



Modul 3:

Globalno zatopljenje i uzgoj, biotehnologija u akvakulturi



Zagrijavanje

Diskusija:

Kako globalno zatopljenje utječe na vodene ekosustave i uzgoj riba?
Koja bi biotehnološka rješenja mogu pomoći u ublažavanju učinaka klimatskih promjena na akvakulturu?

Kako genetski inženjering, kao što je CRISPR/Cas9, može poboljšati uzgoj riba i otpornost na promjene u okolišu?

Koji su ključni etički izazovi povezani s primjenom biotehnologije u akvakulturi?

Na koji način selektivni uzgoj i genomska selekcija pridonose održivosti akvakulture?



Zagrijavanje - činjenice

- Više od 50% svjetske proizvodnje morkih organizama dolazi iz akvakulture, čineći je ključnim sektorom za globalnu sigurnost hrane.
- Porast temperature oceana doveo je do promjena u sezoni mriješta ribe, što je utjecalo na stabilnost populacije.
- Selektivni uzgoj u akvakulturi primjenjuje se već desetljećima kako bi se povećala stopa rasta i otpornost riba na bolesti.
- CRISPR/Cas9 tehnologija omogućuje precizne genetske modifikacije riba, omogućujući ciljana poboljšanja osobina poput otpornosti na bolesti i učinkovitosti rasta.
- Neke vrste mogu se genetski prilagoditi klimatskim promjenama, no brzina tih promjena često nadmašuje njihovu prirodnu sposobnost adaptacije.



Uvod - Ključne definicije

- **Globalno zatopljenje:** Dugoročni porast prosječne površinske temperature Zemlje zbog ljudskih aktivnosti, prvenstveno emisije stakleničkih plinova.
- **Akvakultura:** Uzgoj i izlov ribe, školjkaša i vodenih biljaka za prehranu i druge namjene.
- **Selektivni uzgoj:** Proces selekcije jedinki s poželjnim osobinama radi poboljšanja genetskih karakteristika kroz generacije.
- **Genomska selekcija:** Upotreba genetskih markera za prepoznavanje i selektivno razmnožavanje jedinki s poželjnim osobinama, čime se ubrzavaju poboljšanja u uzgoju.
- **CRISPR/Cas9:** Alat za uređivanje gena koji omogućuje precizne modifikacije DNK kako bi se poboljšale osobine kao što su otpornost na bolesti, rast i prilagodljivost okolišu kod vrsta akvakulture.

Uvod



- Globalno zatopljenje remeti vodene ekosustave, utječući na uzgoj riba, metabolizam i populacije. Porast temperatura, zakiseljavanje i gubitak kisika prijeti divljim i uzgojenim vrstama, što naglašava potrebu za inovacijama u akvakulturi.
- Biotehnologija, uključujući selektivni uzgoj, genomsku selekciju i CRISPR, doprinosi većoj otpornosti i održivosti uzgojenih populacija riba, smanjujući ovisnost o divljim stokovima.
- Klimatske promjene nadmašuju prirodnu prilagodbu, što dodatno naglašava važnost ekoloških istraživanja i biotehnoloških rješenja. Razumijevanje genetske otpornosti pomaže u razvoju sojeva akvakulture otpornih na toplinu i bolesti.
- S rastom potražnje za morskim plodovima, nužna je integracija naprednih metoda uzgoja s održivim praksama kako bi se očuvala sigurnost hrane i biološka raznolikost.



Dio 1. Utjecaj globalnog zatopljenja na razmnožavanje vodenih vrsta



Promjene u uzgojnim ciklusima

- Globalno zatopljenje, uzrokovano antropogenim klimatskim promjenama, ima dubok utjecaj na ekosustave diljem svijeta, uključujući vodeni okoliš. Uzgoj vodenih organizama jedno je od najpogođenijih područja uslijed porasta temperatura.





Genetska prilagodba

- Genetska prilagodba na promjenjive okolišne uvjete
- Primjeri evolucijske adaptacije na porast temperature
- Ograničenja genetske otpornosti na klimatske promjene
- Utjecaj smanjenog reproduktivnog uspjeha na pad populacija
- Širi učinci globalnog zatopljenja na razmnožavanje vodenih organizama
- Važnost daljnjih istraživanja za održivost ekosustava



Dio 2. Biotehnološki napredak u uzgoju akvakulture



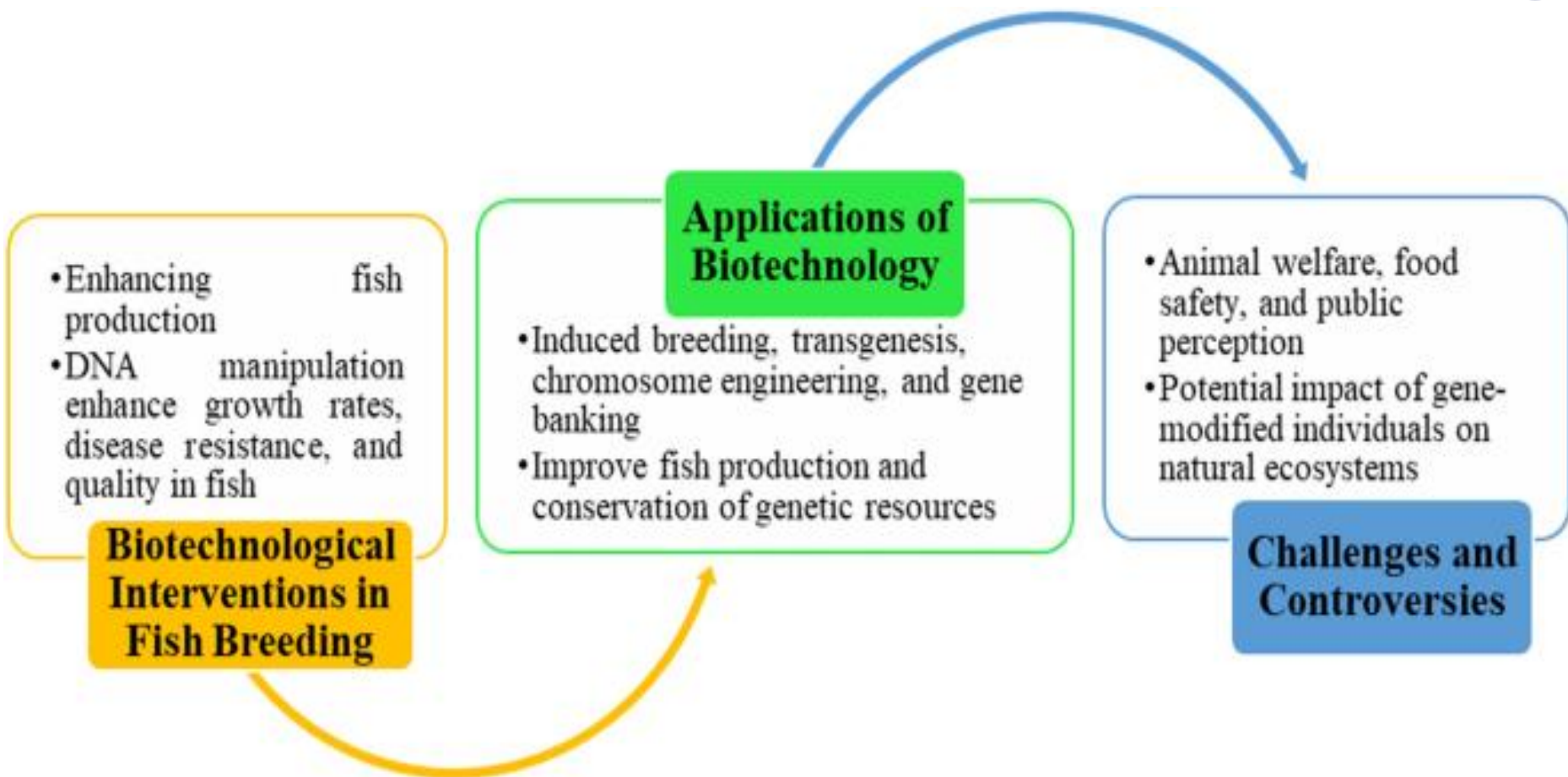
Selektivni uzgoj

- Uloga selektivnog uzgoja u održivoj akvakulturi
- Izazovi koje klimatske promjene donose akvakulturi
- Selektivni uzgoj kao strategija za povećanje tolerancije na toplinu
- Povezanost osobina ponašanja i otpornosti na klimatske promjene
- Osiguravanje dugoročne održivosti kroz genetsku selekciju



Genomska selekcija

- Akvakultura se bori s klimatskim promjenama, suočavajući se s toplinskim stresom, bolestima i prijetnjama okolišu.
- Genomska selekcija ubrzava uzgoj identificirajući osobine poput tolerancije na toplinu i otpornosti na bolesti.
- Primjena biotehnologije poboljšava kvalitetu ribe, optimizira proizvodnju i osigurava održivost, dok regulativni okvir jamči sigurnost potrošača i ekosustava.



Uloga biotehnologije u povećanju proizvodnje ribe (Yang i sur., 2021.).



Biotehnologija poboljšava proizvodnju ribe kroz:

Genetska modifikacija

Poboljšane tehnike uzgoja

Održivost okoliša

Integriran s drugim tehnologijama proizvodnje hrane,
pomaže u zadovoljavanju potreba urbanog stanovništva

Zahtijeva snažne istraživačke temelje u genetici, fiziologiji i
patologiji



Genomska selekcija – skok naprijed

Koristi genomske alate za povezivanje genetskih markera sa poželjnim osobinama

Omogućuje učinkovitiju selekciju i uzgoj

Ubrzava uzgojne programe za otpornost okoliša

Pomaže identificirati ribe s najboljim genetskim potencijalom



Integracija selektivnog uzgoja i genomske selekcije

Selektivni uzgoj poboljšava stope rasta i otpornost na bolesti

Genomska selekcija povećava preciznost i ubrzava poboljšanja

Primjenjuje se na atlantski losos radi povećane otpornosti na temperaturu i bolesti

(Gjøen et al., 2018)



Dio 3. Genetski inženjering i CRISPR



Genetski inženjering u akvakulturi

- Biotehnologija poboljšava akvakulturu poboljšanjem zdravlja organizama, povećanjem produktivnosti i zaštitom ekosustava.
- Ključne metode uključuju cjepiva, probiotike, fagnu terapiju, gensku terapiju i RNA interferenciju.
- Genetski napredak povećava prinose, smanjuje troškove i smanjuje utjecaj na okoliš.



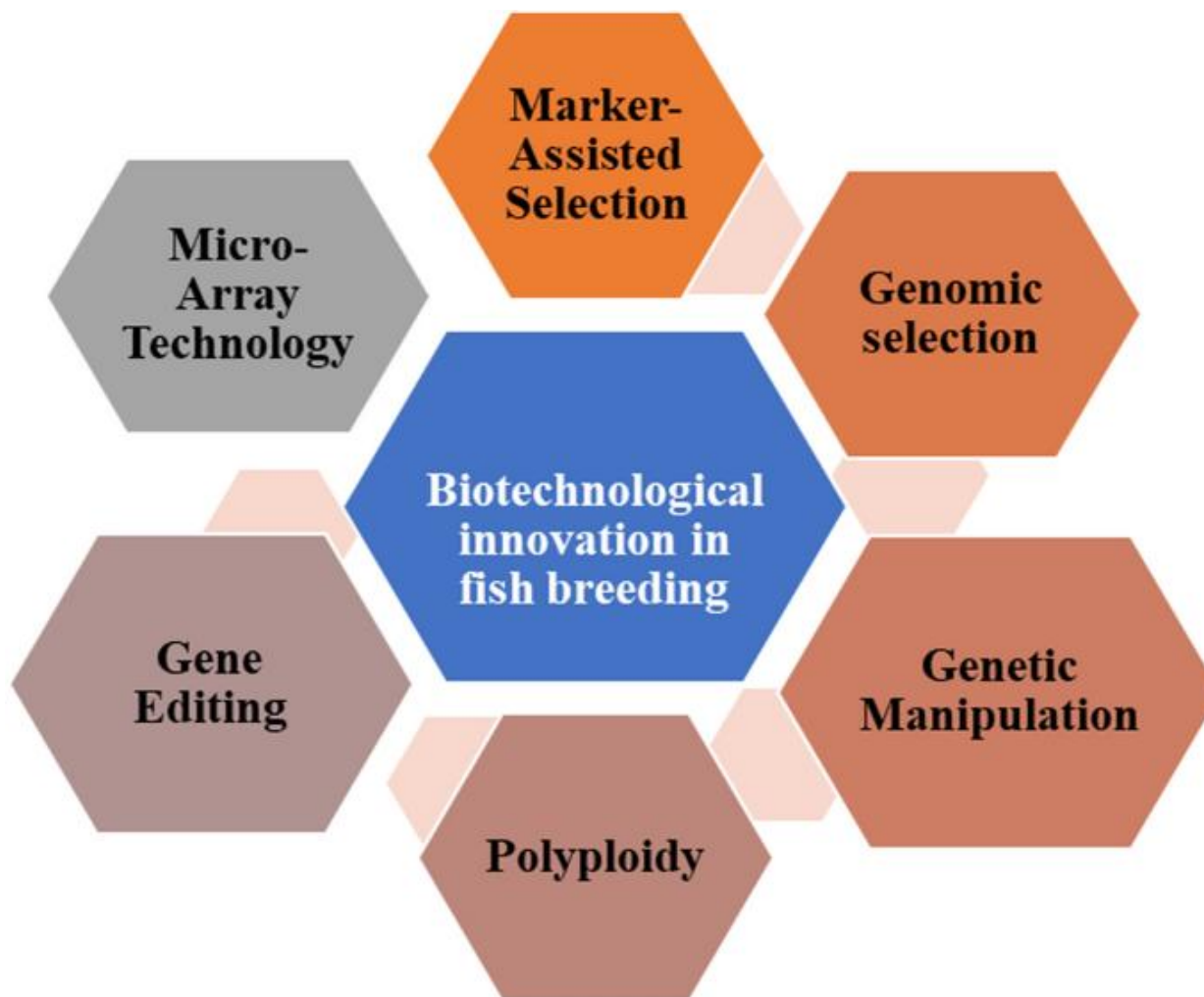
Tehnike genetskog inženjeringa u akvakulturi

Metode za uređivanje genoma riba uključuju:

CRISPR-Cas9 - Omogućuje precizno uređivanje gena za poboljšane osobine

Efektorske nukleaze slične aktivatoru transkripcije (TALEN) – Modifikacija gena za ciljani uzgoj

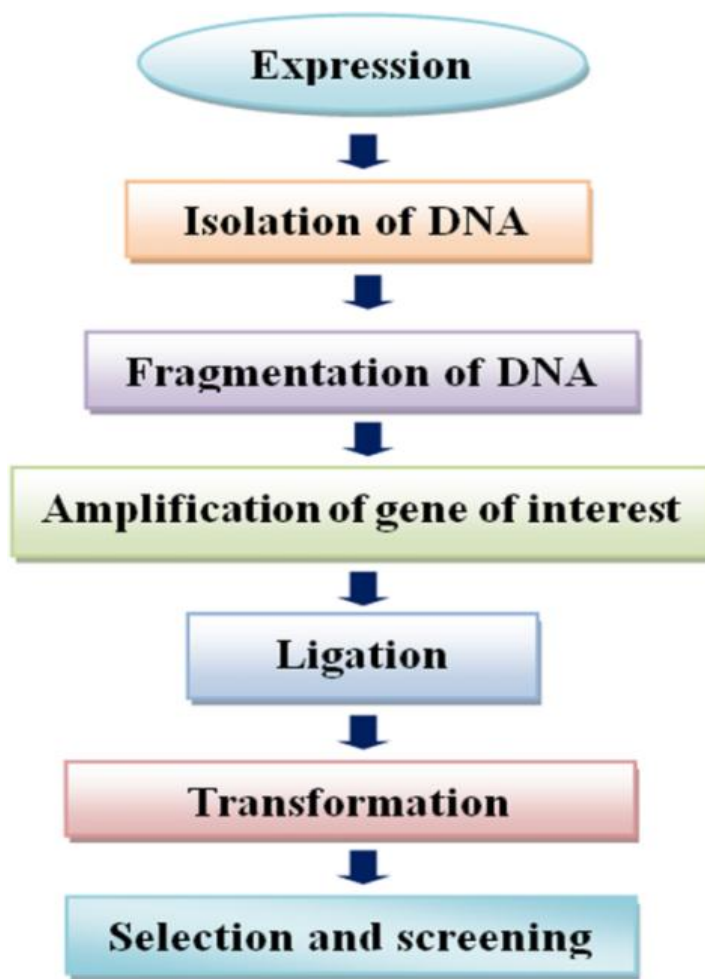
Nukleaze cinkovog prsta (ZFN) – Mijenjanje sekvenci DNK



Biotehnološke inovacije u uzgoju riba (Sankaran & Mandal, 2024).



Genom organizma može se modificirati umetanjem sintetičke
DNK iz različitih izvora. Proces uključuje:



Glavni koraci uključeni u tehnologiju rekombinantne DNK (Sankaran i Mandal, 2024.)



CRISPR u akvakulturi

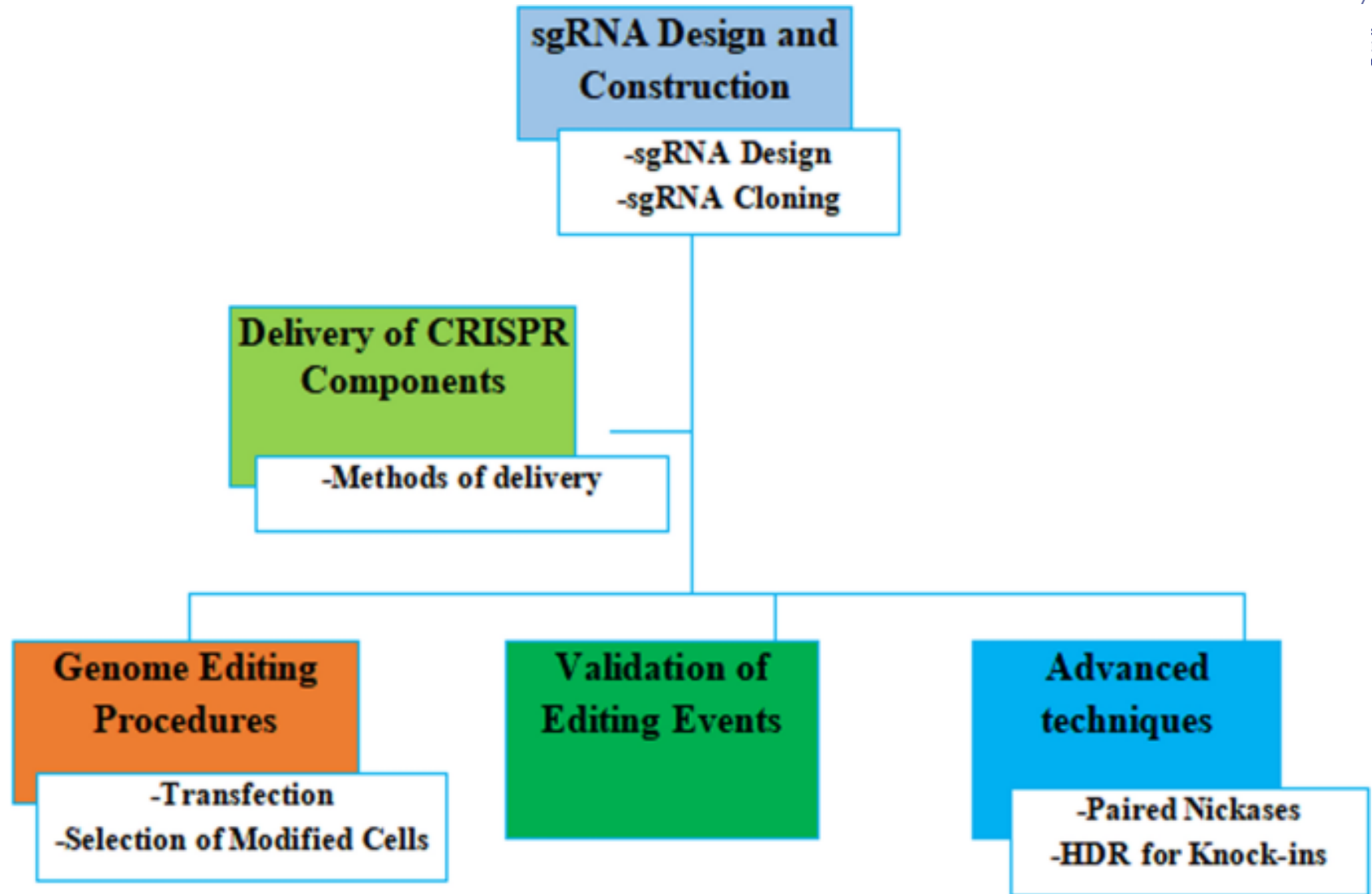
Kao revolucionarni alat za genetsko poboljšanje u uzgoju ribe:

CRISPR/Cas9 je napredni alat za uređivanje gena koji omogućuje precizne modifikacije DNK.

Revolucionira akvakulturu poboljšavajući rast, kvalitetu mišića, otpornost na bolesti i određivanje spola.

Učinkovitiji, isplativiji i točniji od tradicionalnih metoda uzgoja.

Omogućuje ciljane promjene gena, minimizirajući neželjene mutacije.



CRISPR/Cas9 gene editing (Sankaran & Mandal, 2024)



Učinci korištenja CRISPR/Cas9 u uređivanju gena različitim vrstama riba

- CRISPR/Cas9 pomaže u rješavanju izazova akvakulture:
 - Izbijanja bolesti, spor rast i utjecaj na okoliš.
- Primjene u akvakulturi:
 - Suzbijanje invazivnih vrsta.
 - Inženjerski mikroorganizmi za poboljšanje kvalitete vode.
 - Genetski modificirana riba za održivost.
- Transgene ribe s poboljšanom učinkovitošću pretvorbe hrane smanjuju upotrebu resursa.
- Podupire ekološki prihvatljive prakse akvakulture.



Učinci CRISPR/Cas9 na biološke i ekološke aspekte ribljih vrsta



Primjenjiva polja	Utjecaji
Otpornost na bolesti	Koristi se za smanjenje virusne infekcije virusom hemoragijske septikemije (VHSV) stanica prirodnog embrija iverka (HINAE).
	Omogućuje uređivanje gena kod ribljih vrsta kao što su losos, tilapija i škampi kako bi se povećala njihova otpornost na bolesti.
	Pomaže u deleciji gena JAM-A u stanicama amura, što značajno povećava otpornost na infekciju reovirusom amura (GCRV).
	Pomaže u poboljšanju linija ribljih stanica za odgovor domaćina i genetsku otpornost na zarazne bolesti, koristeći atlantskog lososa i kalifornijsku pastrvu kao modelne sustave u akvakulturi.
Prilagodba okolišu	Pomaže u uređivanju gena u ribljim vrstama, kao što je uzgojeni losos, kako bi se prilagodili promjenjivom okruženju
Poboljšanje stope rasta i mišići	Povećava rast mišića izbacivanjem gena receptora melanokortina (mc4r) i eksperimentalno je isproban na kanalskom somu i japanke medake.
	Poboljšao je stope rasta i povećao mišićnu masu kanalskog soma modificirajući gen miostatina u embrijima kanalskog soma.
	Pomaže u povećanju mišićne mase tupe njuške zbog poremećaja



Primjene CRISPR/Cas9

Različite vrste riba i njihovi utjecaji

Vrsta	Tehnološki utjecaji
Tilapija	Koristi se za proizvodnju sterilnih populacija nilske tilapije, smanjujući rizik od štete za okoliš od odbjegle ribe.
Atlantski losos	Pomaže u uređivanju gena kako bi se stvorile vrste koje su vrlo otporne na virusne infekcije, npr. losos
Zebrica	Omogućuje znanstvenicima proučavanje mutacija i genetskih varijanti kod zebrice. Može se koristiti za uspješnu integraciju kompozitnih oznaka u embrije zebrice, omogućujući precizno označavanje i vizualizaciju staničnih struktura ili proteina. To nudi potencijal za proučavanje dinamike proteina, ekspresije gena i drugih bioloških procesa u ovom modelnom organizmu.
Kalifornijska pastrva	Pokazalo se da smanjuje ekspresiju gena igfbp-2b kod kalifornijske pastrve, utječući na rast i razvoj, ali njegov utjecaj na ukupnu izvedbu i endokrini sustav ostaje nejasan.
Atlantski losos i kalifornijska pastrva	Korišten je za ciljanje jedinstvenih gena povezanih s rastom i imunitetom u stanicama atlantskog lososa, kalifornijske pastrve i coho lososa.
Japanska medaka	Ima potencijal povećati rast mišića i tjelesnu težinu kod uzgojenih vrsta riba kao što je medaka. Međutim, potrebna su daljnja istraživanja kako bi se utvrdio njegov utjecaj na prinos proizvodnje i zdravlje riba.
Iverak	Može se koristiti za ometanje gena miostatina kod iverka, potencijalno povećavajući tjelesnu težinu i mišićno tkivo, ali potrebna su daljnja istraživanja kako bi se razumjeli njegovi učinci na učinkovitost proizvodnje i zdravlje riba
Kanalski som	Korišten je za modificiranje gena miostatina u kanalskom somu kako bi se poboljšao rast i kvaliteta mišića, ali potrebna su daljnja istraživanja kako bi se u potpunosti razumjeli njegovi učinci.



Dio 4. Tehnologije krioprezervacije i potpomognute oplodnje



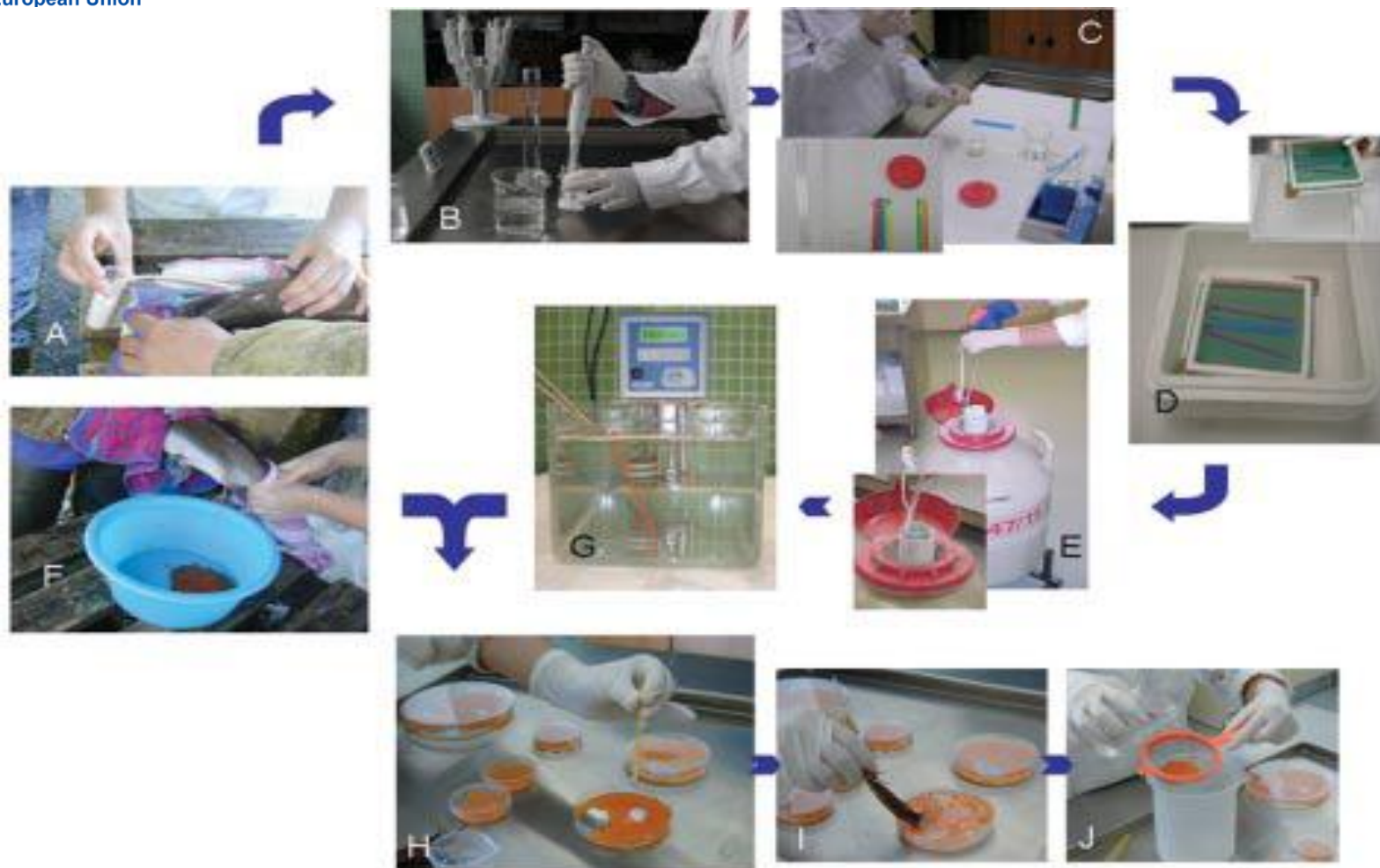
Akvakultura i krioprezervacija

- Akvakultura ima ključnu ulogu u globalnoj sigurnosti opskrbe hranom i očuvanju biološke raznolikosti.
- Reproductivna učinkovitost ključna je za održavanje ribljih populacija i poboljšanje ishoda razmnožavanja.
- Krioprezervacija nudi tehnološko rješenje za održavanje i poboljšanje genetskih resursa riba.



Osnovni principi krioprezervacije

- Krioprezervacija uključuje pohranjivanje bioloških uzoraka na ultra niskim temperaturama (-130°C ili nižim).
- Ključne prednosti uključuju zaustavljanje metaboličke aktivnosti i sprječavanje genetske razgradnje.
- Intenzivno se koristi u reproduktivnoj biologiji i programima očuvanja.
- Skladištenje na niskim temperaturama zaustavlja biokemijske reakcije i sprječava oštećenje stanica.
- Stvaranje leda predstavlja veliki izazov, koji zahtijeva kontrolirane protokole hlađenja.
- Krioprotektanti pomažu u sprječavanju osmotskog stresa i stvaranja unutarstaničnog leda.



Postupak zamrzavanja sperme: (A) ekstrakcija sperme pastrve kaulacijom, (B) razrjeđivanje u nastavku za krioprotekciju, (C) punjenje francuskim slamkama od 0,5 cc (umetnuće s različitim slamkama, kriovijalcima i PVA prahom za brtvljenje slame), (D) zamrzavanje preko plutajućeg uređaja u kutiji od stiropora koja sadrži N₂l, (E) skladištenje u spremniku N₂l, (F) skidanje ženki, (G) odmrzavanje sperme u vodenoj kupelji, i (H–J) oplodnja

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

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247



Prednosti krioprezervacije

Tehnologija krioprezervacije razvijena je za mnoge vrste riba i nudi brojne prednosti:

- **Očuvanje sperme** osigurava dostupnost tijekom cijele godine i uzgoj izvan sezone.
- **Izmjena spolnih stanica** sprječava inbreeding i pojednostavljuje upravljanje leglom.
- **Kriobankarstvo** podržava genetsku selekciju, očuvanje i hibridizaciju.
- **Genetsko očuvanje** omogućuje kontrolirano križanje i napredak u istraživanju.



Dio 5. Etička, ekološka i regulatorna razmatranja u biotehnologiji akvakulture



Etička pitanja u biotehnologiji akvakulture

- **Dobrobit životinja:** Uređivanje gena i transgeneza mogu poboljšati rast i otpornost na bolesti, ali mogu uzrokovati stres, deformacije, imunološku supresiju ili metaboličke probleme. Poljoprivreda visoke gustoće pogoršava ove učinke, što zahtijeva prilagođene procjene dobrobiti.
- **Ekološki utjecaj:** Genetski modificirane ribe mogu poremetiti ekosustave nadmašujući autohtone vrste, mijenjajući hranidbene mreže i ugrožavajući biološku raznolikost. Etička pitanja također se javljaju u vezi s ljudskim utjecajem na prirodnu evoluciju.



Regulatorni okviri

Globalni standardi i smjernice

Organizacije poput FAO-a i CBD-a provode načelo predostrožnosti, zahtijevajući procjene rizika, studije okoliša i praćenje prije odobrenja GMO-a. Usklađeni propisi ključni su zbog prekogranične prirode vodenih ekosustava.

Nacionalni regulatorni pristupi

Regulatorni pristupi se razlikuju; zemlje poput SAD-a i Kanade imaju stroge procese evaluacije, dok drugima nedostaje nadzora. Odobrenje uključuje laboratorijska istraživanja, terenska ispitivanja i procjene okoliša, sa sve većim naglaskom na transparentnost i angažman javnosti.



Utjecaji biotehnologije akvakulture na okoliš

Dinamika ekosustava i genetsko onečišćenje

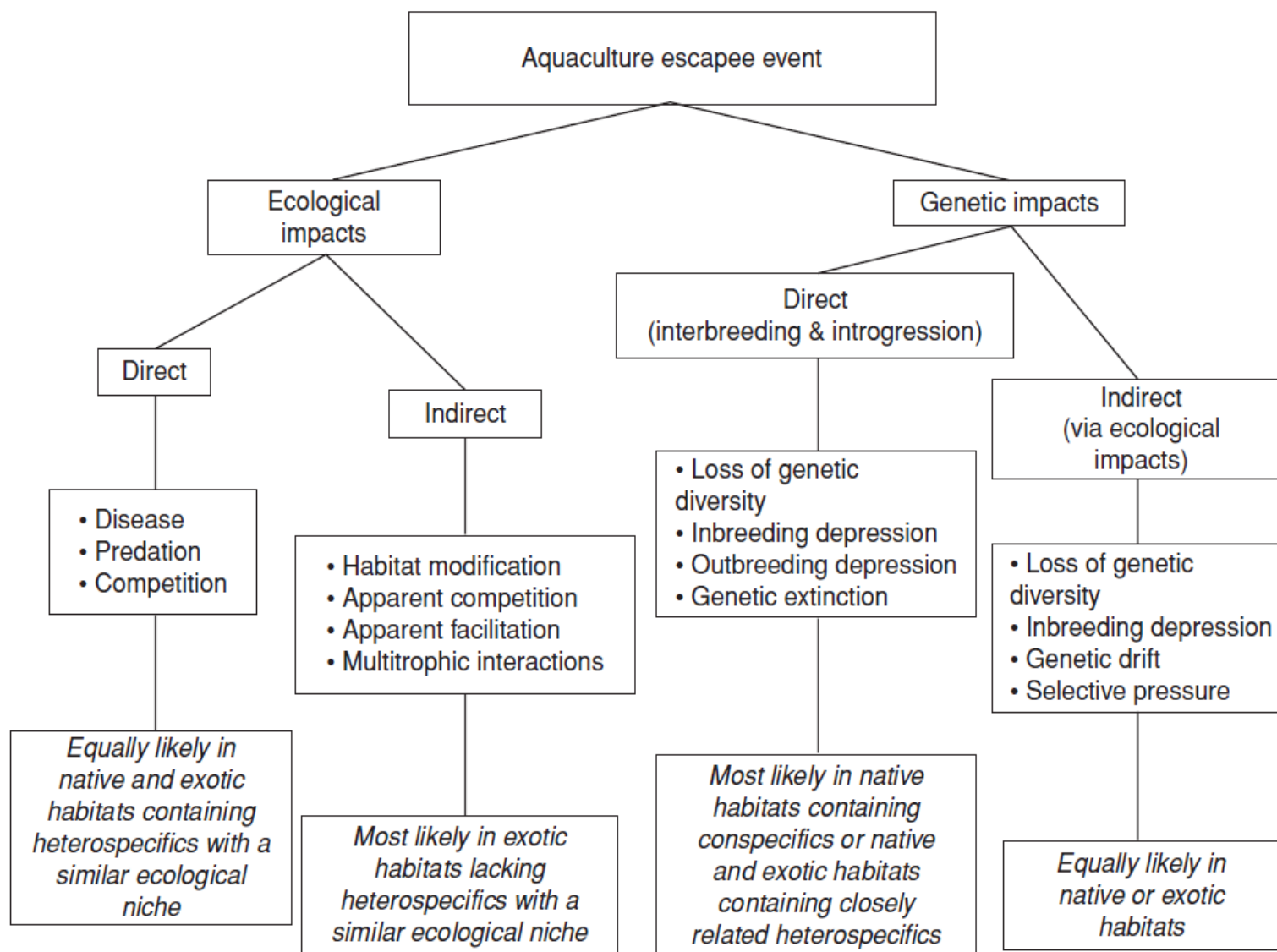
Hibridizacija s divljom ribom može smanjiti prilagodljivost, dok bjegunci iz uzgoja mogu nadmašiti autohtone vrste i širiti bolesti.

Interakcije s divljim populacijama

Transgene ribe s poboljšanim svojstvima mogu poremetiti ekosustave mijenjajući konkurenciju i dinamiku grabežljivaca i plijena.

Dugoročna održivost

Smanjite uništavanje staništa, poboljšajte učinkovitost resursa, zaštitite divlje zalihe i razvijte ekološki prihvatljivu hranu i gospodarenje otpadom.



Possible environmental impact of aquaculture escapees



Balancing Progress and Responsibility

- Biotechnology supports food security and biodiversity, but ethical, regulatory, and environmental safeguards are essential.
- Collaboration among scientists, policymakers, industry, and the public ensures responsible development.
- Regulations should be seen as enablers of sustainable innovation, not obstacles.



RASPRAVA:

TEMA: BIOTEHNOLOGIJA U AKVAKULTURI: RJEŠENJE ILI RIZIK?

Upute za raspravu:

Treba li se biotehnologija široko koristiti za modificiranje ribljih vrsta radi otpornosti na klimatske promjene?

Koji su glavni etički problemi u korištenju CRISPR/Cas9 u akvakulturi?

Mogu li genetski modificirane ribe predstavljati rizik za divlje ekosustave?

Kako regulatorni okviri utječu na provedbu biotehnologija u akvakulturi?

Upute:

Rasporedite razred u dvije skupine. Jedna će se skupina zalagati za biotehnologiju kao rješenje za klimatske izazove u akvakulturi, dok će druga raspravljati o potencijalnim rizicima (etičkim, ekološkim, ekonomskim). Svaka grupa treba iznijeti svoje argumente, nakon čega slijedi otvorena rasprava u kojoj učenici mogu međusobno osporiti svoje perspektive.



AKTIVNOST STUDIJE SLUČAJA

STUDIJA SLUČAJA: GENETSKI MODIFICIRANI LOSOS – USPJEH ILI PRIJETNJA?

U malim grupama učenici će sažeti ključne točke i predložiti preporuku o tome treba li GM ribu široko prihvatiti.

Pružite učenicima studiju slučaja o genetski modificiranom atlantskom lososu AquaBountyja, koji raste brže od svojih divljih kolega. Studenti će analizirati:

Prednosti GM lososa za sigurnost hrane.

Rizici za okoliš i mogući učinci na populacije divljih riba.

Percepcija javnosti i regulatorni izazovi.

Alternativne strategije za poboljšanje održivosti akvakulture.



AKTIVNOST KRITIČKOG RAZMIŠLJANJA

SCENARIJ: OTPORNOST AKVAKULTURE NA KLIMATSKE PROMJENE U BUDUĆNOSTI

Svaki učenik ili grupa mora odvagnuti prednosti i nedostatke svake opcije, uzimajući u obzir ekološke, etičke i ekonomske čimbenike. Zatim će predstaviti strateški plan za povećanje otpornosti ribogojilišta na klimatske promjene.

Predstavite učenicima scenarij u kojem se ribogojilište bori zbog porasta temperature vode, izbijanja bolesti i smanjenja ribljeg fonda. Moraju procijeniti različita rješenja:

Selektivni uzgoj

Genomska selekcija

Modifikacije temeljene na CRISPR-u

Poboljšane tehnike upravljanja poljoprivrednim gospodarstvom



IGRANJE ULOGA/ISTRAŽIVAČKA AKTIVNOST AKTIVNOST: SASTANAK O POLITICI AKVAKULTURE

Učenici razmišljaju o tome kako različiti dionici utječu na donošenje odluka u biotehnologiji i akvakulturi:

- Svaki student istražuje perspektivu svoje uloge.
- Pripremaju izjave, potkrijepljene znanstvenim i etičkim argumentima.
- Rasprava je moderirana, što dovodi do konačne odluke o politici.

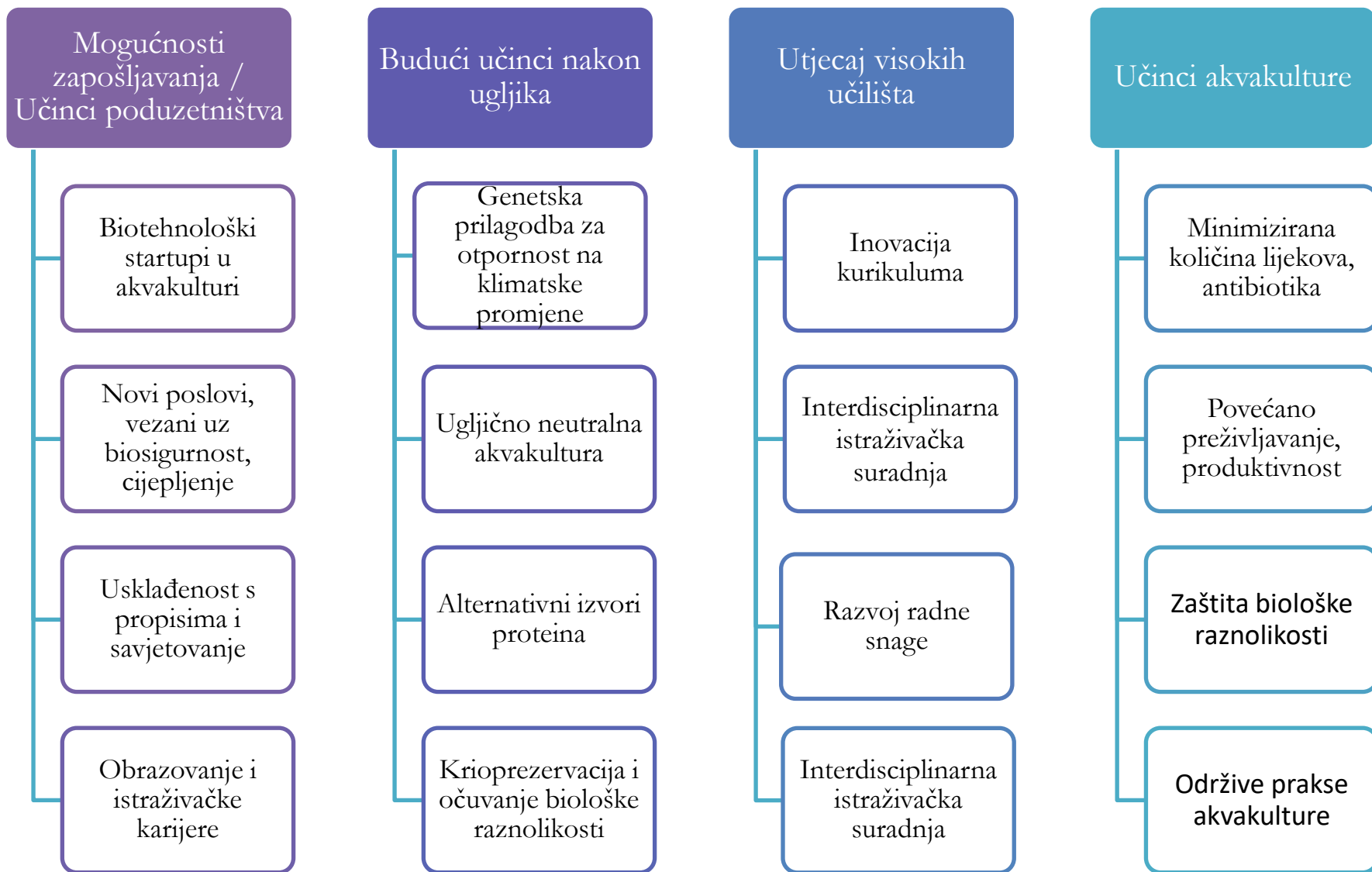
Studenti preuzimaju uloge (državni dužnosnik, izvršni direktor tvrtke za akvakulturu, aktivist za zaštitu okoliša, znanstvenik, zagovornik potrošača) i sudjeluju na simuliranom sastanku o politici. Cilj im je odlučiti treba li zemlja dopustiti genetsku modifikaciju velikih razmjera u akvakulturi.

Ideje za aktivnosti



- **Rasprava o biotehnologiji u akvakulturi** – Studenti sudjeluju u strukturiranoj raspravi o tome trebaju li se genetske modifikacije široko provoditi u uzgoju riba u borbi protiv klimatskih promjena.
- **Analiza studije slučaja:** Genetski modificirani losos – Grupe analiziraju slučaj AquaBounty GM lososa, procjenjujući koristi, rizike i regulatorne izazove.
- **Strateško planiranje za akvakulturu otpornu na klimatske promjene** – Studenti ocjenjuju različita biotehnološka rješenja (selektivni uzgoj, genomska selekcija, CRISPR) i razvijaju strategiju prilagodbe za ribogojilište.
- **Igranje uloga na političkom sastanku o genetskom inženjeringu u akvakulturi** – Sudionici predstavljaju dionike (znanstvenike, vladine dužnosnike, ekologe, lidere u industriji) u simuliranoj raspravi o donošenju odluka.
- **Etičke dileme u biotehnologiji** – Grupe analiziraju stvarne etičke probleme oko CRISPR/Cas9 i selektivnog uzgoja, raspravljajući o mogućim rješenjima.
- **Istraživanje i prezentacija o biotehnološkim inovacijama** – Studenti istražuju nedavna dostignuća (npr. uređivanje gena, sojevi otporni na bolesti) i predstavljaju njihovu potencijalnu primjenu u akvakulturi.
- **Komparativna analiza tradicionalnog naspram biotehnološkog uzgoja** – Timovi procjenjuju prednosti i ograničenja selektivnog uzgoja u odnosu na genomsku selekciju u vrstama akvakulture.
- **Rasprava o regulatornim okvirima za genetski modificirane ribe** – Učenici istražuju globalne propise i predlažu politike za održivu i odgovornu upotrebu biotehnologije u akvakulturi.
- **Simulacija:** Upravljanje ribogojilištem pod klimatskim stresom – Učenici djeluju kao upravitelji akvakulture i moraju provoditi strategije za ublažavanje učinaka klimatskih promjena pomoću biotehnologije.
- **Interaktivno čitanje i rasprava o budućim trendovima u akvakulturi** – Studenti analiziraju znanstvene članke o inovacijama u uzgoju riba i raspravljaju o njihovim dugoročnim implikacijama za industriju.

Kako sadržaj ovog modula može promovirati:





Reference

- **Yang, Z., et al. (2021).** "Genome Editing and Its Applications in Genetic Improvement in Aquaculture." *Reviews in Aquaculture*.
DOI: [10.1111/raq.12591](https://doi.org/10.1111/raq.12591)
- **Sankaran, G. B., & Mandal, A. (2024).** "Genetic Improvements in Aquaculture." *The Trout Journal of Atatürk University*.
DOI: [10.62425/tjau.1570599](https://doi.org/10.62425/tjau.1570599)
- **Zhu, M., et al. (2024).** "CRISPR/Cas9 Technology for Enhancing Desirable Traits of Fish Species in Aquaculture." *International Journal of Molecular Sciences*.
DOI: [10.3390/ijms25179299](https://doi.org/10.3390/ijms25179299)
- **Betsy, C. J., et al. (2022).** "Cryopreservation and Its Application in Aquaculture." *IntechOpen*.
DOI: [10.5772/intechopen.99629](https://doi.org/10.5772/intechopen.99629)