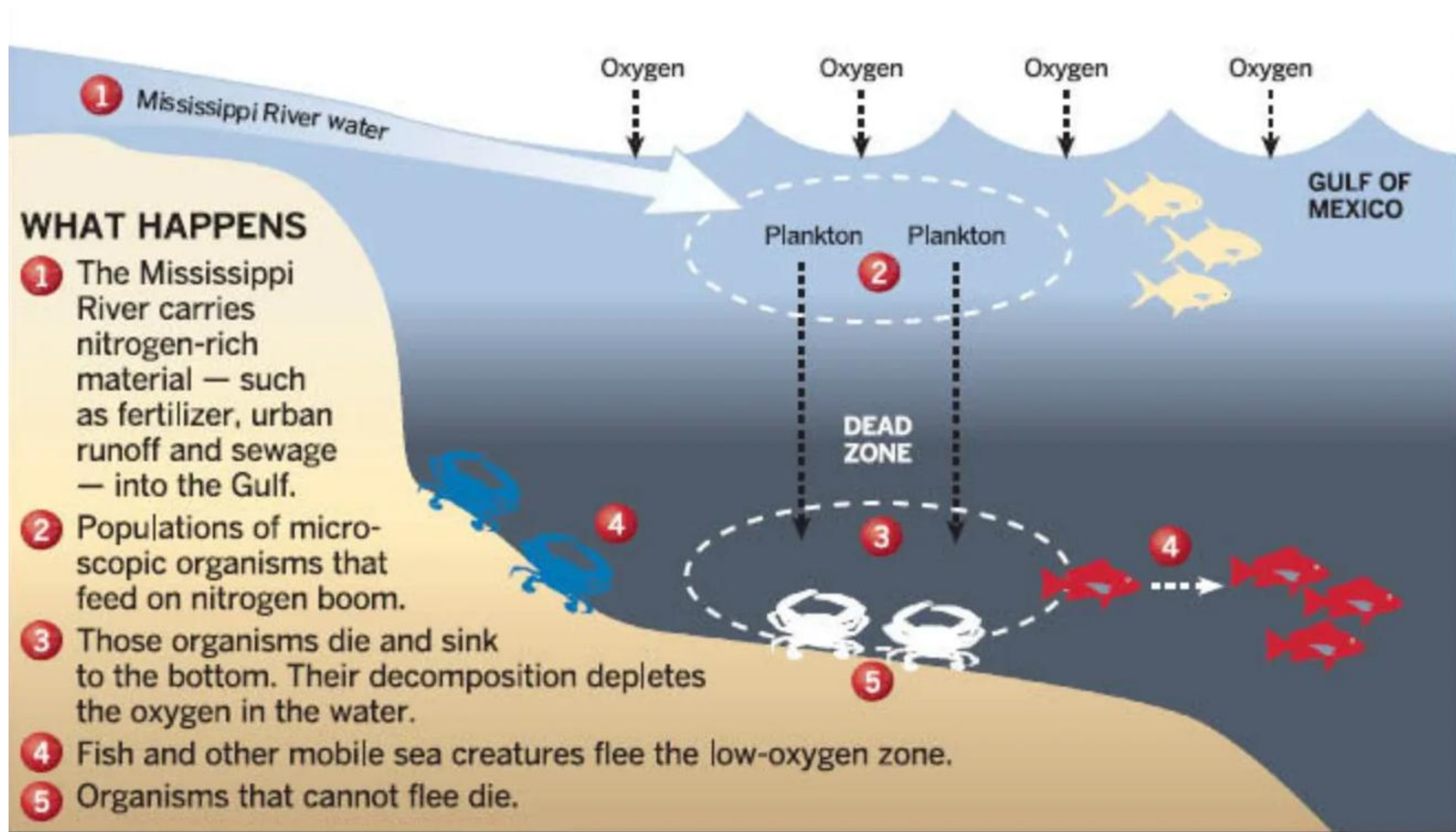


3 Starved of oxygen and cut off from resupply, the deeper water becomes a dead zone. Fish avoid the area or die in massive numbers. Tiny organisms that form the vital base of the Gulf food chain also die. Winter brings respite, but spring runoffs start the cycle anew.

STAFF GRAPHIC BY DAN SWENSON



Kaip formuojasi negyvoji zona Meksikos įlankoje



Source: U.S. Environmental Protection Agency

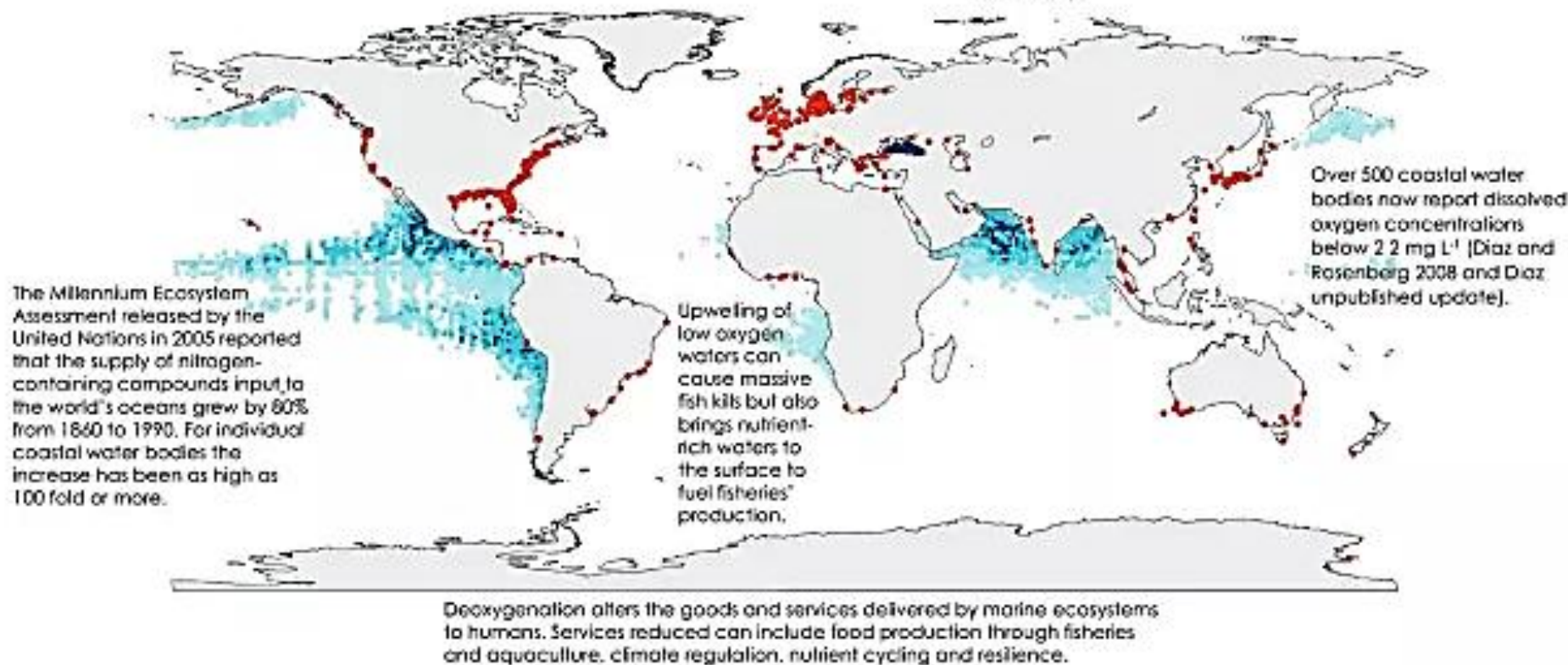
Advocate graphic



Deguonies kiekio mažėjimas vandenynuose

During the past 50 years, the area of low oxygen water in the open ocean has increased by 4.5 million km².¹ The world's oceans are now losing approximately 1 gigaton of oxygen each year (Keeling and Garcia 2002).

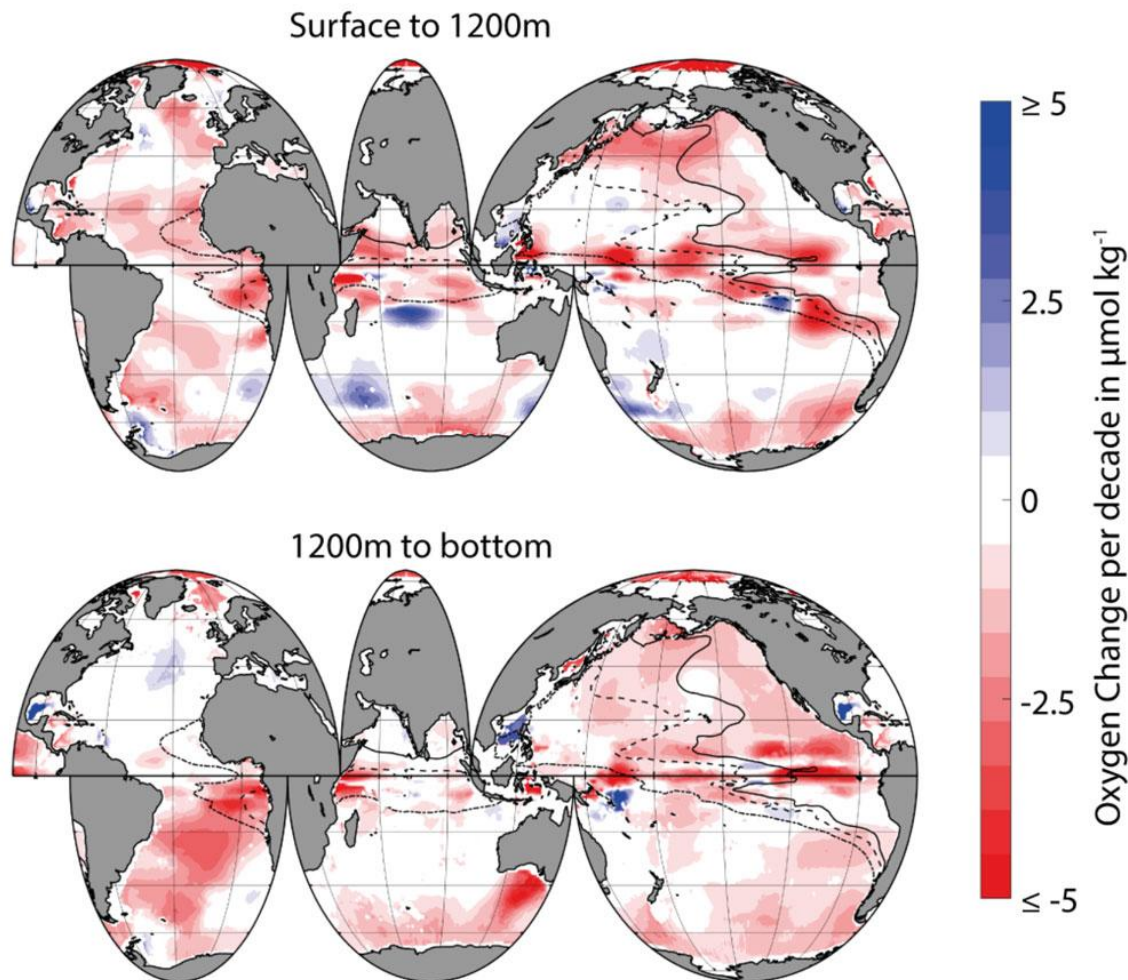
The Baltic Sea has the largest coastal water hypoxic zone. In 2011 the area of water with dissolved oxygen concentrations <2 mg L⁻¹ was nearly 80,000 km². (Castensen et al. 2014).



¹The estimate is for 200 m – a slightly shallower depth than shown on this map.



Pasaulinis atšilimas ir deguonies kiekis vandenynuose





Poveikis jūrų gyvūnijai

Sėklių organizmų ir bentosinės faunos buveinių nykimas.

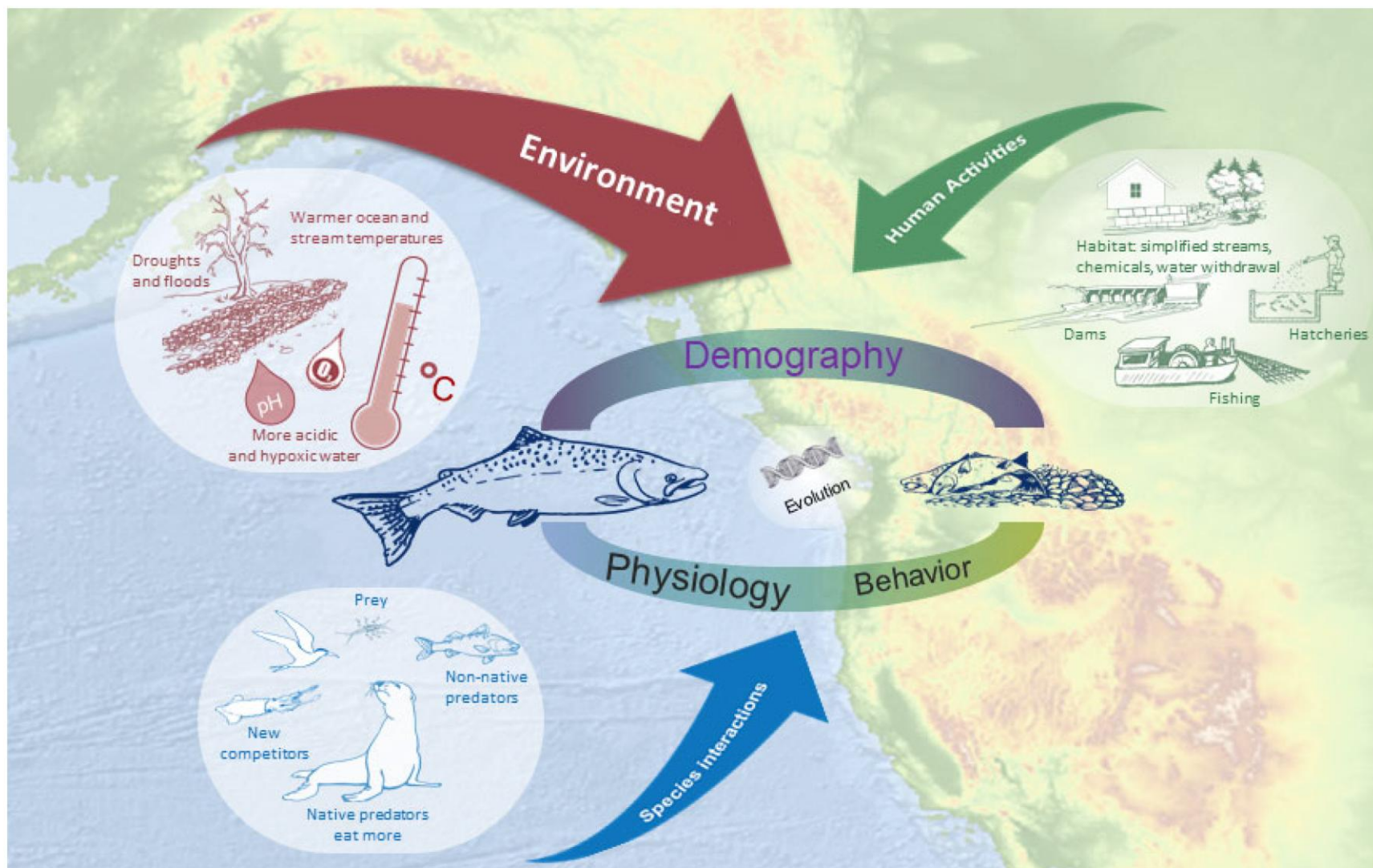
Žuvų ir judrių bestuburių gyvūnų buveinių nykimas.

Padidėjusi konkurencija ir grobuonių pavojus.

Komerciniu požiūriu svarbių rūšių populiacijų mažėjimas.



Klimato kaitos poveikį lašišoms lemia daugybė biologinių procesų (Crozier, Siegel, 2023).





Rizikos mažinimo strategijos

1. Geresnė stebėseną:
nuotolinis stebėjimas
ankstyvajai
identifikacijai

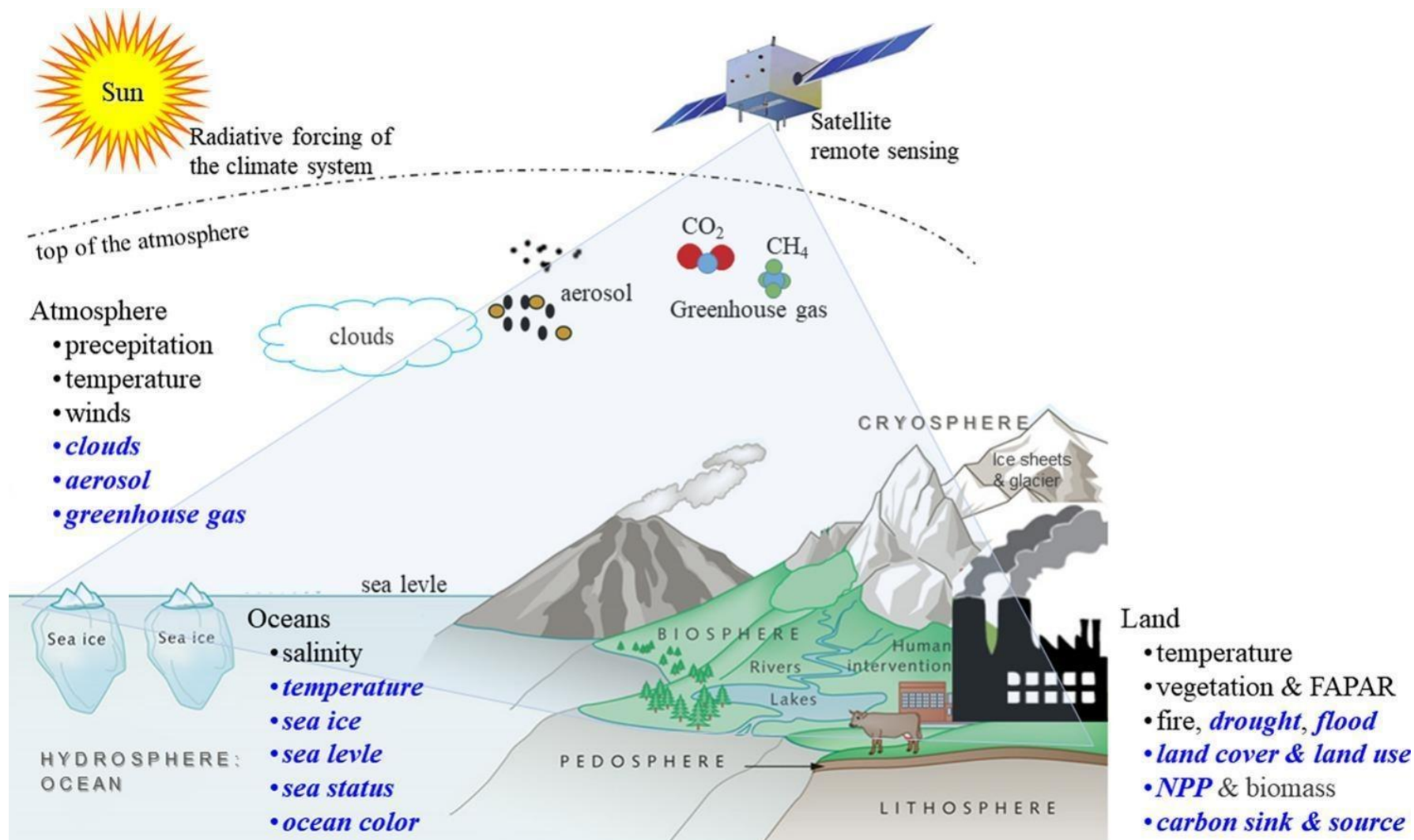
2. Maistinių
medžiagų valdymas:
žemės ūkio nuotekų
mažinimas.

3. Deguonies tiekimo
sistemos: aeravimas ir
deguonies įpurškimas
akvakultūroje.

4. Klimato kaitos
švelninimas: anglies
dioksido išmetimo
mažinimas siekiant
kovoti su atšilimu.



Klimato sistemos apžvalga su tipiniais tyrimo kintamaisiais (Zhao et al., 2023)





Temperatūros kilimas, medžiagų apykaitos ir augimo pokyčiai

Aukštesnės temperatūros poveikis:

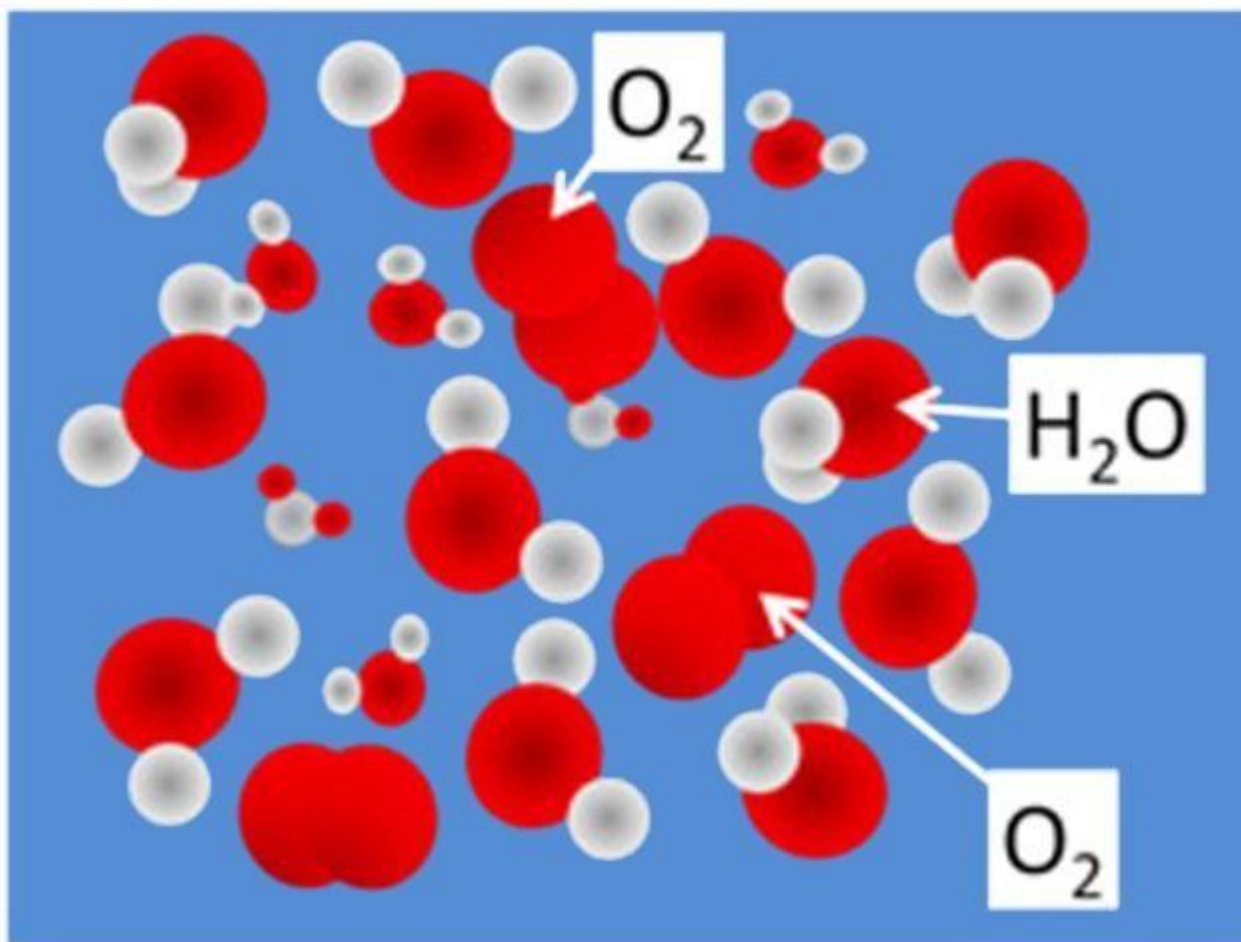
- Didina vandens organizmų medžiagų apykaitos greitį.
- Skatina didesnį deguonies suvartojimą energijos poreikiams tenkinti.
- **Temperatūrinė hipoksija:**
 - Kylant temperatūrai, sumažėja deguonies prieinamumas.
 - Apriboja aerobines galimybes, augimą ir dauginimąsi (Seibel, 2024).

Metabolinio indekso išvados:

- Aukštesnėje temperatūroje nepakankamas deguonies tiekimas riboja fiziologinius procesus (Deutsch et al., 2020).

Žuvų pažeidžiamumas:

- Padidėjęs medžiagų apykaitos greitis reikalauja daugiau deguonies, o tai tampa iššūkiu šiltuose, mažo deguonies telkiniuose.
- Neigiamai veikia augimą ir išlikimą, ypač sekliuose ar susisluoksniavusiuose vandenyse (Okon et al., 2024).



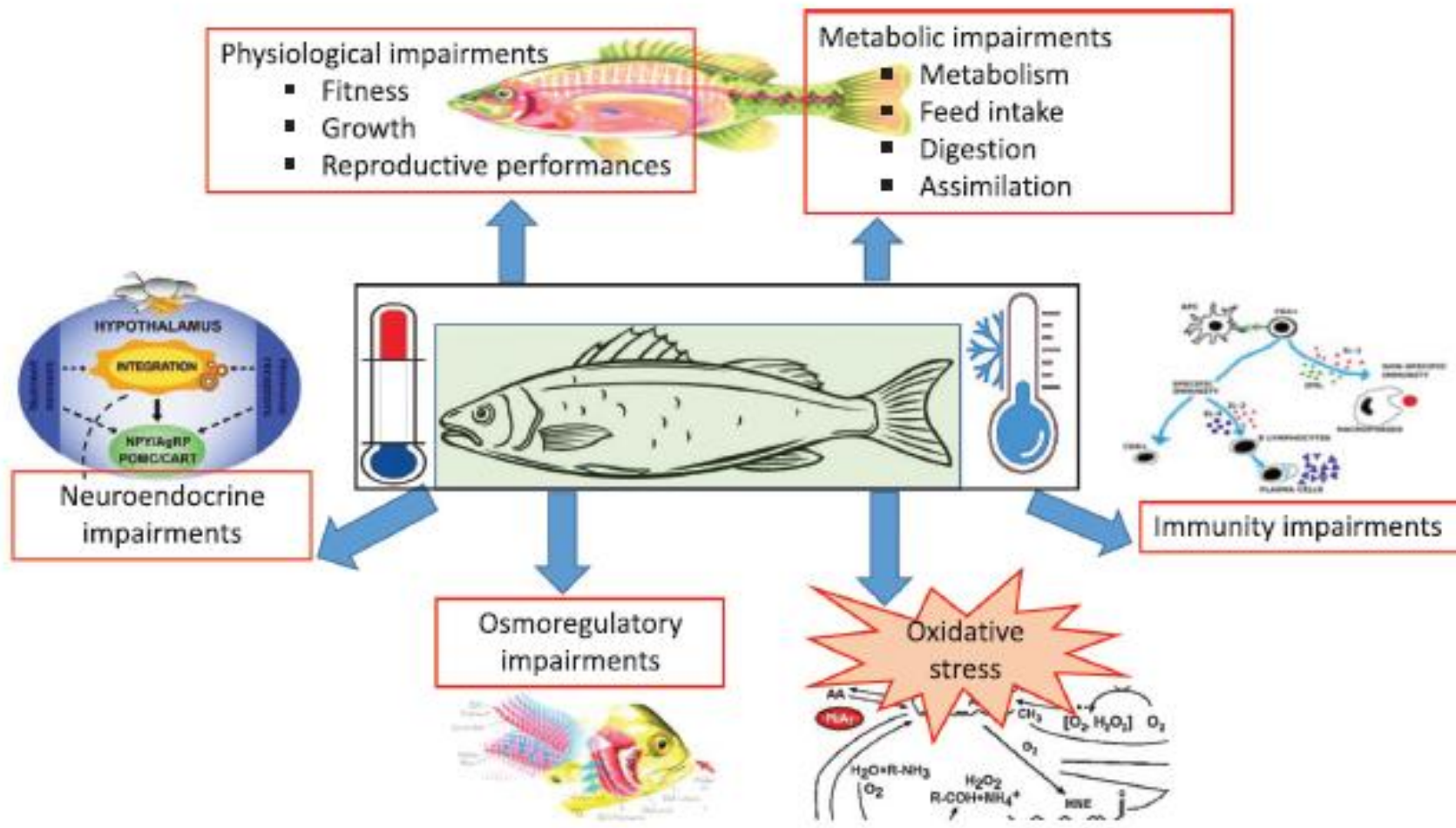
Molekulinis vaizdas, rodantis, kaip ištirpęs deguonis užima tarpelius tarp vandens molekulių (Wilson, 2019)



Augimo ir reprodukcijos iššūkiai

- Šiltesnio vandens poveikis:
 - Skatina ankstesnį žuvų brendimą, bet sutrumpina jų gyvenimo trukmę.
 - Sutrikdo populiacijos dinamiką ir ekosistemos pusiausvyrą (Liu et al., 2024).
- Poveikis reprodukcijai:
 - Pablogėja gametų kokybė ir sumažėja neršto sėkmė.
 - Šiaurės vakarų Ramiojo vandenyno rūšys dėl temperatūros pokyčių pakeitė reprodukcijos strategijas (Liu et al., 2024).
- Platesnis poveikis ekosistemai:
 - Pakopinis poveikis maisto grandinėms ir maistinių medžiagų apykaitai.
 - Padidėjęs jautrumas patogenams ir ligoms (Okon et al., 2024).

Temperatūros poveikis žuvims (Islam et al., 2021)



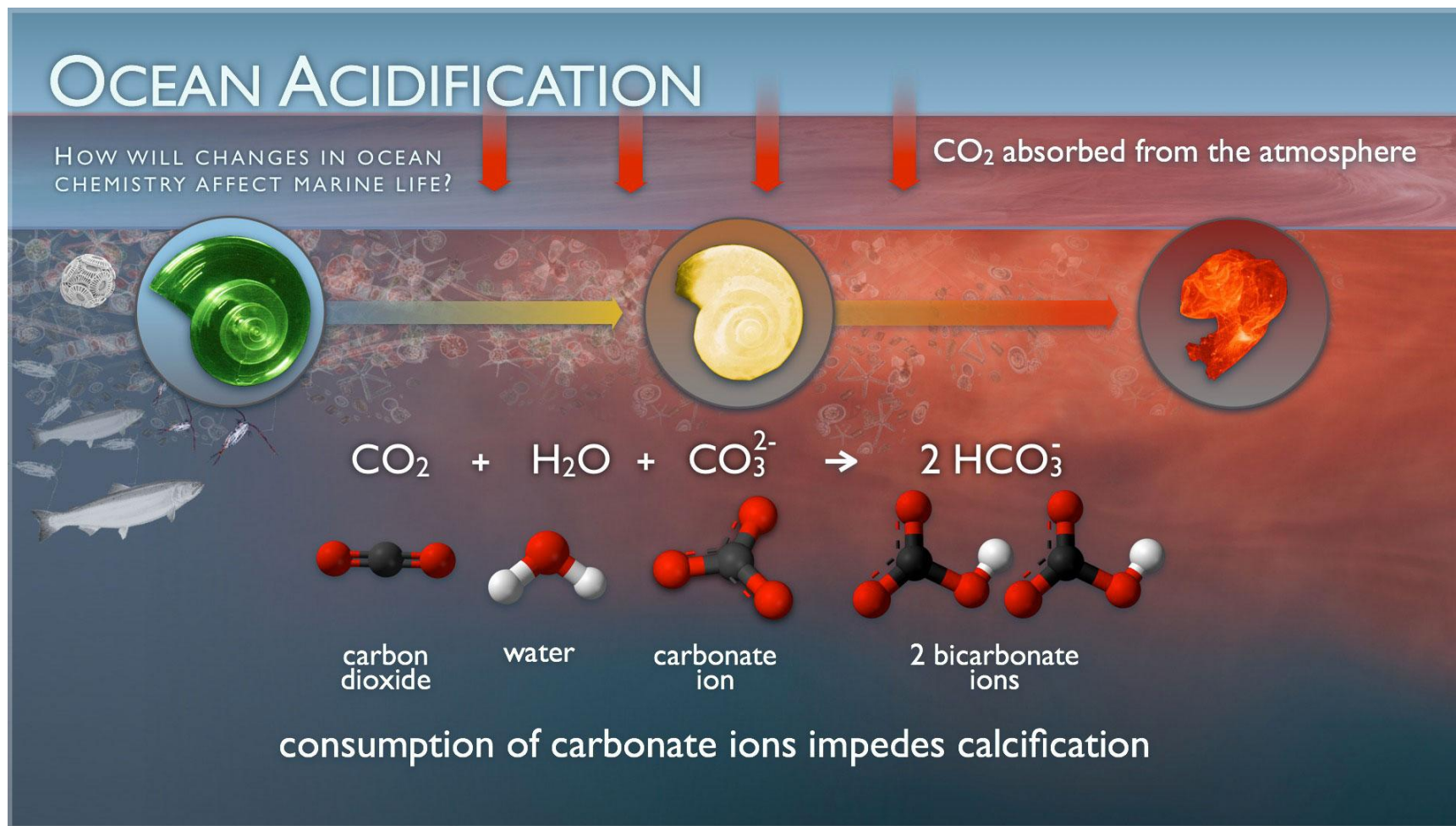


Vandenynų rūgštėjimas

- pH lygis ir vandenynų rūgštėjimas:
 - Vandenynų CO₂ absorbcija mažina pH lygį, didindama vandenilio jonų koncentraciją.
 - Nuo pramonės revoliucijos pradžios vandenynų paviršiaus pH sumažėjo apie 0,1 vieneto (Duarte et al., 2022).
 - Sumažėjęs karbonato jonų kiekis daro poveikį kalcifikuojantiems organizmams (pvz., vėžiagyviams, koralams).
- Poveikis jūrų gyvybei:
 - Kalcifikuojantys organizmai:
 - Sumažėjęs kiaučių susidarymas, padidėjęs mirtingumas (Andreyeva et al., 2024).
 - Nekalcifikuojančios rūšys:
 - Pakeistos jutimo funkcijos ir elgsena (Grabba et al., 2024).



Vandenynų rūgštėjimas (NOAA, 2025)



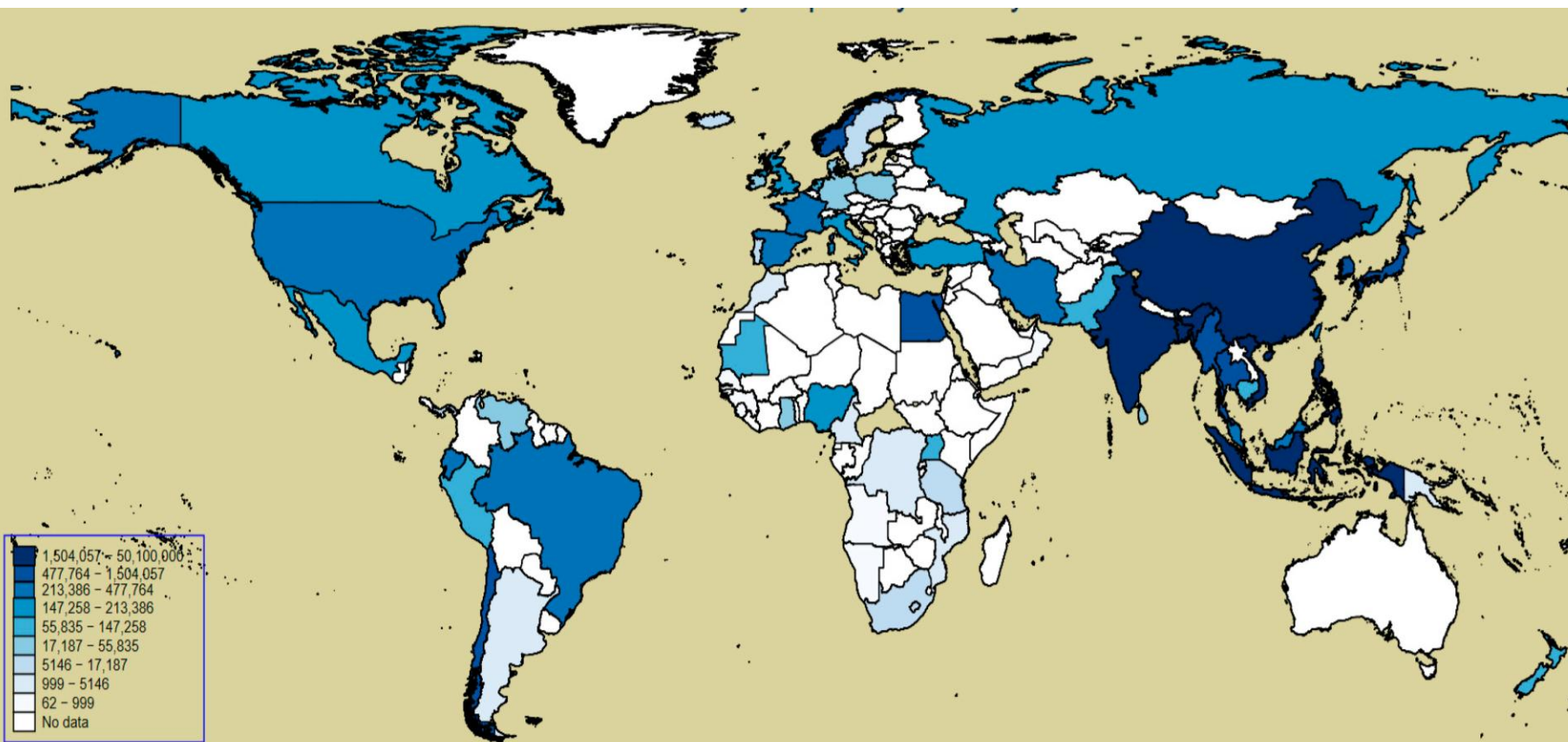


Ekonominės ir ekologinės pasekmės

- Ekonominiai padariniai:
 - Iššūkiai moliuskų žvejybai ir akvakultūrai.
 - Prognozuojami Jungtinės Karalystės žuvininkystės nuostoliai siekia 14–28 % esant didelėms emisijoms (Mangi et al., 2018).
- Ekologiniai sutrikimai:
 - Sumažėjus kalcifikuojančių organizmų populiacijoms, trikdoma plėšrūno ir grobio pusiausvyra.
 - Integruota daugiapakopė akvakultūra – kaip švelninimo strategija (Hamilton et al., 2022).



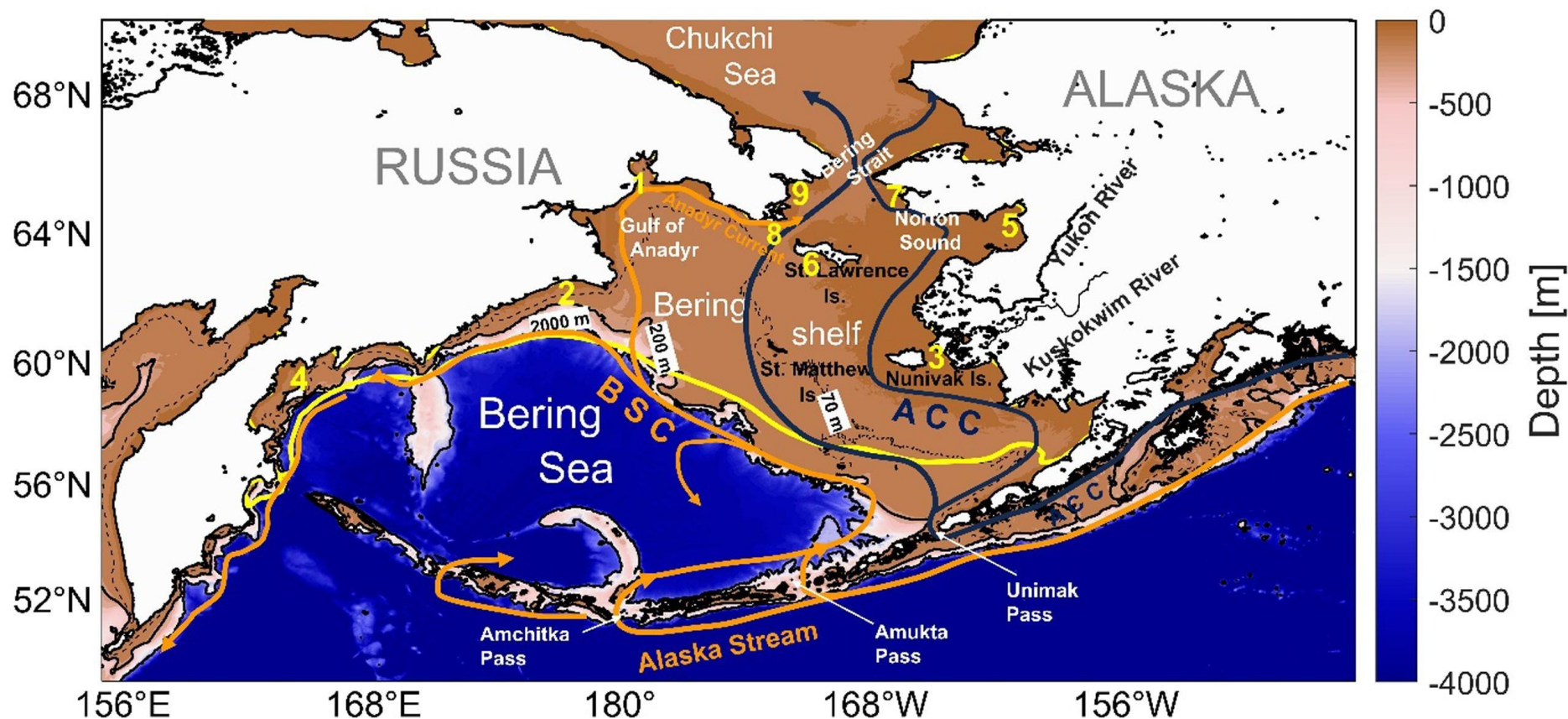
Pasaulinės žuvininkystės produkcijos geografinis paskirstymas 2001–2020 m. (Pham et al., 2023)





Druskingumo pokyčiai

- Druskingumo pokyčius lemiantys mechanizmai:
 - Gėlo vandens srautai iš tirpstančių ledynų, kritulių ir upių nuotėkio.
 - Aliaskos šiaurinis įlankos regionas veikiamas ledynų vandens (Reister et al., 2024).
 - Beringo jūra:
 - Sumažėjęs jūros ledo kiekis padidina tirpsmo vandens apimtį, silpnina vandens sluoksniavimąsi ir keičia maistinių medžiagų ciklus (Mensah et al., 2025).
- Poveikis jūrų ir žiotyse gyvenantiems organizmams:
 - Sutrikdo osmoreguliaciją, augimą ir dauginimąsi.
 - Česapiko įlanka:
 - Druskingumo pokyčiai mažina rūšių įvairovę ir keičia bendrijų sudėtį (Zhang et al., 2024).

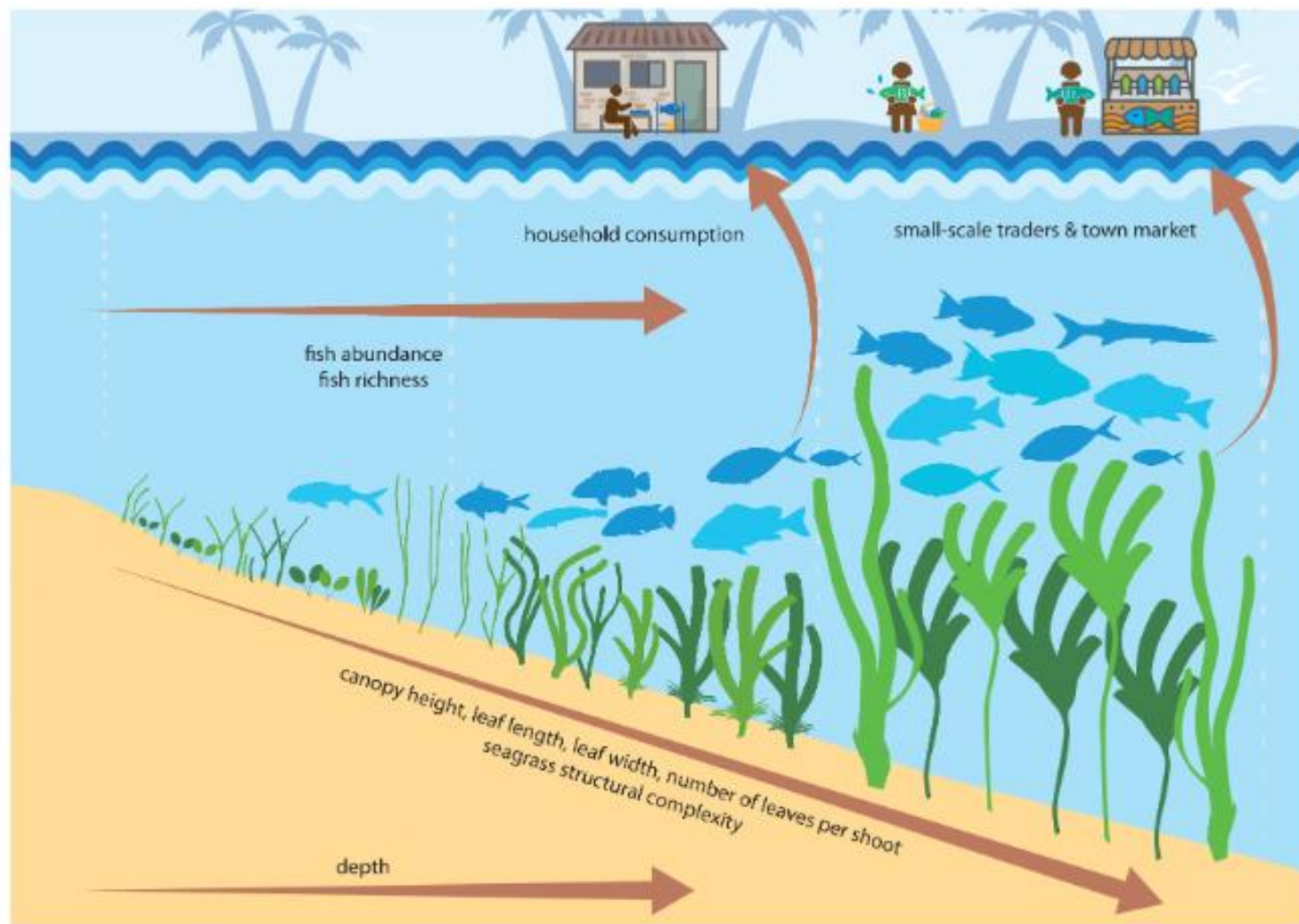


Beringo jūros apžvalga: batimetrija ir sezoninė ledų dinamika (Mensah et al., 2024)



Švelninimo strategijos ir ateities perspektyvos

- Temperatūros ir druskingumo švelninimas:
 - Atkurti pakrančių augaliją siekiant sumažinti šiluminį apkrovimą.
 - Pagerinti vandens cirkuliaciją susisluoksniavusiose sistemose, kad būtų užtikrintas geresnis deguonies pasiskirstymas.
- Vandenyne rūgštėjimo mažinimo strategijos:
 - Atkurti jūrų žolynus ir mangroves, kad jie sugertų CO₂.
 - Įgyvendinti pH buferizavimo metodus akvakultūroje (Hamilton et al., 2022).
- Platesnės klimato apsaugos priemonės:
 - Sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą, siekiant pašalinti klimato pokyčių priežastis.
 - Tobulinti pasaulines stebėjimo sistemas ir bendruomenių prisitaikymo planus.

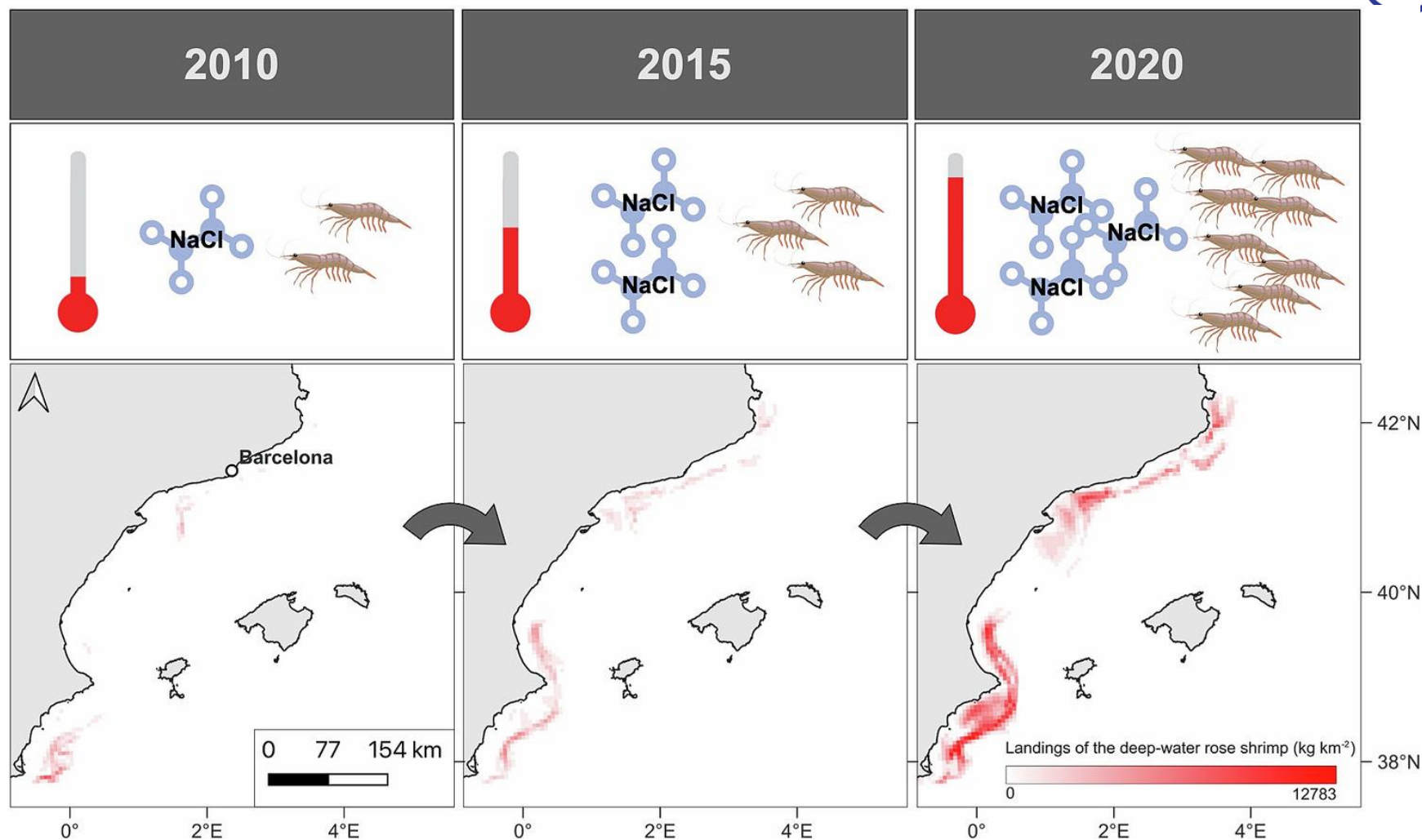


Konceptualus modelis: jūrinių žolynų struktūra ir socialiniai-ekologiniai rezultatai (Jones et al., 2021)



Jūros vandens druskingumo pokyčiai ir jų poveikis jūrinių rūšių pasiskirstymui

- Druskos koncentracijos sukeltų pasiskirstymo pokyčių mechanizmai:
 - Gėlo vandens įtekėjimas, ledynų tirpimas ir kintantys kritulių modeliai.
 - Vakarų Australijos estuarijose dėl sumažėjusio gėlo vandens įtekėjimo susidaręs hiperdruskingumas (Guimbeau et al., 2024).
 - Eurihalinės rūšys klesti kintančiame druskingume, o stenohalinės rūšys nyksta.
 - Populiacijos mažėja, kai druskingumas nukrypsta nuo optimalaus lygio (Rahman & Hung, 2024).
- Poveikis rūšių pasiskirstymui ir akvakultūrai:
 - *Parapenaeus longirostris* (ilganosė rausvoji krevetė) keičia arealą dėl atšilimo ir druskingumo (Mingote et al., 2024).
 - Jautrių rūšių spermatozoidų judrumo sumažėjimas veikia akvakultūros produktyvumą (Rahman & Hung, 2024).



Nuo 2010 iki 2020 m.: aplinkos pokyčiai ir ilganosių rausvųjų revečių paplitimas (Mingote et al., 2023)

The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247



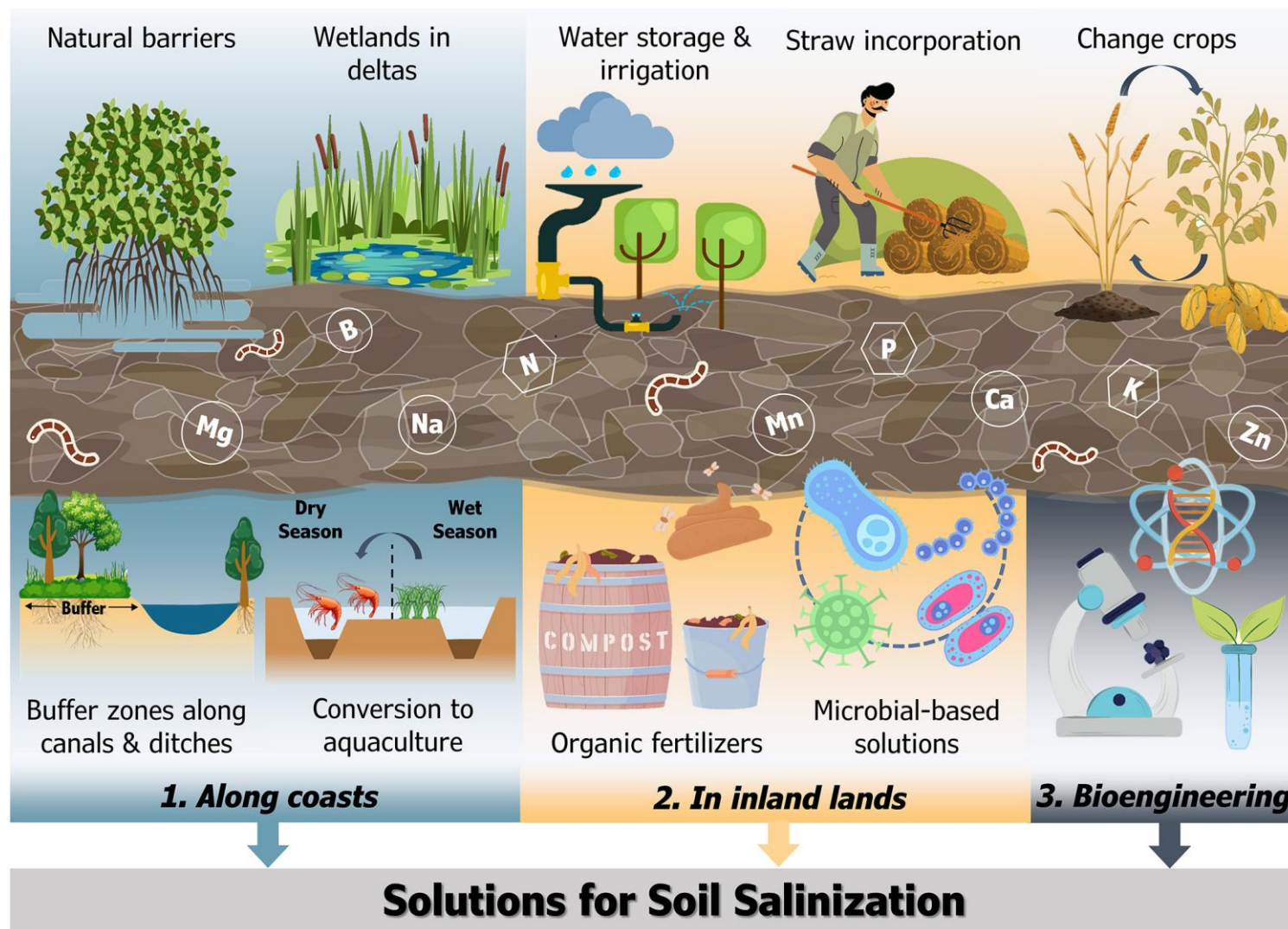
Platesnės ekologinės ir socialinės-ekonominės pasekmės

- Ekosisteminės paslaugos:
 - Bendrijų sudėties pokyčiai veikia maistmedžiagių apytakos ciklus ir mitybos tinklų stabilumą (Hoeksema et al., 2023).
 - Mažėjanti biologinė įvairovė itin sūraus vandens velkinių žiotyse trikdo ekosistemų veikimą..
- Ekonominis poveikis:
 - Akvakultūra susiduria su neapibrėžtumu, nes migruoja tikslinės populiacijos.
 - Viduržemio jūroje keičiasi rožinių krevečių išteklių (Mingote et al., 2024).



Platesnės ekologinės ir socialinės-ekonominės pasekmės

- Švelninimo strategijos ir ateities kryptys:
 - Mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas siekiant stabilizuoti aplinkos sąlygas.
 - Atkurti pakrančių augaliją siekiant sušvelninti druskingumo pokyčius (Guimbeau et al., 2024).
 - Naudoti recirkuliacinės akvakultūros sistemas (RAS) ir selektyviai veisti druskingumui atsparias rūšis.



Tvarūs žemės druskėjimo žemės ūkyje sprendimai (Tarolli et al., 2024)



Maistinių medžiagų apkrovos ir eutrofikacija

- Maistinių medžiagų apkrovos ir eutrofikacijos mechanizmai:
 - Šaltiniai:
 - Paviršinis nuotėkis iš žemės ūkio naudmenų, miestų nuotekos ir pramoniniai teršalai.
 - Misisipės upės baseinas prisideda prie Meksikos įlankos hipoksinės zonos susidarymo (Day et al., 2024).
 - Klimato kaita stiprina maistinių medžiagų išplovimą dėl padidėjusių kritulių ir ekstremalių orų reiškinių.
- Eutrofikacijos padariniai:
 - Deguonies trūkumas verčia vandens organizmus migruoti arba žūti.
 - Česapiko įlanka: mažėjantis žuvų kiekis dėl hipoksijos (Zhang et al., 2024).
 - Kenksmingų dumblių žydėjimas (KDŽ):
 - Gamina toksinus, kurie daro poveikį jūrų gyvūnams ir žmonėms.



Maistinių medžiagų kiekio ir eutrofikacijos mažinimo strategijos

Tvaraus ūkininkavimo praktika:

- Tarpiniai augalai,
- buferinės zonos,
- tikslusis tręšimas siekiant sumažinti nuotėkį.

Miestų nuotekų tvarkymas:

- Pažangios valymo technologijos, skirtos pašalinti maistines medžiagas prieš išleidžiant į aplinką.

Gamtiniai sprendimai:

- Atkurti šlapžemes ir pakrančių zonas, kad būtų filtruojamos maistinės medžiagos ir gerinama vandens kokybė.

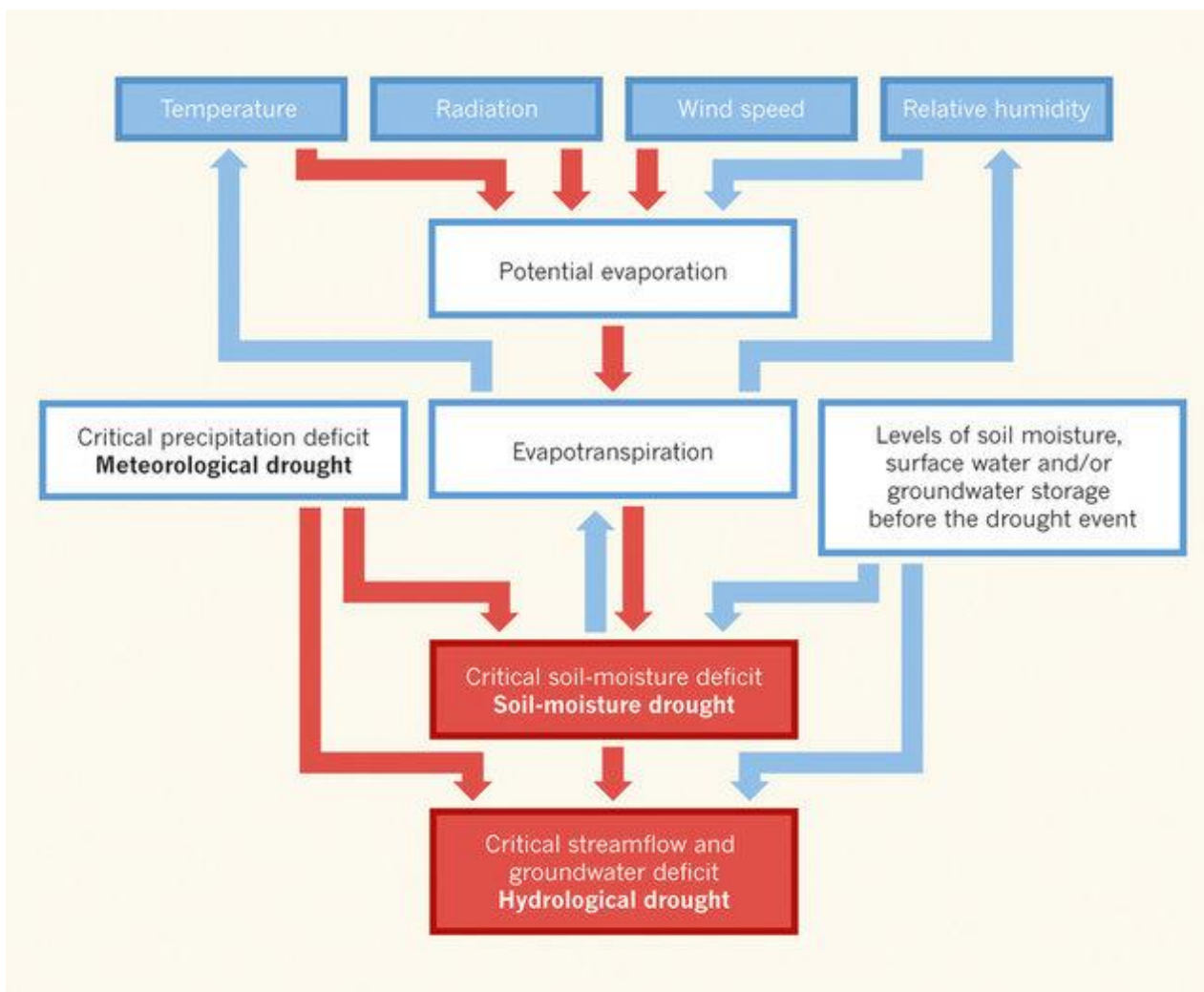
Visuomenės švietimas ir politikos reformos:

- Maistinių medžiagų tvarkymo taisyklės ir paskatos taikyti tvarias praktikas.
- Veiksmingas vandens baseinų valdymas Meksikos įlankoje (Day et al., 2024).



Sausros, vandens stygius ir vandens kokybės blogėjimas

- Sausrų ir vandens stygiaus priežastys:
 - Klimato pokyčiai:
 - Mažesnis kritulių kiekis ir kylanti temperatūra didina garavimą ir augalų transpiraciją.
 - Saudo Arabija – pernelyg intensyvus požeminio vandens naudojimas nualina vandeninguosius sluoksnius (DeNicola et al., 2015).
 - Žmonių veikla:
 - Netvarus vandens naudojimas ir žemės degradacija didina natūralų vandens trūkumą (Zucca et al., 2021).
 - Klimato kaitos poveikis:
 - Kritulių pasiskirstymo pokyčiai didina sausrų dažnumą ir intensyvumą.
 - Persijos įlankos bendradarbiavimo tarybos (GCC) šalys patiria itin sausą klimatą, spartų urbanizacijos tempą ir augančius vandens poreikius (Moussa et al., 2025).
 - Inovatyvios strategijos:
 - Nuotekų perdirbimas ir vandens gėlinimas padeda mažinti vandens stygių, tačiau reikalauja daug energijos.

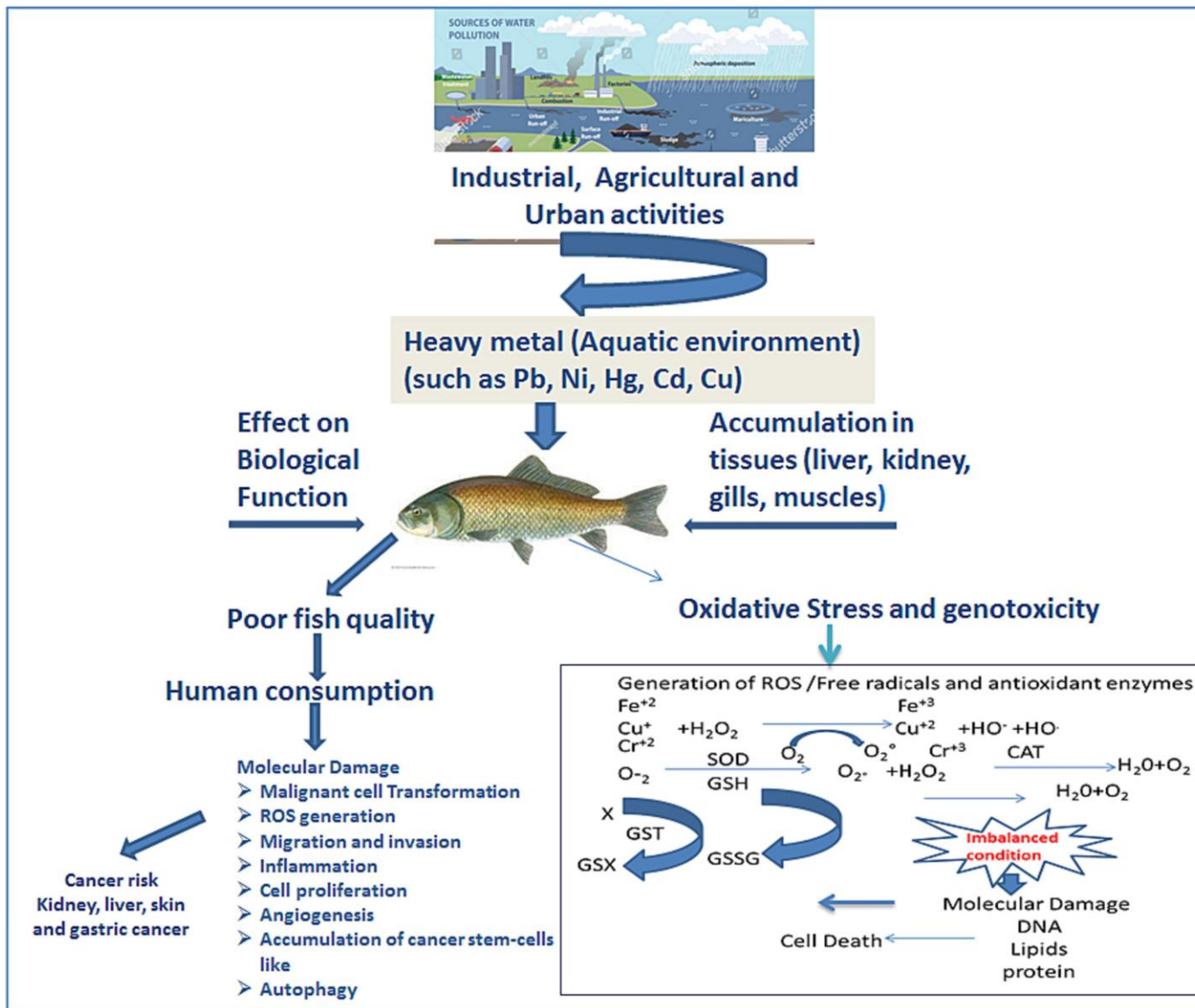


Sausrų priežastys (Seneviratne, 2012)



Vandens kokybės blogėjimo poveikis

- Taršos šaltiniai:
 - Žemės ūkio nuotėkis, pramoniniai išleidžiamieji vandenys ir miestų nuotekos.
 - Maistmedžiagių perteklius sukelia eutrofikaciją ir hipoksiją, trikdančią ekosistemų veiklą (Giri, 2021).
- Klimato kaitos poveikis:
 - Ekstremalūs oro reiškiniai didina gėlo vandens šaltinių užterštumą (DeNicola et al., 2015).
- Socialinės ir ekonominės pasekmės:
 - Užteršto geriamojo vandens sukeltos ligos daro poveikį mažas pajamas gaunančioms bendruomenėms.
 - Persijos įlankos bendradarbiavimo taryboje (GCC): sumažėjusi žemės ūkio produkcija kelia grėsmę maisto saugumui (Moussa et al., 2025).



Sunkiųjų metalų sukelti oksidaciniai pažeidimai žuvų audiniuose (Sanaa Abdulaziz Mustafa et al., 2024)



Rizikos mažinimo strategijos

Tvarus vandens išteklių valdymas:

- Lietaus vandens kaupimas ir efektyvus drėkinimas padeda sumažinti perteklinį naudojimą (Moussa et al., 2025).
- Šlapynių atkūrimas: padeda filtruoti teršalus ir reguliuoti hidrologinius ciklus (Zucca et al., 2021).

Technologinė pažanga:

- Vandens gėlinimas ir nuotekų valymas – sprendimai vandens trūkumo kamuojamiems regionams.
- Dėmesys skiriamas aplinkos poveikio mažinimui ir prieinamumo gerinimui.

Tarptautinis bendradarbiavimas:

- Žinių dalijimasis ir gebėjimų stiprinimas sprendžiant pasaulinius vandens iššūkius (DeNicola et al., 2015).



2. PASAULINIO ATŠILIMO POVEIKIS AKVAKULTŪROS RŪŠIŲ PAŽEIDŽIAMUMUI

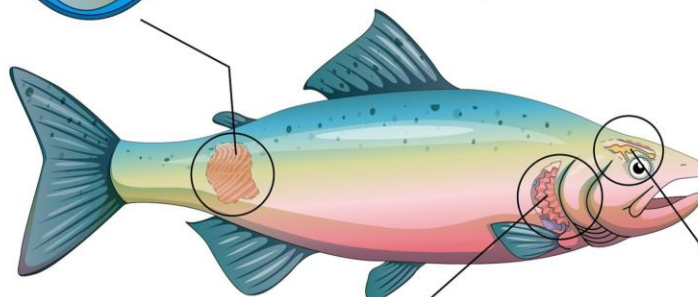
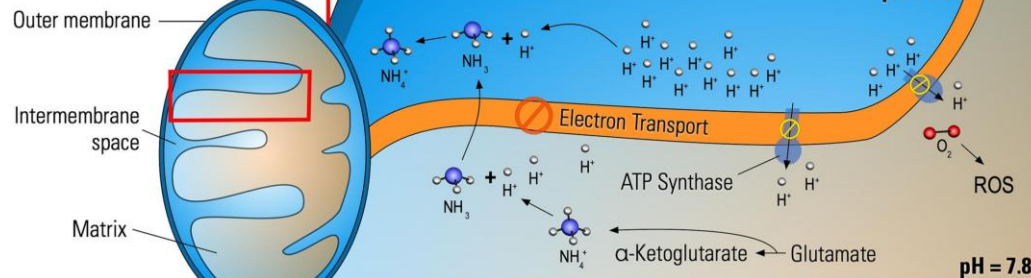


Jautrumas temperatūrai ir rūšių pažeidžiamumas

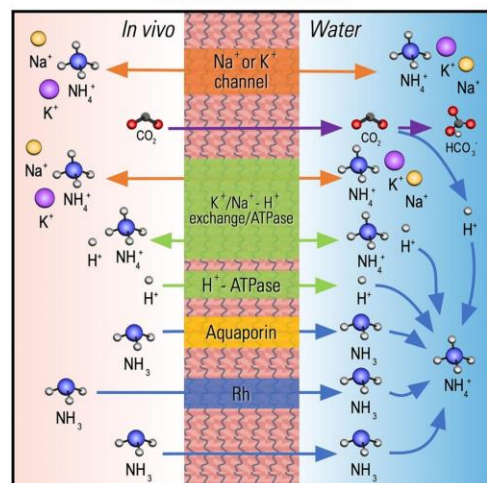
- Vandens organizmų augimui, dauginimuisi ir išlikimui būtina pastovi vandens temperatūra.
- Tropinės rūšys (krevetės, tilapijos) yra jautrios temperatūros svyravimams, kurie sutrikdo fermentų veiklą (Giri, 2021).
- Ilgalaikis buvimas netinkamoje temperatūroje sukelia stresą, dėl kurio žūsta gyvūnai ir mažėja akvakultūros derlius (DeNicola et al., 2015).
- Arabijos pusiasalyje kylanti vandens temperatūra mažina ištirpusio deguonies kiekį ir didina amoniako toksiškumą (Moussa et al., 2025).
- Prisitaikymo priemonės:
 - Selektyvus veisimas, siekiant išvesti temperatūrai atsparias rūšis, ir kontroliuojamos temperatūros akvakultūros sistemos.



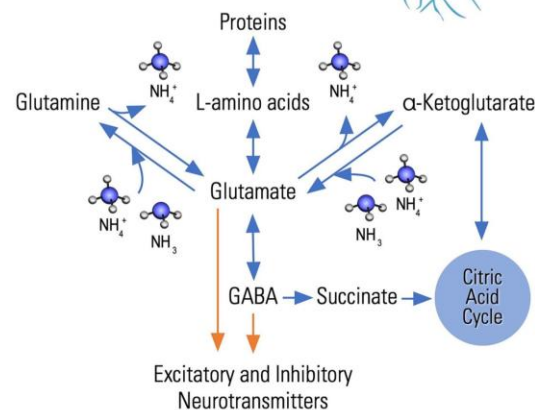
A. MITOCHONDRION



B. GILL MEMBRANE



C. ASTROCYTE PATHWAY

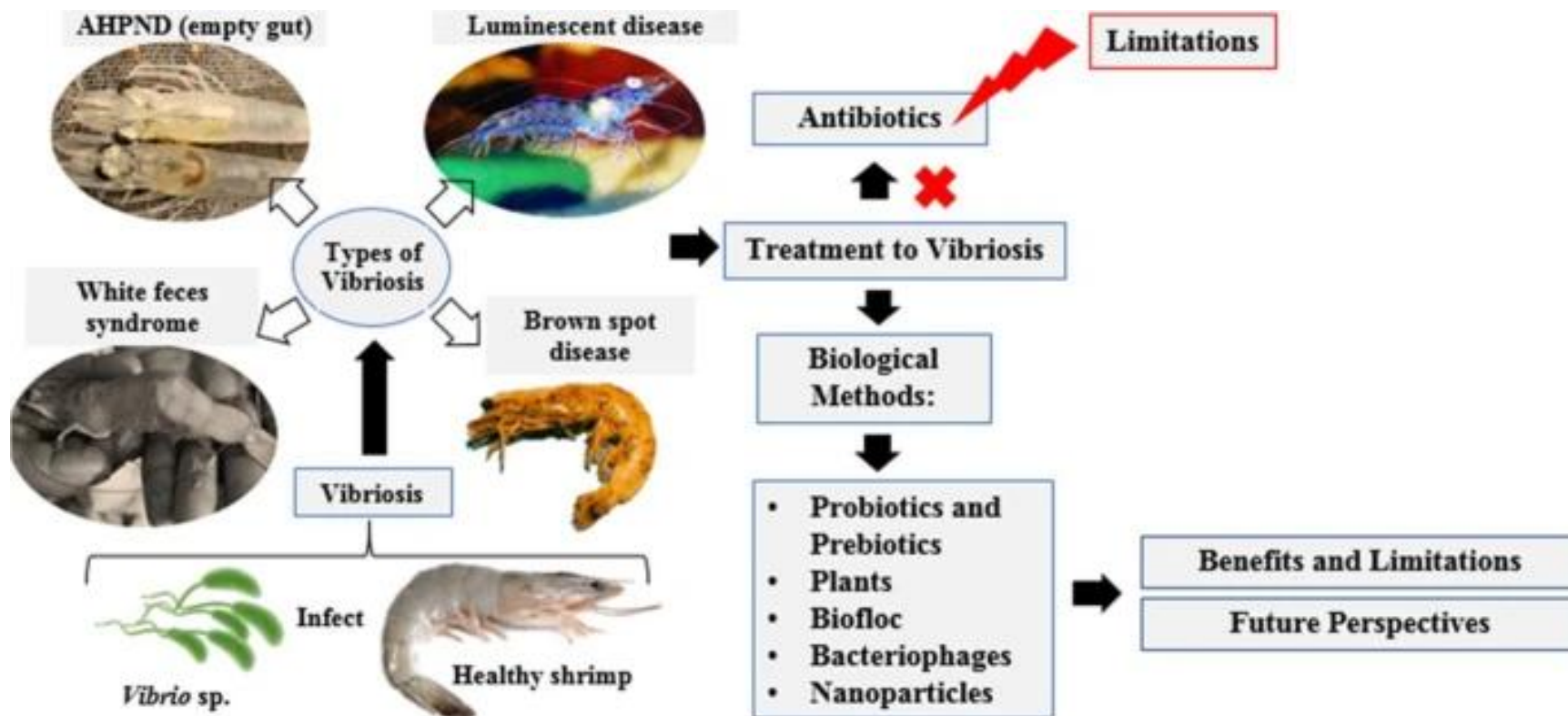


Amoniako veikimo mechanizmai ir jo toksiškumas žuvų organizmui
(Edwards et al., 2023)



Ligų ir parazitų plitimas

- Šiltesnis vanduo spartina patogeninių organizmų ir parazitų gyvavimo ciklą.
 - *Vibrio* spp. ir jūrinių utėlių protrūkliai krevečių ir lašišų ūkiuose (Zucca et al., 2021).
 - Užfiksuota Pietryčių Azijoje (krevečių fermose) ir Šiaurės Atlante (lašišų fermose).
- Klimato kaitos sukeltos vandens cheminės sudėties pokyčiai (rūgštėjimas, druskingumo pokyčiai) silpnina organizmų atsparumą infekcijoms (Giri, 2021).
- Strategijos:
 - Stebėsenos sistemų tobulinimas,
 - Biologinio saugumo priemonės,
 - Ligos atžvilgiu atsparių akvakultūros rūšių tyrimai.



Krevečių vibriozė: simptomai, gydymo iššūkiai ir biologinės kontrolės galimybės (Nurul Ashikin Elias et al., 2023)

The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247



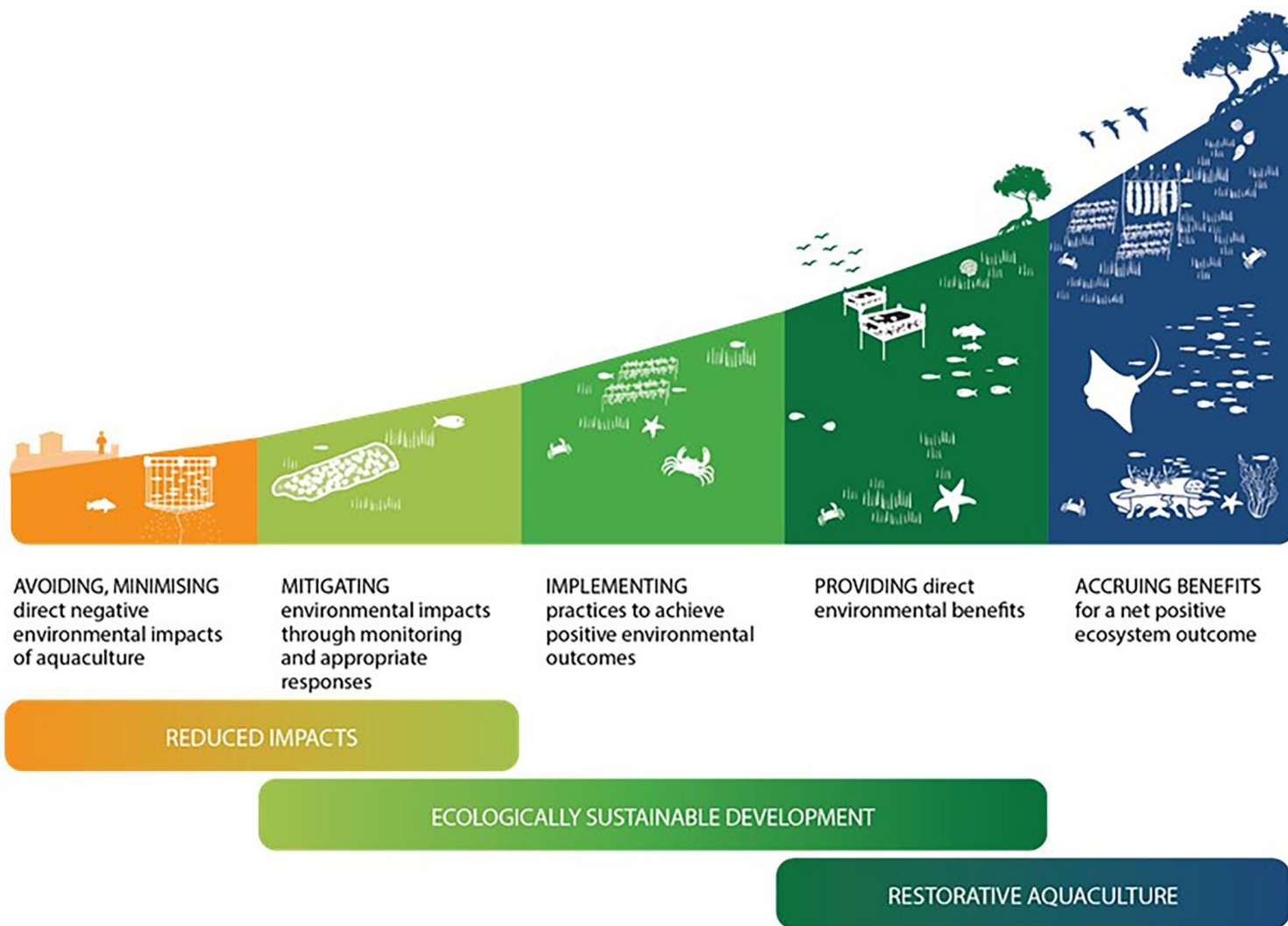
Vibriozės poveikis akvakultūrai (Nurul Ashikin Elias et al., 2023)

Šalis	Vibrio sp.	Nuostoliai ir poveikis
Kinija	<i>V. fluvialis</i>	> 120 mln. JAV dolerių metiniai nuostoliai 1990–1992 m.
Indija	<i>V. harveyi</i> , <i>V. parahaemolyticus</i> , <i>V. alginolyticus</i> , <i>V. anguillarum</i>	<i>Penaeus monodon</i> augimo sutrikimai, spalvos pokyčiai ir mirtingumas
Tailandas	<i>V. harveyi</i>	Masinis <i>P. monodon</i> mirtingumas
Japonija	<i>V. carchariae</i>	Masinis <i>Haliotis diversicolor</i> mirtingumas
Indonezija	<i>Švytintis Vibrio</i>	> 100 mln. JAV dolerių nuostolių krevečių veisykloje
Italija	<i>V. harveyi</i> , <i>V. ordalii</i> , <i>V. salmonicida</i> , <i>V. vulnificus</i>	Masinis dvigeldžių moliuskų mirtingumas Mar Piccolo, Taranto
Meksika	<i>V. parahaemolyticus</i>	<i>Litopenaeus vannamei</i> ūmi kepenų ir kasos nekrozė (AHPND)
Egipras	<i>V. anguillarum</i> , <i>V. alginolyticus</i> , <i>V. ordalii</i> , <i>V. harveyi</i>	Raudonos dėmės ant pilvo ir šonų, nekrozės ir kraujosruvos



Švelninimo ir prisitaikymo strategijos

- Technologinės inovacijos:
 - Recirkuliacinės akvakultūros sistemos (RAS) ir ir temperatūrą reguliuojantys tvenkiniai mažina šiluminį stresą (Moussa et al., 2025).
 - Skiepijimo programos ir pažangios ligų nustatymo technologijos padeda valdyti patogenų riziką.
- Aplinkos apsauga:
 - Mangrovių ir šlapynių atkūrimas padeda stabilizuoti temperatūros svyravimus ir filtruoti patogenus.
- Bendradarbiavimas:
 - Skatinti tarptautinį bendradarbiavimą plėtojant klimatui atsparią akvakultūrą.
 - Skatinti žinių sklaidą ir gebėjimų stiprinimą.



Pasauliniai atkuriamosios akvakultūros principai, skirti skatinti aplinkai palankias akvakultūros praktikas (Alleway et al., 2023)

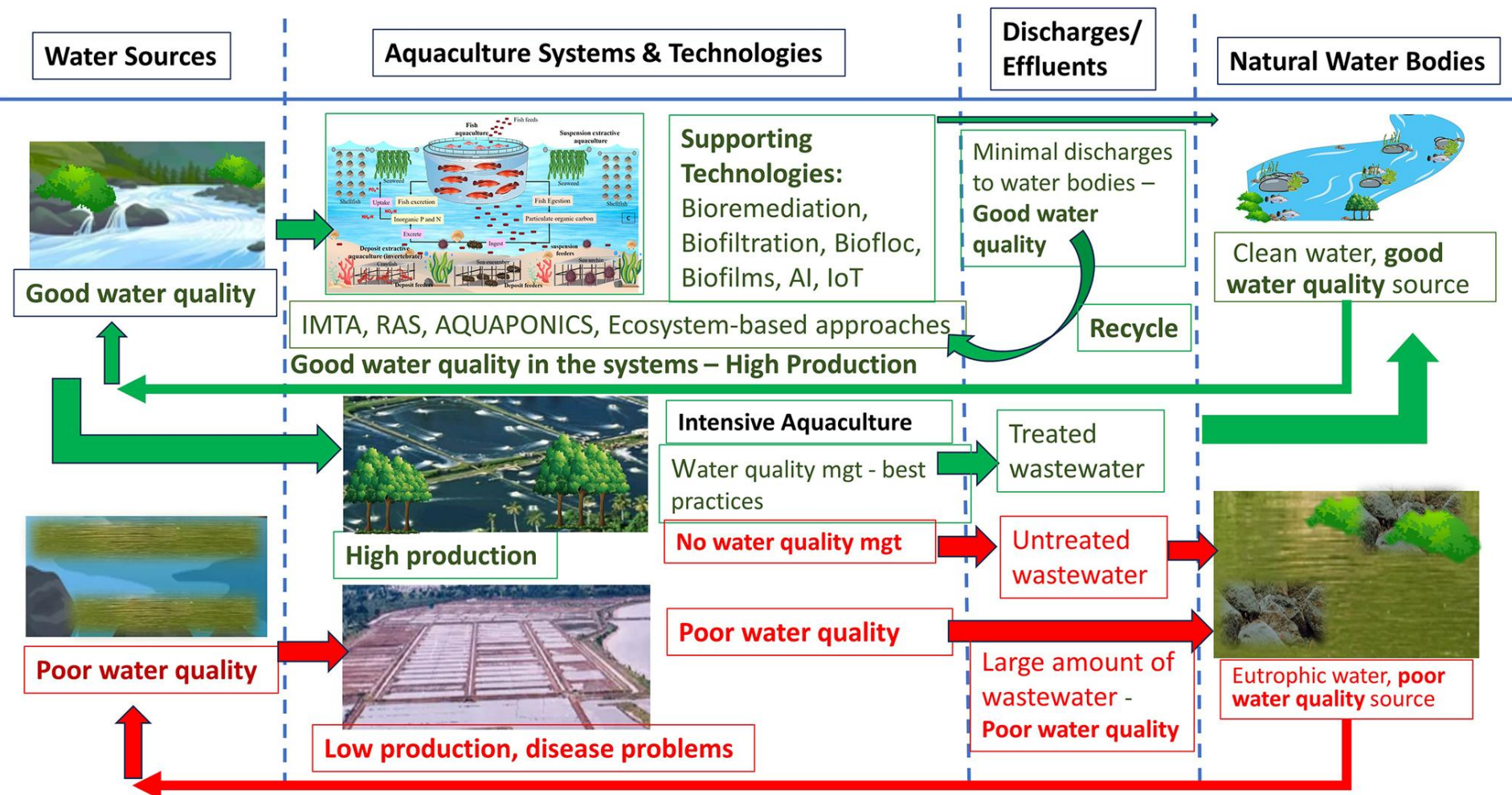
“The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]”

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247



Pasaulinio atšilimo poveikio akvakultūrai ekonominės pasekmės

- Sumažėjusi žuvininkystės ir jūros gėrybių produkcija:
 - Kylančios jūros temperatūros ir rūgštėjimas trikdo vandens organizmų buveines.
 - Sumažėjęs deguonies kiekis ir sutrikusi moliuskų kalcifikacija mažina akvakultūros pelningumą (Nienhuis et al., 2010).
- Blogėjanti vandens kokybė ir ligų protrūkiai:
 - Kenksmingų dumblių žydėjimai (KDŽ) išseikvoja deguonį ir išskiria toksinus.
 - Austrių imunitetas susilpnėja šiltėjant klimatui (Neokye et al., 2024).
- Prisitaikymo kaštai:
 - Reikalingos didelės investicijos į temperatūros reguliavimo sistemas ir ligoms atsparias rūšis.
 - Akvakultūros veiklos perkėlimas į kitus geografinius regionus didina sąnaudas (Mdoe et al., 2025).



Vandens kokybės valdymas akvakultūroje (Yusoff et al., 2024)



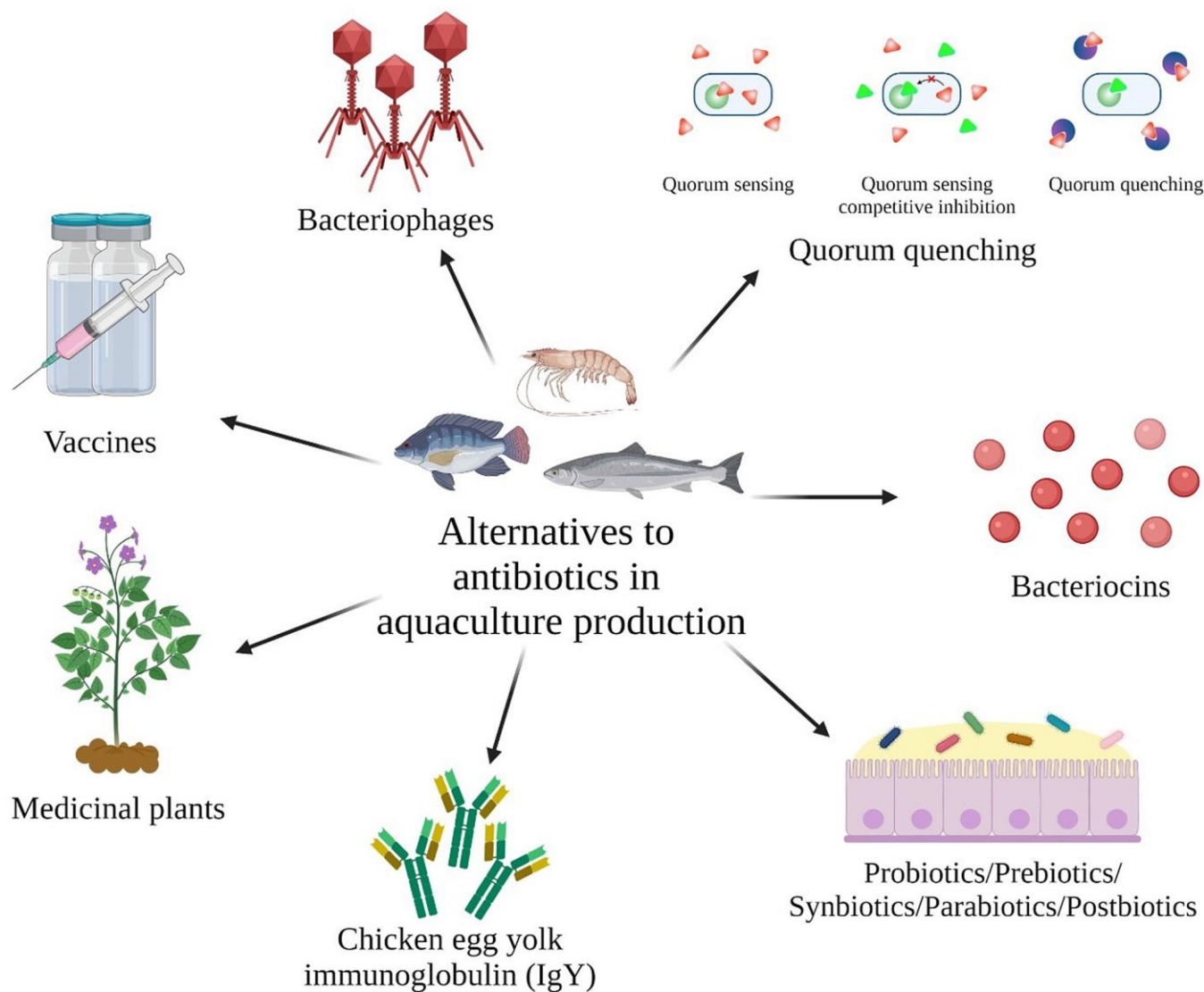
Pasaulinio atšilimo poveikis akvakultūros geografiniams pokyčiams

- Kintančios zonos:
 - Kylanti temperatūra verčia akvakultūros zonas slinkti link ašigalių.
 - Jūrų aplinkos tropikalizacija keičia ekosistemų struktūras (Zarzyczny et al., 2024).
- Invazinės rūšys:
 - Invazinių rūšių plitimas trikdo ekosistemas ir akvakultūros veiklą.
 - Tropinių rūšių plitimas į vidutinio klimato zonas (Woods et al., 2016).
- Prisitaikymo strategijos:
 - Integruotos daugiapakopės akvakultūros (IDA) sistemos didina atsparumą (Mdoe et al., 2025).
 - Genetiniai patobulinimai ligų ir temperatūrų tolerancijai didinti (Ross et al., 2023).
 - Stebėsenos ir ankstyvojo perspėjimo sistemos, paremtos prognozavimo modeliais.

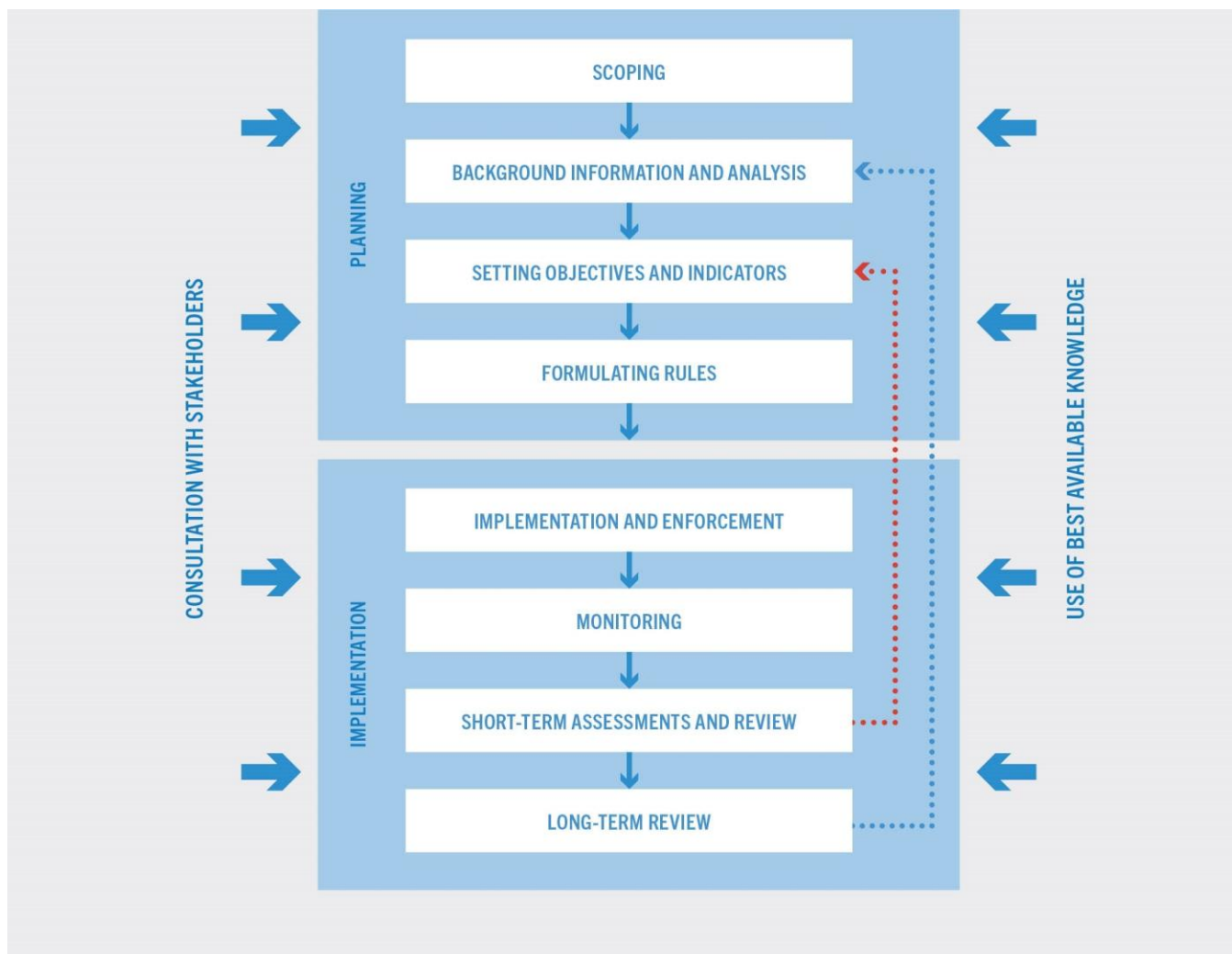


Politika ir valdymas

- Veiksmingos sistemos:
 - Remti tvarią praktiką ir tyrimus, susijusius su atsparių akvakultūros sistemų kūrimu.
 - Investuoti į genetinius tyrimus, siekiant išvystyti klimato kaitai atsparias rūšis (Handisyde et al., 2017).
- Integracija į klimato veiksmų planus:
 - Derinti akvakultūros politiką su platesnėmis klimato kaitos veiksmų strategijomis.
 - Subalansuoti ekonominį augimą su aplinkos tvarumu (Naylor et al., 2023).
- Regioninių skirtumų mažinimas:
 - Remti mažas pajamas gaunančius regionus finansais, technologijomis ir ekspertinėmis žiniomis.
 - Užtikrinti sąžiningą plėtrą siekiant išlaikyti pasaulinį maisto saugumą.



Antimikrobinių preparatų naudojimo mažinimo alternatyvos (Bondad-Reantaso et al., 2023)



Lankstūs valdymo ciklai klimato kaitos sąlygomis (Fisheries and Aquaculture Adaptations to Climate Change, 2022)



Santrauka

- **Šiluminė stratifikacija ir deguonies stoka kelia grėsmę vandens organizmams**, sukeldamos rimtus ekologinius ir ekonominius padarinius.
- **Temperatūros kilimas didina rūšių medžiagų apykaitos stresą**, daro įtaką augimui, dauginimuisi ir ekosistemų vientisumui.
- **Druskingumo svyravimai trikdo rūšių paplitimą ir akvakultūros veiklą**, paveikdami pakrančių bendruomenes.
- **Eutrofikacija dėl maistmedžiagių pertekliaus sukelia kenksmingą dumblių žydėjimą (KŽB)**, deguonies netekimą ir ekosistemų nykimą.
- **Vandens trūkumas**, kurį sunkina klimato kaita ir žmogaus veikla, kelia grėsmę pasauliniam vandens saugumui.
- **Akvakultūra tampa vis pažeidžiamesnė temperatūros pokyčiams**, ligoms ir parazitams, grėsdama maisto saugumui.
- **Dėl klimato kaitos akvakultūros zonos keičiasi**, todėl tenka jas perkelti ir taikyti tvarius sprendimus



Santrauka

- **Strateginiai sprendimai:**

- **Kurti prisitaikymo strategijas, derinančias technologijas ir tvarią praktiką.**
- **Skatinti tarptautinį bendradarbiavimą, politikos palaikymą ir tradicinių ekologinių žinių įtraukimą.**
- **Užtikrinti vandens ekosistemų atsparumą taikant inovatyvius, holistinius sprendimus biologinei įvairovei, pragyvenimo šaltiniams ir pasauliniam maisto saugumui.**



Literatūra

Alleway, H. K., Waters, T. J., Brummett, R., Cai, J., Cao, L., Megan Reilly Cayten, Barry Antonio Costa-Pierce, Dong, Y., Brandstrup, C., Liu, S., Liu, Q., Shelley, C., Theuerkauf, S. J., Tucker, L., Wang, Y., & Jones, R. C. (2023). Global principles for restorative aquaculture to foster aquaculture practices that benefit the environment. *Conservation Science and Practice*, 5(8). <https://doi.org/10.1111/csp2.12982>

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>

Bondad-Reantaso, M. G., MacKinnon, B., Karunasagar, I., Fridman, S., Alday-Sanz, V., Brun, E., Le Groumellec, M., Li, A., Surachetpong, W., Karunasagar, I., Hao, B., Dall'Occo, A., Urbani, R., & Caputo, A. (2023). Review of alternatives to antibiotic use in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 15(4). <https://doi.org/10.1111/raq.12786>

Crozier, L. G., & Siegel, J. E. (2023). A Comprehensive Review of the Impacts of Climate Change on Salmon: Strengths and Weaknesses of the Literature by Life Stage. *Fishes*, 8(6), 319. <https://doi.org/10.3390/fishes8060319>

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>

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>

Edwards, T. M., Puglis, H. J., Kent, D. B., Durán, J. L., Bradshaw, L. M., & Farag, A. M. (2023). Ammonia and aquatic ecosystems – A review of global sources, biogeochemical cycling, and effects on fish. *Science of the Total Environment*, 907, 167911. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167911>

Fisheries and aquaculture adaptations to climate change. (2022). Fao.org. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/9df19f53-b931-4d04-acd3-58a71c6b1a5b/content/sofia/2022/adaptations-to-climate-crisis.html>



Literatūra

- Global warming and ocean oxygen levels (2018). <https://www.carbonbrief.org/guest-post-how-global-warming-is-causing-ocean-oxygen-levels-to-fall>
- 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>
- Hoeksema, S. D., Chuwen, B. M., Tweedley, J. R., & Potter, I. C. (2023). Ichthyofaunas of nearshore, 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>
- How the dead zones forms (2025). https://www.insightsonindia.com/wp-content/uploads/2024/06/DEAD_ZONE-1.jpg
- Islam, M. J., Kunzmann, A., & Slater, M. J. (2021). Responses of aquaculture fish to climate change-induced extreme temperatures: A review. *Journal of the World Aquaculture Society*, 53(2). <https://doi.org/10.1111/jwas.12853>
- Yusoff, F. M., Wahidah A.D. Umi, Ramli, N. M., & Harun, R. (2024). Water Quality Management in Aquaculture. *Cambridge Prisms. Water*, 1–61. <https://doi.org/10.1017/wat.2024.6>
- Jones, B. L., Nordlund, L. M., Unsworth, R. K. F., Jiddawi, N. S., & Eklöf, J. S. (2021). Seagrass Structural Traits Drive Fish Assemblages in Small-Scale Fisheries. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.640528>
- 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>
- 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>



Literatūra

- 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., & Company, J. B. (2023). 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>
- NOAA. (2025, February 25). *Ocean Acidification*. National Oceanic and Atmospheric Administration; U.S. Department of Commerce. <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-acidification>
- Nurul Ashikin Elias, Hassan, Nor, Okomoda Victor Tosin, Noor Aniza Harun, Sharifah Rahmah, & Hassan, M. (2023). Potential and limitation of biocontrol methods against vibriosis: a review. *Aquaculture International*, 31(4), 2355–2398. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01091-x>



Literatūra

Ocean deoxygenation (2025). <https://www.ioc.unesco.org/en/go2ne>

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>

Pham, C.-V., Wang, H.-C., Chen, S.-H., & Lee, J.-M. (2023). The Threshold Effect of Overfishing on Global Fishery Outputs: International Evidence from a Sustainable Fishery Perspective. *Fishes*, 8(2), 71. MDPI.

<https://doi.org/10.3390/fishes8020071>

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>

Sanaa Abdulaziz Mustafa, Abdulmotalib Jasim Al-Rudainy, & Noor Mohammad Salman. (2024). Effect of environmental pollutants on fish health: An overview. *Egyptian Journal of Aquatic Research/Egyptian Journal of Aquatic Research*, 50(2). <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2024.02.006>

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>

Seneviratne, S. I. (2012). Historical drought trends revisited. *Nature*, 491(7424), 338–339.

<https://doi.org/10.1038/491338a>

Tarolli, P., Luo, J., Park, E., Barcaccia, G., & Masin, R. (2024). Soil salinization in agriculture: mitigation and adaptation strategies combining nature-based solutions and bioengineering. *IScience*, 27(2), 108830–108830.

<https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.108830>



Literatūra

Wilson, P. C. (2019, November 18). *SL313/SS525: Water Quality Notes: Dissolved Oxygen*. Edis.ifas.ufl.edu.

<https://edis.ifas.ufl.edu/publication/SS525>

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>

Zhao, S., Liu, M., Tao, M., Zhou, W., Lu, X., Xiong, Y., Li, F., & Wang, Q. (2023). The role of satellite remote sensing in mitigating and adapting to global climate change. *Science of the Total Environment*, 904, 166820.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166820>

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>

•