



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

SEMINARSKI RAD

Biotehnologija u akvakulturi
Biotechnology in aquaculture

Mentor: izv.prof.dr.sc.Petar Kružić

Student: Ivan Knezović,

3. godina preddiplomskog studija znanosti o okolišu



Sadržaj

1. UVOD	1
2. UPOTREBA BIOTEHNOLOGIJE U AKVAKULTURI.....	2
2.1. Indukcija razmnožavanja	2
2.2. Indukcija poliploidije	3
2.3. Indukcija ginogeneze i androgeneze	5
2.4. Tehnologija transfera gena u akvakulturi.....	7
2.5. Biotehnologija u službi upravljanja zdravstvenim stanjem riba.....	8
2.6. Pohrana gena ili gameta	9
3. OGRANIČENJA BIOTEHNOLOGIJE U AKVAKULTURI	10
4. ZAKLJUČAK.....	11
5. LITERATURA.....	12
6. SAŽETAK.....	15
7. SUMMARY	15



1. UVOD

Akvakultura, drevni oblik uzgoja čiji začeci sežu 2000 godina u prošlost i vežu se uz Kinu i Rimsko Carstvo (Balon 1995; Dunham i sur. 2001), zadnjih nekoliko desetljeća postaje globalni trend i rezultira golemom svjetskom proizvodnjom. Proizvodnja vodenih organizama se dramatično povećala od ranih 1980-tih budući da je potreba za ribljim proizvodima jako porasla, količina ribe koju ulove ribari je dosegla plato ili pada dok je ljudska populacija sve veća i raširenija. Budući da je biomasa ribe koja se može uzgojiti na nekoj površini puno veća nego biomasa kopnenih životinja, akvakultura bi mogla biti ključna u vidu globalne sigurnosti što se tiče hrane (Dunham 2004).

Trenutno je količina ribe dobivena lovom u prirodnim ribljim populacijama na maksimumu održivog prinosa-riblji fond je osjetno izlovljen. Hardy (1999) je predvidio manjak od 55 milijuna tona u traženoj količini ribljih proizvoda do 2025. godine zbog izlova i jako povećane potražnje. Upravo zbog povećane potražnje ribljih proizvoda, u akvakulturi postoji potreba za učinkovitijim sustavom proizvodnje. Veliko poboljšanje je već postignuto kroz poboljšanu prehranu, bolju i točniju dijagnozu bolesti i terapiju te primjenu genetskih tehnika na proizvodna svojstva, ali se uporabom biotehnologije u akvakulturi mogu ostvariti još veća poboljšanja (Dunham i sur. 2001). Genetske metode u akvakulturi mogu uvelike povećati učinkovitost proizvodnje povećanjem same proizvodnje ili povećanjem održivosti-neke od glavnih prepreka održivosti kao što je usporen rast ribe, nedovoljna konverzija hrane u mišićno tkivo, visoka smrtnost zbog različitih bolesti ili upotrebe kemikalija, gubitak ribe zbog niske razine kisika u vodi, loša reprodukcija, neučinkovito korištenje zemljišta, mogu se jako umanjiti korištenjem genetski poboljšane ribe. Budući da je prostor za akvakulturu sve više limitiran, potreba za učinkovitijom i/ili povećanom proizvodnjom na količinski istom prostoru će još dodatno povećati važnost genetskog unapređivanja akvatičnih vrsta.

Upotreba genetskih metoda u akvakulturi imaju svoj početak već u Kini i Rimskom Carstvu prije više od 2000 godina gdje su prvi uzgajivači riba, bez da su znali, promijenili učestalost gena i promijenili uspješnost ulova ribe, tj. genetski poboljšali uzgoj autohtonih vrsta kao što je šaran *Cyprinus carpio*. Kinezi i Europljani su uočili mutacije i fenotipske



varijante za boju, konformaciju tijela i peraja, veličinu tijela pa počinju birati određene fenotipove te selektivnim uzgojem uspostavljaju „preteču“ molekularne genetike i biotehnologije riba i školjkaša (Dunham 2004). Od 1980-tih, riba u uzgoju se poboljšala za mnoštvo osobina kao što su stopa rasta, učinkovitost konverzije hrane u mišićnu masu, otpornost na bolesti, povećana je tolerancija vode niske kvalitete, tolerancija na hladnoću, poboljšan je oblik tijela, plodnost i reprodukcija, mogućnost uzgoja itd. Na tržištu se upotrebljavaju mnoge različite genetske tehnike kao što su domestifikacija, selekcija, intraspecifično križanje, indukcija promjene spola i poliploidija za poboljšanje osobina riba i školjkaša. Budući da će riblji proizvodi biti strogo regulirani prije odobrenja za stavljanje na tržište kao i druga biotehnoški poboljšana hrana, biotehnologija u akvakulturi također omogućava i prednosti za okoliš.

2. UPOTREBA BIOTEHNOLOGIJE U AKVAKULTURI

Potencijalno područje biotehnologije u akvakulturi uključuje upotrebu sintetskih hormona u svrhu indukcije razmnožavanja, razvoj transgenične ribe, pohrana gena ili gameta, uniparentalne i poliploidne populacije te upravljanje zdravljem vodenih vrsta (Murthy and Kiran 2013).

2.1. Indukcija razmnožavanja

Gonadotropin Releasing Hormone (GnRH) je trenutno jedno od najboljih dostupnih biotehnoških alata za indukciju razmnožavanja riba. Ovaj hormon igra ključnu ulogu u razvoju i održavanju reproduktivnih funkcija u kralješnjaka (Bhattacharya i sur. 2002). GnRH je decapeptid prvi puta izoliran iz hipotalamusa svinja i ovaca koji može inducirati otpuštanje luteinizirajućeg hormona (LH) i folikulostimulirajućeg hormona (FSH) koje sintetizira i izlučuje prednji režanj hipofize, adenohipofiza (Schally i sur. 1973). LH i FSH reguliraju aktivnost gameta i potiču ih na proizvodnju androgena i estrogena. Ovisno o strukturnoj varijanti i biološkoj aktivnosti iste, pripremljeno je više kemijskih analoga GnRH-a. Jedan od njih je analog GnRH lososa koji se izdašno koristi u uzgoju ribe diljem svijeta pod nazivom *Ovaprim* (Slika 1.) (Bhattacharya i sur. 2002; Trivesh i sur. 2013). Štoviše, većina ekonomski



značajnih riba koje se uzgajaju u kopnenim vodama se ne razmnožava ukoliko nisu inducirane hormonom.

Uspješno inducirano razmnožavanje riba može smanjiti neizvjesnost i nedostupnost ribljeg sjemena u trenutku kada je potrebno te povećati proizvodnju u svrhu izvoza.



Slika 1. Intramuskularna injekcija Ovaprima direktno iza dorzalne peraje.

Preuzeto iz Yanong i sur. 2015.

2.2. Indukcija poliploidije

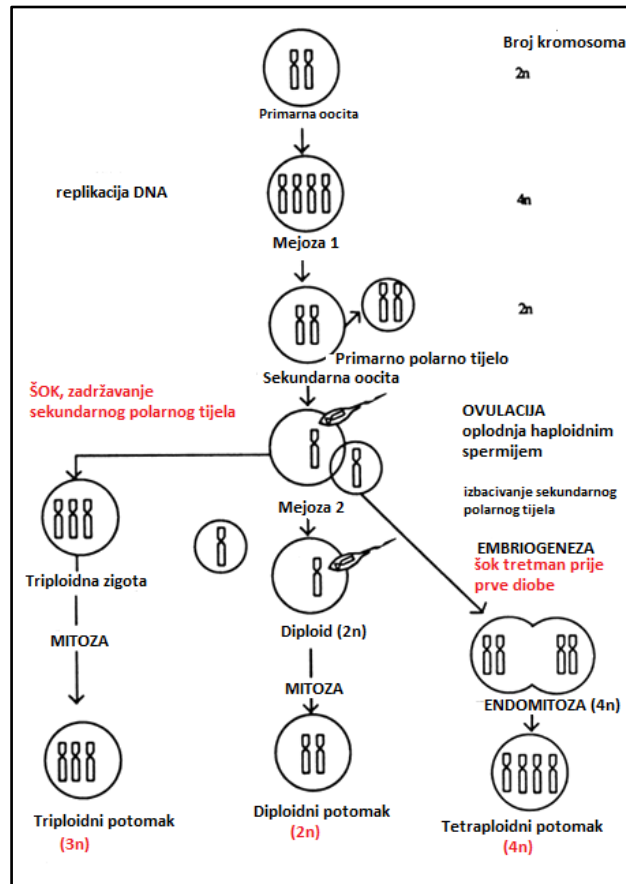
Poliploidija podrazumijeva stanje u kojem jedinka ima jedan ili više ekstra setova kromosoma. Normalno i najčešće stanje je diploidija u kojem jedinka sadržava dva kromosomska seta. Poliploidija je letalna kod sisavaca i ptica (Chourrout i sur. 1986), ali je veoma korisna kod različitih biljnih vrsta, npr. pšenice. Triploidne ribe su vijabilne (Thorgaard i sur. 1981; Chourrout 1984) i obično su sterilne što je rezultat manjka razvoja gonada (Chourrout i sur. 1986). Uzgoj triploidnih riba ima različite prednosti: povećanje rasta riba (Chourrout i sur. 1986), preživljenja i kvalitete mesa (Dunham 1996). Na početku spolnog sazrijevanja, reduciran ili inhibiran razvoj gonada dopušta da energija koja bi se normalno iskoristila za reproduktivne procese bude preusmjerena i korištena za rast somatskog tkiva (Thorgaard i Gall 1979). Sterilnost triploida je poželjna kod vrsta kao što je tilapija gdje često dolazi do viška reprodukcije u jezerima za uzgoj (Shelton i Jensen 1979).



Budući da se pomoću indukcije poliplodije najčešće dobivaju sterilne riblje jedinke, to je jedan od mehanizama za inhibiciju reprodukcije u problematičnim vrsta ili sterilizaciju transgenih riba što je primjer genetske konzervacije u službi očuvanja okoliša (Murthy i Kiran 2013).

Produkcija triploidnih riba ima veliki potencijal u povećanju učinkovitosti uzgoja riba i školjkaša, ali može biti i problematična-triploidne riba ponekad mogu biti fertile pa se gubi prednost sterilnosti. Učinkovitost indukcije triploidnosti kod riba je ovisna o vrsti i starosti ribe kao i eksperimentalnim uvjetima.

Na slici 2. prikazan je način na koji se može inducirati triploidija: omogućiti se normalna oplodnja, ali se nakon toga zadrži sekundarno polarno tijelo (Chourrout 1980) pomoću upotrebe temperature (niske ili visoke), hidrostatskog tlaka, anestetika ili kemijskim šokovima ubrzo nakon oplodnje (Thorgaard i sur. 1981; Wolters i sur. 1981; Chourrout 1984). Triploidija se može javiti i kod netretiranih riba što je zabilježeno za lososa grbavca (lat. *Oncorhynchus gorbuscha*) (Utter i sur. 1983). Postoje i riblje vrste koje su prirodno triploidne i tetraploidne (Dunham i sur. 1980).



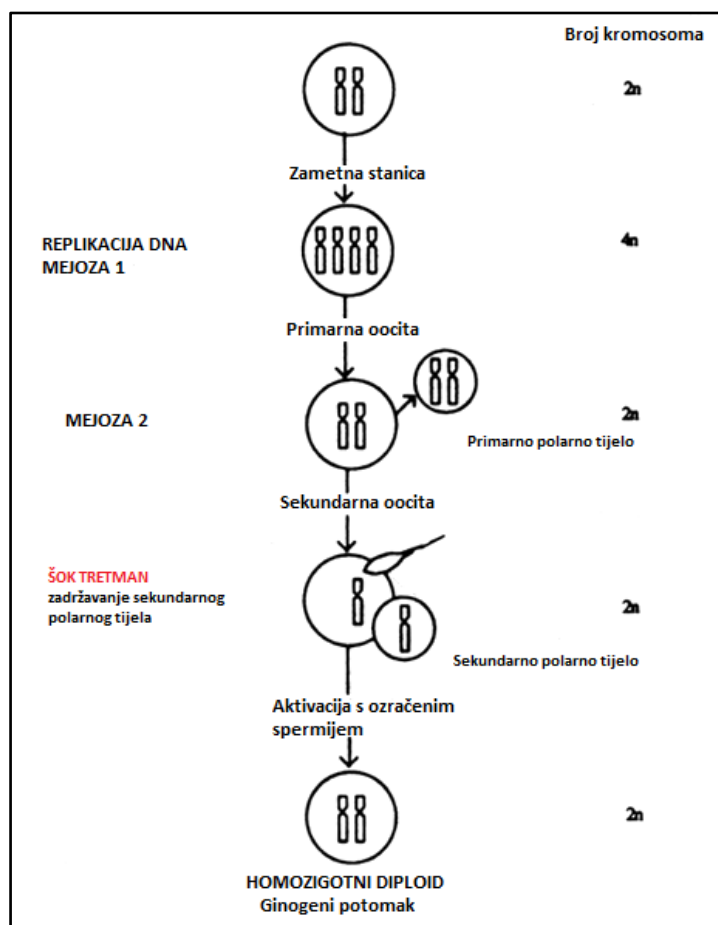
Slika 2. Shematski prikaz indukcije poliploidije.

Prilagođeno prema Reddy i sur. 1997

2.3. Indukcija ginogeneze i androgeneze

Ginogeneza je poseban oblik partenogeneze u kojoj prodiranje spermatozoida u jaje aktivira razvoj zigote bez da ugrađuje svoj genetski materijal u zigotu radi čega potomci nasljeđuju genetski materijal samo od majke, dok je androgeneza suprotan proces: razvoj spermijem aktivirane jajne stanice bez sudjelovanja genetskog materijala jajne jezgre pri čemu potomci nasljeđuju genetički materijal samo od oca. Ova dva procesa mogu se koristiti u akvakulturi za puno brže poticanje parenja blisko srodnih jedinki (eng. *inbreeding*), uspostavljanje klonalnih populacija ili jednospolnih populacije nego što je to slučaj u konvencionalnom uzgoju (Dunham 2004). Takvi riblji fond može imati posebnu vrijednost kada samo jedan spol ima poželjne karakteristike. Ginogeneza i androgeneza se koriste u akvakulturi kako bi se omogućio selektivni uzgoj, ali služi i za proučavanje mehanizama determinacije spola u riba.

Ginogeneza se može izazvati na umjetan način (Slika 3.) ozračivanjem i temperaturnim šokom nakon čega su spermatozoidi još uvijek sposobni da oplode jajnu stanicu, ali ne dolazi do spajanja jezgri budući da je očev parentalni genom inaktiviran tijekom radijacije ili upotrebe hladnog temperaturnog šoka (Al-Sabti 1983). Androgeneza se izaziva ozračivanjem jajne stanice nakon čega se dublira očev parentalni genom (Thorgaard 1986).



Slika 3. Shematski prikaz indukcije ginogeneze

Prilagođeno prema Reddy i sur. 1997



2.4. Tehnologija transfera gena u akvakulturi

Transfer gena je metoda biotehnologije koja se počinje koristiti u akvakulturi tijekom 1980-tih, a njezina upotreba omogućena je razvojem tehnologije rekombinantne DNA i genetičkog inženjerstva. Temelji se na unošenju strane DNA/gena u genom domaćina gdje se stabilno održava i eksplicira čime omogućava modificiranje i poboljšanje određenih genetskih svojstava kod komercijalno važnih riba, mekušaca i rakova za njihov uzgoj u akvakulturi. Znanstvenici na taj način pokušavaju proizvesti ribe koje su veće, brže rastu, učinkovitije u konverziji hrane u mišiće, otporne na bolesti, tolerantne na niske razine kisika u vodi i niske temperature. Prvi uspješan transfer gena u riba proveden je u Kini 1985. godine mikroinjektiranjem fragmenta linearne DNA iz rekombinantnog plazmida u oplodenu jajnu stanicu zlatne ribice (Zhu i sur. 1985). Većina istraživanja usmjerena je na transfer gena za hormon rasta budući da je poznato da se somatski rast riba uspori nakon spolnog sazrijevanja kada se više od 20% energije počinje preusmjeravati na proizvodnju gameta i parenje (Murthy i Kiran 2013). Dramatično povećanje rasta (čak 3-5 puta veće nego u ne-transgenim kontrolama) zabilježeno je korištenjem ove tehnologije kod lososa (Slika 4.) (Devlin i sur. 1994). Korištenje ove tehnologije je još više stavilo naglasak na proizvodnju sterilnih jedinki kako bi se minimalizirao rizik za miješanje transgenih vrsta s divljim vrstama u populacijama u prirodi ako dođe do bijega iz uzgajališta.

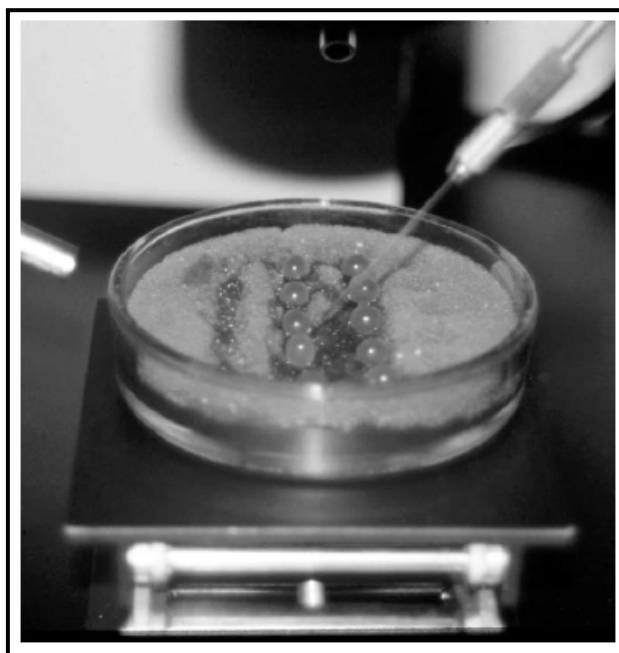


Slika 4. Usporedba veličine transgenog lososa (iznad) i ne-transgene kontrole (ispod).

Preuzeto iz <http://www.nature.com/news/transgenic-salmon-nears-approval-1.12903>



Ribe i ostali vodeni organizmi proizvode velike količine jaja koje su većinom oplodene i inkubirane izvan tijela (Dunham 1990). Budući da ribe imaju vanjsku oplodnju, nisu potrebne nikakve kompleksne manipulacije embrija što ribe čini jako pogodnim organizmima za upotrebu tehnologije transfera gena. Kada je strana DNA injektirana, počinje se jako brzo replicirati u citoplazmi embrija i počinje nestajati kako se razvoj nastavlja, a samo oko 5% embrija koji prežive ugrade stranu DNA (Houdebine i Chourrout 1991). Nakon razvoja metode mikroinjektiranja (Slika 5.), razvijene su i nove tehnologije unošenja strane DNA kao što su elektroporacija, retroviralna integracija, mikroprojektili velike brzine itd. koje omogućavaju učinkovitiju proizvodnju većeg broja transgenih jedinki u kraćem vremenskom periodu (Chen i Powers 1990).



Slika 5. Mikroinjektiranje strane DNA u jaja lososa.

Preuzeto iz Dunham 2004.

2.5. Biotehnologija u službi upravljanja zdravstvenim stanjem riba

Jedno od najvećih ograničenja u razvoju akvakulture su bolesti pa neki od biotehnoloških alata kao što su metode molekularne dijagnostike, upotreba cjepiva i stimulansa imunološkog sustava postaju veoma popularni diljem svijeta u službi poboljšanja



rezistencije na bolesti riba i ostalih vodenih vrsta. Budući da je brza detekcija patogena jako važna u samoj dijagnozi bolesti, metode kao što su genske probe i lančana reakcija polimeraze (PCR) pokazuju veliki potencijal u tom području. Također, razvijeno je nekoliko cjepiva protiv bakterija i virusa koje napadaju vodene vrste. Osim uobičajenih cjepiva koja su napravljena od umrtvljenih mikroorganizama, razvija se i nova generacija cjepiva koja se sastoje od proteinskih podjedinica cjepiva, genetski modificiranih organizama i DNA cjepiva u kojima je glavna strategija imunizacija protiv bolesti (Murthy i Kiran 2013).

2.6. Pohrana gena ili gameta

Krioprezervacija je veoma bitna tehnika biotehnologije koja uključuje dugoročno pohranjivanje biološkog materijala na vrlo niskim temperaturama, većinom na temperaturi tekućeg dušika od -196° . Budući da veoma niske temperature „stišavaju“ odnosno imobiliziraju fiziološke i biokemijske aktivnosti stanica, time se omogućava očuvanje stanica vijabilnima kroz veoma dugi vremenski period.

Spermatozoidi gotovo svih kultiviranih vrsta riba su dosada bili krioprezervirani (Lakra 1993) čime se nadilazi problem ranijeg spolnog sazrijevanja mužjaka od ženaka i na taj način se omogućava selektivno razmnožavanje i omogućava očuvanje genoma (Harvey 1996). Preduvjet za pohranu gena vodenih vrsta je stvaranje kolekcije genskih baza koje bi mogli koristiti uzgajivači za stvaranje novih sojeva što je problematično jer se trenutno mogu zamrznuti samo muške gamete, a ne i jaja ili embriji (Lakra i Ayyappan 2003). Alternativa bi bila krioprezervacija stanica iz stadija blastule embrija koje bi nakon odmrzavanja mogle biti ubačene u donorski embrio iste vrste (Dunham 2004).



3. OGRANIČENJA BIOTEHNOLOGIJE U AKVAKULTURI

Postoji nekoliko ograničenja koje će trebati savladati za upotrebu biotehnologije u akvakulturi: pitanja zaštite okoliša (očuvanje biološke raznolikosti, gensko očuvanje i rizik za okoliš zbog prisutnosti genetički modificiranih organizama); problemi istraživanja kao što su financiranje istraživanja i procjena utjecaja te obuka znanstvenika; gospodarska pitanja (vlasnička prava, problem distribucije, sigurnost hrane i percepcija potrošača) te politička pitanja kao što su pitanje državne regulacije i globalne suradnje (Dunham 2004).

Genetsko poboljšanje riba i ostalih akvatičnih vrsta u uzgoju trebalo bi biti veći prioritet u očima vlade, nevladinih i komercijalnih organizacija što bi dovelo do povećane produktivnosti i rezultiralo boljim korištenjem resursa i smanjenjem troškova proizvodnje. Potrebno je više edukacije i obuke za istraživače diljem svijeta, a posebno istraživače u zemljama u razvoju. Interakcije između kultiviranih vrsta i divljih vrsta trebale bi se više istražiti i regulirati da ne bi bila narušena akvatična bioraznolikost pogotovo u vidu tehnika efektivne sterilizacije domestificiranih i transgenih vodenih organizama. Širenje genetski modificiranih organizama u akvakulturi treba provoditi samo u okviru odgovarajućih propisa.



4. ZAKLJUČAK

Tokom zadnjih 30 godina, biotehnologija i metode genetičkog inženjerstva napravile su veliki napredak u području akvakulture. Količina istraživačkog rada jako je porasla u tom području pa biotehnologija trenutno ima značajan utjecaj na akvakulturu i ribarstvo s veoma velikim potencijalom razvitka u budućnosti. Ako se ispravno primjenjuje, akvakultura ima potencijal za smanjivanje pritiska na prirodne populacije i pozitivni učinak na okoliš proizvodeći zdrave i brzo rastuće vodene svojte. Zabrinutost oko moguće štete u okolišu zbog bijega genetski modificiranih vodenih vrsta iz uzgajališta među divlje vrste može se izbjeći proizvodnjom riba koje će biti sterilne i na taj način se neće moći pariti s divljim jedinkama. Sterilnost može biti reverzibilna pa ako postoji želja ili potreba za razmnožavanjem transgenih vodenih vrsta, one se mogu potaknuti na plodnost jednostavnim tretmanima kao što su hormonalne injekcije.

Za nekoliko akvatičnih vrsta, upotrebom kombinacije tradicionalnog selektivnog uzgoja i metoda biotehnologije utvrđena je velika genetska dobit-postignuto je poboljšanje nekih svojstava čak do deset puta u usporedbi s divljim sojevima. Genetski modificirani vodeni organizmi već sad imaju veliki utjecaj na sigurnost dostupnosti hrane diljem svijeta, u razvijenim zemljama, ali i u zemljama u razvoju. Međutim, trebalo bi postići još veći napredak-kombinacija različitih programa genetskog poboljšavanja te tradicionalnog biotehnološkog i genetskog inženjerstva, najvjerojatnije će rezultirati s najboljim genotipovima za akvakulturu i upravljanje ribarstvom. Daljnji razvoj uvelike ovisi također i o volji i spremnosti proizvođača da surađuju s istraživačima i međunarodnim zajednicama kako bi došlo do međusobnog pomaganja što se tiče srodnih istraživanja i izgradnje infrastrukture. Bolja razmjena informacija o njihovim problemima i dostignućima među istraživačima i proizvođačima iz različitih regija svijeta, nesumnjivo će pomoći daljnjem razvoju ovog važnog sektora s ciljem povećanja održive proizvodnje vodenih životinja širom svijeta.



5.LITERATURA

1. Al-Sabti, K. (1983) Ginogeneza u riba. *Ribarstvo Jugoslavije* 39, 5-6.
2. Balon, E.K. (1995) Origin and domestication of the wild carp, *Cyprinus carpio*: from Roman gourmets to the swimming flowers. *Aquaculture* 129, 3–48.
3. Battacharya, S., Dasgupta, S., Datta, M and D. Basu (2002) Biotechnology input in fish breeding. *Ind J. Biotechnol.* 1, 29-38.
4. Chen, T.T. and Powers, D.A. (1990) Transgenic fish. *Trends in Biotechnology* 8, 209–214.
5. Chourrout, D. (1980) Thermal induction of diploid gynogenesis and triploidy in the eggs of the rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). *Reproduction, Nutrition, Development* 20, 727–733.
6. Chourrout, D. (1984) Pressure induced retention of second polar body and suppression of first cleavage in rainbow trout: production of all-triploids, all-tetraploids and heterozygous and homozygous diploid gynogenetics. *Aquaculture* 36, 111–126.
7. Chourrout, D. (1986) Techniques of chromosome manipulation in rainbow trout: a new evaluation with karyology. *Theoretical and Applied Genetics* 72, 627–632.
8. Devlin, R.H., Yesaki, T.Y., Blagi, C.A., Donaldson, E.M., Swanson, P. and Chen, W.K. (1994) Extraordinary salmon growth. *Nature* 371, 209–210.
9. Dunham, R.A. (1990) Genetic engineering in aquaculture. *AgBiotech News and Information* 2, 401–406.
10. Dunham, R.A. (1996) Contribution of genetically improved aquatic organisms to global food security. In: *International Conference on Sustainable Contribution of Fisheries to Food Security*. Government of Japan and FAO, Rome, Italy, 50 pp.
11. Dunham, R.A. (2004) *Aquaculture and Fisheries Biotechnology. Genetic Approaches*. CABI Publishing, CAB International, Wallingford, Oxfordshire OX10 8DE, UK, pp. 1-270.
12. Dunham, R.A., Majumdar, K., Hallerman, E., Bartley, D., Mair, G., Hulata, G., Liu, Z., Pongthana, N., Bakos, J., Penman, D., Gupta, M., Rothlisberg, P. and Hoerstgen-Schwark, G. (2001) Review of the status of aquaculture genetics. In: Subasinghe, R.P., Bueno, P., Phillips, M.J., Hough, C., McGladdery, S.E. and Arthur, J.R. (eds)



- Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand, 20–25 February 2000.* NACA, Bangkok, and FAO, Rome, pp. 129–157.
13. Dunham, R.A., Philipp, D.P. and Whitt, G.S. (1980) Levels of duplicate gene expression in armoured catfishes. *Journal of Heredity* 71, 248–252.
 14. Hardy, R.W. (1999) Collaborative opportunities between fish nutrition and other disciplines in aquaculture: an overview. *Aquaculture* 177, 217–230.
 15. Harvey, B. (1996) Salmon gene banking: a conservation opportunity. *Publ. World Fisheries Trust*, Canada, 83 pp.
 16. Houdebine, L.M. and Chourrout, D. (1991) Transgenesis in fish. *Experientia* 47, 891–897.
 17. Lakra, W. S. (1993) Cryogenic preservation of fish spermatozoa and its application to aquaculture. *Indian J. Cryogenics*. 18(1-4), 171-76.
 18. Lakra, W.S. and Ayyappan, S. (2003) Recent Advances in Biotechnology Applications to Aquaculture. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 16, No. 3 : 455-462
 19. Murthy, S.K., Kiran and B.R. (2013) Role of Biotechnology in fisheries and aquaculture: An overview. *Int.J.Cur. Tr. Res* 2(1), 74-86.
 20. Reddy, P.V.G.K., Mohapatra, K.D., Saha, J.N., Barat, A., Barman, H.K., Jana, R.K. and Meher, P.K. (1997) Induction of Mitotic gynogenesis in *Catla catla*, *Cirrhinus mrigala* and *Labeo calbasu*. *Journal of Agriculture in Tropics* 12(1), 65-72.
 21. Schally A., Arimura and A. J. Kastin. (1973) Hypothalamic regulatory hormones. *Sci.* 179, 341-350.
 22. Shelton, W.L. and Jensen, G.L. (1979) *Production of Reproductively Limited Grass Carp for Biological Control of Aquatic Weeds*. Bulletin No. 39, Water Resources Research Institute, Auburn University, Auburn, Alabama.
 23. Thorgaard, G. and Gall, G.A.E. (1979) Adult triploids in a rainbow trout family. *Genetics* 93, 961–973.
 24. Thorgaard, G.H. (1986) Ploidy manipulation and performance. *Aquaculture* 57, 57–64.
 25. Thorgaard, G.H., Jazwin, M.E. and Stier, A.R. (1981) Polyploidy induced by heat shock in rainbow trout. *Transactions of the American Fisheries Society* 110, 546–550.



26. Trivesh S. Mayekar, Amod A. Salgaonkar, J.M. Koli, Pravin R. Patil, Ajit Chaudhari, Nilesh Pawar, Suhas Kamble ,Abhay Giri, Girija G. Phadke and Pankaj Kapse (2013) Biotechnology and its applications in aquaculture and fisheries. http://aquafind.com/articles/Aquaculture_Biotechnology.php
27. Utter, F.M., Johnson, O.W., Thorgaard, G.H. and Rabinovitch, P.S. (1983) Measurement and potential applications of induced triploidy in Pacific salmon. *Aquaculture* 35, 125–135.
28. Wolters, W.R., Chrisman, C.L. and Libey, G.S. (1981) Induction of triploidy in channel catfish. *Transactions of the American Fisheries Society* 110, 310–312.
29. Yanong, R.P.E., Martinez, C., Watson, C.A. (2015) Use of Ovaprim in Ornamental Fish Aquaculture. <http://edis.ifas.ufl.edu/fa161> (pristupljeno 11.09.2016.)
30. Zhu, Z., Li, G., He, L. and Chen, S. (1985) Novel gene transfer into the fertilized eggs of goldfish (*Carassius auratus* 1758). *Journal of Applied Ichthyology* 1, 31–33.
31. <http://www.nature.com/news/transgenic-salmon-nears-approval-1.12903> (pristupljeno 11.09.2016.)



6. SAŽETAK

Akvakultura je drevni oblik uzgoja koji se pojavio prije više od 2000 godina u Kini i Rimskom Carstvu. Zbog stalnog iscrpljivanja ribljih zaliha, došlo je do porasta potražnje za hranom koja potječe iz uzgoja akvatičnih vrsta i učinkovitijih proizvodnih sustava. Budući da prostor za akvakulturu postaje sve više limitiran, potreba za učinkovitijom i/ili povećanom proizvodnjom na količinski istom prostoru će još dodatno povećati važnost genetskog unapređivanja vodenih vrsta. Akvakultura može pomoći kako bi se zadovoljile rastuće potrebe za hranom, a biotehnologija može napraviti veliki doprinos u vidu poboljšanja prinosa u akvakulturi. Potencijalna područja biotehnologije u akvakulturi uključuju korištenje sintetičkih hormona za indukciju razmnožavanja, proizvodnju jednospolnih, uniparentalnih i poliploidnih populacija, proizvodnju transgeničnih riba, pohranu gena i upravljanje zdravstvenim statusom životinja. Od 1980-tih, riba u uzgoju se poboljšala za mnoštvo osobina kao što su stopa rasta, učinkovitost konverzije hrane u mišićnu masu, otpornost na bolesti, povećana je tolerancija vode niske kvalitete, tolerancija na hladnoću, poboljšan je oblik tijela, plodnost i reprodukcija. Međutim, postoji potreba za regulacijom biotehnoških aktivnosti u pogledu mogućih negativnih utjecaja na okoliš i ljudsko zdravlje. Ako se pravilno provodi, biotehnologija u akvakulturi ima pozitivan učinak na okoliš proizvodnjom zdravih i brzorastućih vodenih vrsta. Biti će potrebno prevladati nekoliko ograničenja kako bi genetske tehnike u akvakulturi imale svoj maksimalan pozitivni učinak u budućnosti.

7. SUMMARY

Aquaculture is an ancient form of farming dating back 2000 years or more in China and the Roman Empire. Due to the continuing depletion of the fish stocks, it increased the demand for aquacultured foods and more efficient production systems. As the space for aquaculture has gradually become more limiting, the need for more efficient production or increased production within the same amount of space will further increase the importance of the genetic improvement of aquatic species. Aquaculture could help to meet increasing demand, and biotechnology can make a great contribution to improve aquaculture yields. The potential



areas of biotechnology in aquaculture include the use of synthetic hormones in induced breeding, production of monosex, uniparental and polyploid population, transgenic fish, gene banking and health management. Since the 1980s, several aquaculture species have been greatly improved in number of traits such as growth rate, feed conversion efficiency, resistance to disease, increased tolerance to water of low quality, tolerance to cold, body shape, fertility and reproduction. However, there is need for the regulation of biotechnology activities in terms of the potential adverse impacts on the environment and human health. If properly implemented, biotechnology in aquaculture has a positive effect on the environment by producing healthy and fast-growing aquatic species. Several constraints will need to be overcome for aquaculture genetics to have its maximum impact and benefit in the future.