

MOGUĆNOSTI RAZVOJA INTEGRIRANE MULTI-TROFIČKE AKVAKULTURE NA JADRANU

I. Župan*¹, M. Peharda², L. Bavčević³, T. Šarić¹, D. Kanski⁴

Sažetak

Posljednjih godina pojačan je znanstveni interes za istraživanje potencijala integrirane multi-trofičke akvakulture (IMTA), posebice s aspekta smanjenja negativnih posljedica po okoliš, povećanja produktivnosti proizvodnje i podizanja socijalne percepcije industrije u javnosti. Razvoj integrirane akvakulture na Mediteranu, pa tako i u Jadranskom moru, na samim je počecima, a glavnu prepreku u razvoju stvara nedostatak informacija o značajkama ovog vida uzgoja – od izbora odgovarajućih kompatibilnih vrsta, poznavanja značajki i nosivog kapaciteta biotopa, poznavanja interakcija među vrstama koje se hrane na različitim trofičkim razinama, kao i socio-ekonomskih koristi integracije. Trenutna iskustva temelje se na manjim eksperimentalnim istraživanjima i projektima lokalnog značenja, ali daju dobar uvid u mogućnosti ovog vida proizvodnje i mogućim interakcijama s okolišem. Cilj ovog rada je pregled literature i iskustava iz svijeta i Mediterana te osvrt na mogućnosti primjene principa integrirane akvakulture na Jadranu.

Ključne riječi: Integrirana multitrofička akvakultura (IMTA), školjkaši, uzgoj ribe, Mediteran, Jadransko more

UVOD

Moderna akvakultura, poglavito intenzivni uzgoj riba i rakova, bazira se na unosu dodatnih izvora hrane i nutrijenata u okoliš i može za posljedicu imati negativno biogeo-kemijsko djelovanje na vodeni stupac, sediment i bentoske zajednice (Troell i Norberg 1998; Stamou i sur., 2009). Višak nutrijenata prisutan u blizini uzgojnog područja potječe od ostataka nepojedene riblje hrane, fecesa i drugih metaboličkih nusprodukata te može dovesti do lokalne hipernutritivacije i pojačanog razvoja fitoplanktona u okolnim vodama (Cheshuk i sur., 2003; Sarà i sur., 2004). Ovi učinci osim same potencijalne degradacije

1 Ivan Župan* (Ph.D.) (Corresponding author, e-mail: zupan@unizd.hr), Tomislav Šarić (Ph.D. student), Sveučilište u Zadru, Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu, M. Pavlinovića bb, 23000 Zadar;

2 Prof. dr. sc. Melita Peharda, Institut za oceanografiju i ribarstvo, Š. I. Meštrovića, 21000 Split;

3 Dr. sc. Lav Bavčević, Hrvatska poljoprivredna komora – Uprava za ribarstvo, Mažuranićeva 30/I, Zadar;

4 Danijel Kanski (Ph.D. student), Dalmar doo, Zadar

okoliša mogu imati za posljedicu i negativno djelovanje na organizme u uzgoju, smanjujući ili otežavajući proizvodnju. Prema FAO (2004), jedan od glavnih ciljeva industrije akvakulture u bliskoj budućnosti je minimalizacija negativnih utjecaja na okoliš s namjerom postizanja dugoročne održivosti. U tehnološki naprednijoj akvakulturi, poglavito kod kaveznog uzgoja salmonida, razvijen je niz tehnoloških inovacija s ciljem smanjenja negativnog utjecaja na okoliš. Tako su uvedene preciznije formulacije hrane, poboljšana probavljivost i kontrola unosa hrane, odmor lokacija, gustoća nasada itd. Također, kao jedna od tehnika smanjenja negativnog utjecaja na okoliš, ali i povećanja produktivnosti proizvođača, u novije vrijeme nameće se i mogućnost integriranog multi-trofičkog uzgoja organizama (Cheshuk i sur., 2003; Troell i sur., 2003; Neori i sur., 2004; Whitmarsh i sur., 2006; Troell i sur., 2009; Barrington i sur., 2009; Nobre i sur., 2010).

Integrirana multitrofička akvakultura (IMTA) može se definirati kao oblik akvakulture kod koje se otpadni nutrijenti uzgoja, koji bi inače bili otpušteni u okolišu i predstavljali potencijalno opterećenje po isti, iskorištavaju kao izvor hrane u drugom podsistemu, dovodeći pritom do povećane produktivnosti ukupnog sistema koji je pod kontrolom uzgajivača (Neori i sur., 2004; Soto, 2009; Troell i sur., 2009; Chávez-Crooker i Obreque-Contreras, 2010). Može se reći da se integrirana akvakultura učinkovito provodi u slučaju kada količina ispuštenih nutrijenata jedne skupine otprilike zadovoljava hranidbene potrebe druge, odnosno kada su različite skupine organizama i izmjena nutrijenata među njima u proporcionalnom odnosu. Integriranim uzgojem različitih skupina organizama otpadni nutrijenti, umjesto gubitka u okolišu postaju izvor hrane organizmima koji se hrane filtracijom i asimilacijom te postoji mogućnost njihova bržeg rasta nego u okolnim vodama. Dakle, integrirana multitrofička akvakultura ima potencijal povećanja produktivnosti i efektivnosti proizvodnje, ali i smanjenja negativnog utjecaja po okoliš (Stirling i Okomus, 1995; Chopin i Robinson, 2004; Chopin i sur., 2001; Mazzola i Sarà, 2001; Cheshuk i sur., 2003; Troell i sur., 2003; Lander i sur., 2004; Neori i sur., 2004; Barrington i sur., 2009; Sarà i sur., 2009; Troell i sur., 2009).

U novije vrijeme, pojam "Integrirana multitrofička akvakultura" (IMTA – Integrated Multi-trophic Aquaculture) postaje globalno prepoznatljiv i djelomično se distancira od pojma "Polikultura" (Chopin i Robinson 2004; Barrington i sur., 2009). Primjerice, polikulturom se može smatrati uzgoj dviju ili više vrsta riba sličnih hranidbenih preferencija, dok integrirana multi-trofička akvakultura podrazumijeva uzgoj organizama koji se hrane na različitim trofičkim nivoima u istom uzgojnom području (Barrington i sur., 2009). Upravo stoga, pojmu "integrirana akvakultura" sve češće se dodaje i pridjev "multi-trofička", čime se želi dodatno naglasiti optimalna upotreba različitih trofičkih i nutricionalnih nivoa u uzgoju (Chopin i Robinson, 2004).

PREGLED DOSADAŠNJIH SPOZNAJA

Tradicionalni oblici integrirane marikulture provode se već dugi niz godina u Kini, Japanu i Južnoj Koreji i ostalim zemljama koje graniče s Tihim i Indijskim oceanom, gdje su farme s kaveznom uzgojem riba, školjkaša i morskih algi smještene jedne pored drugih u dubokim zaljevima i lagunama (Troell, 2009). Kroz periode pokušaja i grešaka na ovim područjima postignut je određen optimum integracije, ali točni podatci o tehnologiji uz-

goja rijetko su objavljivani. Početci moderne integrirane akvakulture tako sežu desetljećima pa čak i stoljećima unazad, a započeli su u slatkovodnoj akvakulturi (Neori i sur., 2004). Vjerojatno najstariji oblik integrirane akvakulture predstavlja kombinirani uzgoj riža – riba, koji se u Kini provodi već stoljećima. Ovaj tradicionalni oblik akvakulture predstavlja određenu simbiozu poljodjelstva i akvakulture, a zadnjih godina se širi i na ostale dijelove Azije (Troell, 2009). Polja riže u ovima kombiniranim sistemima predstavljaju utočište i prirodno stanište autohtonim vrstama riba i ostalim akvatičnim organizmima pružajući im stalan izvor hrane, zaštitu i mrjestilište, dok ribe i ostali organizmi pomažu u izmjeni nutrijenata, smanjujući upotrebu kemijskih sredstava za zaštitu od štetnika i čuvajući biološku raznolikost. Kombinirani uzgoj riže i ribe osigurava stabilne prinose riže uz ostvarenje dodatnog prihoda kroz iskorištavanje akvatičnih organizama (Halwart i Gupta 2004).

Slično tome, diljem Europe i Azije na slatkovodnim ribnjacima prakticira se ekstenzivni ili poluintenzivni uzgoj herbivornih i karnivornih vrsta riba i vodenih rakova zajedno s peradi – najčešće patkama i guskama (Neori i sur. 2004; Troell, 2009). U ovakvom obliku integrirane akvakulture koji zapravo imitira prirodni ekosistem, perad se hrani sitnom ribom i algama, a pritom svojim izmetom vrši prirodnu gnojidbu dušikom koja promiče daljnji rast algi i vodenog bilja. Herbivorne vrste riba i rakovi hrane se vodenim biljem dok se predatorne vrste riba hrane njima. Na kraju, uzgajivač ima višestruku ekonomsku korist iskorištavajući i ribe i perad (Neori i sur., 2004; FAO, 2010b).

Razvoj integrirane akvakulture u 20. stoljeću u zapadnim zemljama temelji se na znanstvenim istraživanjima provedenih 1970-ih godina s ciljem ispitivanja potencijala za smanjenje štetnog utjecaja intenzivne marikulture, odnosno otpadnih nutrijenata (Ryther i sur., 1975). Nakon određene faze stagnacije, u ranim 90-im godinama prošlog stoljeća javlja se pojačani interes za formiranjem načina uzgoja gdje se ekstraktivni organizmi poput morskih algi, školjkaša ili puževa upotrebljavaju kao "čistači" u akvakulturi (Shpigel i Blaylock 1991; Shpigel i sur., 1993; Chopin i Robinson, 2004; Neori i sur., 2004). Ovaj interes je osnovan na spoznaji da jedno od rješenja za ublažavanje utjecaja nutritivne, umjesto razgradnje i zbrinjavanja koji donose dodatni trošak, može biti konverzija otpadnih nutrijenata u ekonomski iskoristive proizvode primjenom integralnog pristupa (Chopin i Robinson, 2004).

Ubrzani razvoj integriranog pristupa u intenzivnim sistemima započet je kada su asimilacijski kapaciteti ekosistema za uzgoj monokultura postali redovito prezasićeni i onemogućavali daljnje povećanje proizvodnje ili čak negativno djelovanje na uzgajane organizme (Neori i sur., 2004). Pojavom negativnih posljedica u vidu bolesti, smanjenog prirasta, povećane konverzije hrane i sl., recikliranje otpadnih nusprodukata uzgoja pomoću algi, školjkaša i drugih ekstraktivnih organizama, kao način na koji se može postići održivost i poboljšati ekonomičnost proizvodnje, zaprima sve širu primjenu. Kroz desetljeće usavršavanja, od sistema "sve u jednom bazenu" i uzgoja u svrhu znanstvenih istraživanja, danas su razrađene tehnologije uzgoja koje omogućuju značajnu intenzifikaciju proizvodnje. Principi integrirane akvakulture tako svoju primjenu u najvećoj mjeri nalaze u kopnenim uzgajalištima gdje se uzgajaju ribe i rakovi u integraciji s makroalgama i školjkašima ili morskim puževima. Pritom se vode obogaćene nusproduktima uzgoja riba/rakova koriste za hranidbu školjkaša/puževa/algi, koje djeluju kao biofilteri te pretvaraju otpadne nusprodukte uzgoja u vlastitu biomasu. Integrirani uzgoj riba ili rakova

zajedno s morskim algama zabilježen je u Čileu, Kini, Izraelu, Južnoj Koreji, Filipinima, Španjolskoj, Švedskoj, Kanadi i SAD-u (Neori i sur., 2004). Integrirana akvakultura razvijena do predkomercijalnog ili komercijalnog stadija zabilježena je u Kanadi, Čileu, Irskoj, Južnoj Africi, Velikoj Britaniji i SAD-u dok se u Norveškoj, Španjolskoj, Portugalu, Francuskoj, Italiji i Hrvatskoj zabilježena znanstvena istraživanja na eksperimentalnoj razini (Barrington i sur., 2009; Angel i Freeman 2009). U Kanadi već postoji nekoliko privatnih tvrtki koje se bave integriranom proizvodnjom lososa (*Salmo salar* Linnaeus, 1758), dagnje (*Mytilus edulis* Linnaeus, 1758) i algi (*Saccharina latissima* (Linnaeus) C.E.Lane, C.Mayes, Druehl & G.W.Saunders, 2006). Provedena znanstvena istraživanja integrirane akvakulture na Mediteranu temelje se na manjim eksperimentalnim istraživanjima i projektima lokalnog značenja, ali daju dobar uvid u mogućnosti ovog vida proizvodnje i mogućim interakcijama s okolišem. (Neori i sur., 2000; Soto, 2009; Chopin i sur., 2010).

BIOTEHNOLOŠKE ZNAČAJKE INTEGRIRANE AKVAKULTURE

Ovisno o načinu ishrane i drugim specifičnostima uzgajanih organizama, integrirana akvakultura se može promatrati kroz nekoliko povezanih cjelina. Prvu čine organizmi koji se uzgajaju pomoću dodatnih izvora (poput formulirane hrane, divlje ribe i sl.) i u ovoj skupini dominiraju ribe i rakovi. Drugu cjelinu čine takozvani ekstraktivni organizmi, koji svoje izvore hrane nalaze u okolišu, poput školjkaša i morskih algi. Školjkaši imaju sposobnost rasta pomoću ugradnje otopljenih organskih čestica poput nepojedenih ostataka riblje hrane, fitoplanktona i bakterija koje filtriraju iz vode dok alge upotrebljavaju sunčevu svjetlost kako bi povećale svoju biomasu, asimilirajući pritom razgrađene anorganske čestice iz vode. Ove skupine organizama uz pravilnu biotehnologiju mogu otpadne nusprodukte uzgoja pretvoriti u ekonomski iskoristivu biomasu, a vodene medije zasićene otpadnim nutrijentima u čiste vode (Neori i sur., 2000; 2004).

Smanjenje negativnog utjecaja po okoliš u bilo kojoj industriji, pa tako i akvakulturi, rezultira povećanjem troškova proizvodnje te smanjenjem profita. Kako bi akvakultura bila ekološki prihvatljiva, ali i dovoljno konkurentna, potrebno je povećati prihode na način da se poveća produktivnost po jedinici unesene hrane (Neori i sur., 2004). Ovakvim pristupom nusprodukti uzgoja, umjesto opterećenja po okoliš (troška za zbrinjavanje po principu "zagađivač plaća") postaju direktan izvor hrane morskim algama i beskralježnjacima koji se hrane filtracijom, čineći integriranu akvakulturu ne samo ekološki prihvatljivom, već ekonomski isplativom i dugoročno održivom. Pravilnom integracijom monokultura, otpadni nutrijenti koji u sebi sadrže energiju postaju direktan izvor hrane te se pretvaraju u novi komercijalno vrijedni proizvod, uklanjajući pritom veliki udio organskog i anorganskog dušika, ugljika i fosfora (Chopin i sur., 2004; Chopin i sur., 2010). U planiranju daljnjeg razvoja akvakulture treba omogućiti da uzgajivači koji primjenjuju princip integrirane akvakulture imaju pravo na određene povlastice poput kreditiranja zbog zbrinjavanja ispuštenih nutrijenata te plaćanje cijene koncesije nad uzgojnim područjem prema količini nutrijenata ispuštenih u okoliš (Chopin i sur., 2004; Chopin i sur., 2010). Ovim principom bi integrirane farme imale veliku prednost pred onima s monokulturom jer bi zbog zbrinjavanja dobrog dijela unesenog otpada plaćale i manju cijenu

koncesije. Ipak, implementacija ovakvog sustava potpore u akvakulturi vrlo je složena i njenoj mogućoj primjeni na terenu prethodi veliki broj različitih studija (Chopin i sur., 2010). Integrirani uzgoj više različitih skupina organizama, koji se hrane na različitim trofičkim nivoima i uzgajaju različitim tehnologijama, zahtijeva značajne kompromise u upravljanju farmom. Neori i sur. (2004) navode kako takvi kompromisi mogu ponekad dovesti do smanjenja proizvodnih rezultata u uzgoju pojedine vrste u odnosu na uzgoj iste vrste u monokulturi, ali da integracija monokultura u istom vodenom mediju ukoliko je pravilno provedena može dovesti do intenzifikacije uzgoja uz poboljšane sveukupne ekonomske učinke i dugoročnu održivost sa smanjenim negativnim utjecajem po okoliš.

Iako se integrirana akvakultura u kopnenim sustavima pokazala ekološki i ekonomski uspješnom, isti pristup puno je kompleksniji i teže ostvariv u kaveznom obliku akvakulture na otvorenom moru. Iskorištavanje nutrijenata na otvorenom moru u odnosu na kopnene sustave otežano je zbog trodimenzionalnosti otvorenih voda te zahtijeva pravilno razrađenu tehnologiju koja uzima u obzir velik broj parametara koji su često specifični za određenu lokaciju (Chopin i sur., 2001). Glavni razlog ovome je što su otopljeni nutrijenti i organske čestice vrlo raspršene u velikom volumenu vode i samim time teže podložne kontroli (Taylor i sur., 1992; Troell i Norberg 1998; Neori i sur., 2000; Cheshuk i sur., 2003). Također, povećana koncentracija potencijalno iskoristivih hranjivih tvari javlja se nakon hranjenja u kratkim periodima kada školjkaši (ili drugi organizmi) zbog ograničenosti probavnog sustava nisu u mogućnosti probaviti veće količine prisutnih hranjivih tvari (Troell i Norberg 1998). Rezultati dobiveni u različitim studijama pokazuju kako prilikom postavljanja integrirane farme treba svakako uzeti u obzir lokalne okolišne čimbenike prema kojima treba prilagoditi uzgojnu tehnologiju, kako bi ista na što bolji način iskorištavala različite trofičke razine akvatorija. Pritom su najvažniji čimbenici udaljenost ekstraktivnih organizama od kaveza s ribom, dubina na kojoj su smješteni te izloženost morskim strujama.

Različiti su rezultati dobiveni u pogledu uzgoja riba i školjkaša u integriranoj akvakulturi. Dok neke studije pokazuju vrlo male ili nikakve razlike u prirastu školjkaša uzgajanih u blizini kaveza s ribom i navode na slab potencijal za razvoj integrirane akvakulture (Taylor i sur., 1992; Stirling i Okomus 1995; Cheshuk i sur., 2003; Navarrete-Mier i sur., 2010), postoje i studije čiji rezultati pokazuju pozitivne učinke. Tako neke studije dokazuju učinkovito iskorištavanje otopljenih čestica – nusprodukata uzgoja od strane školjkaša (Lefebre i sur., 2000; Mazzola i Sarà 2001; Redmond i sur., 2010; Reid i sur., 2010; MacDonald i sur., 2011), ubrzani rast i dobar indeks kondicije školjkaša u blizini uzgajališta riba (Jones i Iwama, 1991; Mazzola i sur., 1999; Lander i sur., 2004; Sarà i sur., 2009) i na ekonomsku korist te socijalnu prihvatljivost integrirane akvakulture (Neori i sur., 2000; Whitmarsh i sur., 2006; Ridler i sur., 2007; Barington i sur., 2010).

Unatoč brojnim poteškoćama, zasigurno da i u otvorenim akvakulturnim sustavima postoje potencijali za integracijom različitih skupina organizama, samo što zahtijevaju drugačiji pristup, odnosno tehnologiju. Iako postoje različiti rezultati studija o utjecaju kaveznog uzgoja na proizvodnju školjkaša, može se zaključiti kako uzgoj filtracijskih organizama u blizini kaveza s ribom ima potencijal smanjenja količine otopljene organske tvari te otopljenog dušika i fosfora čime se smanjuju i mogućnost različitih toksičnih cvatnji algi (Troell i Norberg, 1998). U korist razvoju integrirane akvakulture ide i to da se u blizini uzgajališta razvijaju velike prirodne populacije školjkaša, morskih puževa,

zvjezdaca, ježinaca, morskih krastavaca i drugih potencijalno iskoristivih organizama koji imaju veliki potencijal za uvođenje u akvakulturu (Frankić, 2003; Chopin i sur., 2010). Također, integriranim uzgojem zapravo se racionalizira i maksimalno iskorištava visoko vrijedni obalni prostor, povećava produktivnost po jedinici površine ili dostupne hrane i smanjuje negativni utjecaj uzgoja na okoliš. Diversifikacijom proizvodnje ostvaruje se veća sigurnost proizvođača na tržištu zbog smanjenja rizika od većih ekonomskih gubitaka uslijed eventualne pojave bolesti ili pada cijena proizvoda (Whitmarsh i sur., 2006; Ridler i sur., 2007). Iz svih ovih činjenica iščitavaju se razvojni potencijali integrirane akvakulture i u otvorenim vodama, kao i potreba da se u budućnosti sve više istraživanja posveti upravo njenom razvoju. Prema Neori i sur., (2004) ono što usporava brži razvoj ovakvog pristupa u svijetu nije uzrokovano komercijalnim rizikom ili tehnološkim odnosno znanstvenim neznanjem, već čistim otporom proizvođača prema promjeni uhodane i još uvijek unosne tehnologije, kao i vrlo sporom implementacijom pravila ‘zagađivač plaća’ (‘polluter pays’) u akvakulturi. Programi i istraživanja koja se trenutno provode zasigurno će dati potrebne odgovore o prednostima i nedostacima ovakvog načina uzgoja.

DOSADAŠNJE SPOZNAJE INTEGRIRANE AKVAKULTURE NA MEDITERANU I JADRANU

Područje cijelog Mediterana, osim u pojedinim dijelovima, odlikuje se s relativno niskom primarnom proizvodnjom i količinom raspoloživih nutrijenata koja je često nedostatna za uzgoj filtracijskih organizama ili algi (Sarà i sur., 1998; Sarà i sur., 1999; Angel i Freeman, 2009). Upravo ovo se može smatrati glavnim razlogom zašto razvoj integrirane akvakulture na cijelom području Mediterana zaostaje u odnosu na neka druga područja diljem svijeta. Također, integracija različitih skupina organizama u istom uzgojnom području još je i relativno nepoznata većini proizvođača na Mediteranu koji do danas nisu u potpunosti prepoznali potencijal u iskorištavanju viška nutrijenata u područjima gdje su prirodno relativno rijetki. Pritom je glavno i neodgovoreno pitanje da li i u kojoj mjeri integrirana akvakultura može povećati produktivnost određenih područja uz povoljnije učinke po okoliš u odnosu na dosadašnju praksu monokulture. Važna pitanja su i na koji način integrirana akvakultura se može usporedno razvijati s ostalim aktivnostima u obalnom prostoru poput uzgoja monokultura, industrije, turizma, ribarstva, zaštite okoliša i sl. te na koji način se može uklopiti u regionalne prioritete kao i koje su tehnološke, investicijske i legislativne prednosti i nedostaci.

Trenutna iskustva o integriranoj akvakulturi na Mediteranu prikupljena su tijekom manjih eksperimentalnih istraživanja i projekata, ali daju dobar uvid u mogućnosti ovog vida proizvodnje i mogućim interakcijama s okolišem (Angel i Freeman, 2009). Mazzola i sur. (1999) opisali su iskustva integriranog uzgoja gofa (*Seriola dumerili* (Risso, 1810)) i pica (*Diplodus puntazzo* (Walbaum, 1792)) s kamenicom (*Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793)) i dagnjom (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck 1819) u južnom Tirenskom moru. Istraživanje je ukazalo na značajan potencijal za uvođenje istraživanih vrsta u proizvodnju u izrazito oligotrofnom području, dotad nekorištenog za akvakulturu. Maz-

zola i Sarà (2001) su pomoću metode stabilnih izotopa istraživali dostupnost organskih nusprodukata uzgoja kao izvora hrane dostupne školjkašima. Njihovo istraživanje ukazalo je da integrirani uzgoja školjkaša i ribe može imati bar dva značajna učinka: smanjenje utjecaja uzgoja na okoliš iskorištavanjem viška organske tvari i povećanje profitabilnosti proizvodnjom dodatne biomase akvatičnih organizama u istom proizvodnom području. Peharda i sur. (2007) su istraživali rast i indeks kondicije dagnje (*M. galloprovincialis*) u integraciji s lubinom (*Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) i komarčom (*Sparus aurata* Linnaeus, 1758) te su utvrdili jednak period za postizanje tržišne veličine kao u tradicionalnim uzgojnim područjima na Jadranu, uz povišeni indeks kondicije tijekom većeg dijela godine. Sarà i sur. (2009) istraživali su rast dagnje (*M. galloprovincialis*) u blizini uzgajališta riba u Tirenskom moru te su zaključili kako školjkaši reciklirajući alohtonu organsku tvar mogu doprinijeti smanjenu zagađenja okoliša i povećanju profitabilnosti uzgoja. Sarà i sur. (2011) su koristeći se metodom dinamičkog modeliranja energijom (DEB – Dynamic Energy Budget) usporedili rast kamenice (*C. gigas*) i dagnje (*M. galloprovincialis*) u blizini uzgajališta riba u odnosu na rast na otvorenom moru. Rezultati su pokazali kako su obje vrste imale znatno bržu stopu rasta u blizini uzgajališta u periodu od četiri godine. Župan (2012) je utvrdio povećani indeks kondicije kunjke *Arca noae* Linnaeus, 1758 u blizini uzgajališta riba kroz 4 mjeseca u godini u odnosu na prirodne populacije ovog školjkaša.

POTENCIJAL ZA RAZVOJ INTEGRIRANE AKVAKULTURE NA JADRANU

Prema podacima Ministarstva poljoprivrede (2012), u Hrvatskoj se uzgojem bijele ribe bavi 35 tvrtki na 47 različitih lokacija uz 5 tvrtki koji se bave uzgojem tuna na dodatnih 10 lokacija. Današnje stanje je vrlo slično onome iz prošlog desetljeća koje navodi Katić (2004), kada je bilo izdano 35 koncesija za uzgoj bijele ribe i 10 koncesija za uzgoj tuna, koje su zauzimale morski prostor od 737.000 m², uz velik broj manjih uzgajivača školjkaša čija se ukupna proizvodnja školjkaša odvijala na površini od oko 100.000 m². Na svim instalacijama uzgajališta kao dominantni obraštajni organizam pojavljuje se dagnja (*Mytilus galloprovincialis*) čiji nasad po metru dužine potopljenog konopa može iznositi od 5 do 7 kg (Karayücel i sur., 2010). Uz dominantnu dagnju, zastupljene su i kamenica (*Ostrea edulis* Linnaeus 1758) te mala kapica *Mimachlamys varia* (Linnaeus, 1758) i kraljevska kapica *Aequipecten opercularis* (Linnaeus, 1758). U slučaju kada bi se na 15 % morske površine na kojoj se odvija aktivnost uzgoja riba integrirao uzgoj školjkaša, automatski bi se udvostručila površina na kojoj se trenutno u Hrvatskoj provodi uzgoj školjkaša. Kako je uobičajena dužina mrežastog pergolara s konzumnim školjkašima oko 2 – 2,5 m, koji u trenutku izlova teži oko 15 kg te se postavlja na liniji u razmaku od oko 0,5 m čime se ostvaruje prosječna težina od oko 30 kg konzumnih dagnji po metru uzgojne linije (Bavčević, usm. priopćenje). Do sad nisu provedena istraživanja o mogućem kapacitetu uzgoja školjkaša na postojećim uzgajalištima. Međutim, prema praktičnim iskustvima na terenu, može se doći do zaključka kako bi se primjenom integrirane akvakulture na Jadranu, odnosno prikupljanjem postojećeg obraštaja i daljnjeg uzgoja

dagjni pored instalacija kaveza s ribom, na navedenih 15 % površina, moglo relativno jednostavno proizvesti preko 3.000 t nasadnih ili konzumnih dagjni, odnosno jednako cijeloj sadašnjoj hrvatskoj proizvodnji ($30 \text{ kg/m} \times \text{cca } 100.000 \text{ m} = 3.000 \text{ t}$). Kako je zabilježeno da je brzina rasta dagjni ovisnija o količini raspoložive hrane nego o dubini na kojoj se uzgaja (Karayücel i Karayücel, 2000; Garen i sur., 2004), primjenom tehnologije s dužim pergolarima, koji bi bolje iskorištavali dubinu stupca vode, proizvodnja dagjni bi se mogla još dodatno povećati. Integrirana akvakultura školjkaša i ribe izvediva je i s tehnološkog stajališta s obzirom na to da je najbrži rast dagjni zabilježen na udaljenosti od 60 m od kaveza (Peharda i sur., 2007). Odnosno, uzgoj školjkaša može se odvijati na dovoljnoj udaljenosti od uzgajališta riba što omogućuje nesmetan rad i manipulaciju prilikom aktivnosti uzgoja riba, uz povoljan utjecaj na proizvodne parametre školjkaša na toj udaljenosti (Župan, 2012). Integrirani uzgoj ostalih vrsta školjkaša, koje se u manjoj mjeri pojavljuju kao obraštaj na farmama riba, zahtijevao bi nešto složeniju tehnologiju uzgoja koja bi se bazirala na pravilnom postavljanju kolektora za prikupljanje mlađi i odgovarajućem načinu nastavka uzgoja. Istraživanja ove vrste tek treba provesti kako bi se utvrdile mogućnosti proizvodnje novih vrsta školjkaša.

Trenutno je na cijeloj obali istočnog Jadrana određeno tek nekoliko zona za marikulturu u kojima je predviđen uzgoj ribe i školjkaša u istom uzgojnom području. U Limskom kanalu i Malostonskom zaljevu – područjima s dugom tradicijom uzgoja školjkaša prisutna su i manja uzgajališta lubina i komarče, ukupnog kapaciteta do 300 t godišnje. Ipak, integrirana akvakultura ribe i školjkaša se u prostornom planiranju i studijama utjecaja po okoliš pojavljuje tek od nedavno. Tako su u Zadarskoj županiji, koja proizvodi 65 % od ukupne količine ribe u uzgoju u Hrvatskoj, implementacijom Integralnog upravljanja obalnim prostorom (IUOP), određene zone za akvakulturu. Zona Z1 „Košara – Žižanj” definirana je kao zona u kojoj marikultura ima apsolutni prioritet nad ostalim djelatnostima i u kojoj je predviđen i integrirani uzgoj ribe i školjkaša (OIKON, 2009). Ipak, komercijalnoj proizvodnji školjkaša u ovoj zoni prethodi definiranje nosivog kapaciteta za proizvodnju školjkaša i praćenje zdravstvene ispravnosti. Također, u Splitsko-dalmatinskoj županiji nedavno su definirane zone za zajednički školjkaša i ribe u kojima je predviđen ukupni kapacitet uzgoja od oko 15.000 t bijele i 1.800 t plave ribe u integraciji s uzgojem otprilike 2.000 t školjkaša (OIKON, 2012).

ZAKLJUČAK

Integrirani multi-trofički pristup, dugo vremena korišten u tradicionalnoj i ekstenzivnoj akvakulturi, prepoznat je i u modernoj akvakulturi kao način na koji se može efikasnije iskoristiti potencijal određenog uzgojnog područja, uz smanjenje negativnih posljedica po okoliš. Pozitivni efekti integrirane akvakulture zabilježeni su u brojnim studijama provedenim u kopnenim sistemima kao i u onima na otvorenom moru. S obzirom na značajno manji broj provedenih istraživanja na području Mediterana, može se zaključiti kako je razvoj integrirane akvakulture na Mediteranu, pa tako i u Jadranskom moru, na samim počecima. Primjeri i iskustva zabilježena diljem svijeta mogla bi se primijeniti kao vodič u daljnjem razvoju akvakulture na Mediteranu i Jadranu. Ipak, zbog specifičnosti cijelog mediteranskog područja, potrebno je ispitati primjenu integrirane proizvodnje u praksi.

Najveću prepreku svim važnijim sudionicima u akvakulturi, poput državnih upravnih tijela, industrije, uzgajivača i javnosti, stvara manjak kvalitetnih informacija o mogućnostima razvoja integrirane akvakulture. Poseban potencijal na Jadranu ima mogućnost proizvodnje dagnje *Mytilus galloprovincialis*, koja bi se relativno jednostavnom tehnologijom mogla iz štetnog obraštaja pretvoriti u tržišno iskoristiv proizvod. U planiranju razvoja integrirane akvakulture na Jadranu, posebnu pozornost treba obratiti mogućim negativnim posljedicama poput prijenosa bolesti između različitih skupina organizama te podizanju informiranosti krajnjih korisnika, javnosti i vlasti u svrhu podizanja razine svijesti potencijalu integrirane akvakulture i ubrzanja komercijalne primjene.

Summary

POTENTIAL FOR DEVELOPMENT OF INTEGRATED MULTI-TROPHIC AQUACULTURE (IMTA) IN THE ADRIATIC SEA

I. Župan*¹, M. Peharda², L. Bavčević³, T. Šarić¹, D. Kanski⁴

Over recent years, scientific interest for investigating ecological, economical and social effects of Integrated Multi-trophic Aquaculture (IMTA) has increased worldwide. Its development in the Mediterranean, including the Adriatic Sea, is still in the early stages. The main obstacle preventing IMTA to be commercially adopted is the lack of scientific information on choosing compatible species, knowing the carrying capacity of a production area and interactions between species feeding at different trophic levels, as well as its socio-economic impacts. Current experience in the area is based on smaller experimental studies of local importance but they generally give a good insight into potential of IMTA and its interactions with the environment. The aim of this paper was to overview current literature and experiences worldwide and to review the potential for adopting IMTA principles in the Adriatic Sea.

Key words: Integrated Multi-trophic Aquaculture, IMTA, bivalves, fish farming, Mediterranean, Adriatic Sea

1 Ivan Župan* (Ph.D.) (Corresponding author, e-mail: zupan@unizd.hr), Tomislav Šarić (Ph.D. student), Sveučilište u Zadru, Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu, M. Pavlinovića bb, 23000 Zadar;

2 Prof. dr. sc. Melita Peharda, Institut za oceanografiju i ribarstvo, Š. I. Meštrovića, 21000 Split;

3 Dr. sc. Lav Bavčević, Hrvatska poljoprivredna komora – Uprava za ribarstvo, Mažuranićeva 30/I, Zadar;

4 Danijel Kanski (Ph.D. student), Dalmar doo, Zadar

LITERATURA

- Angel, D., Freeman, S. (2009): Integrated aquaculture (INTAQ) as a tool for an ecosystem approach to the marine farming sector in the Mediterranean Sea. In D. Soto (ed.). *Integrated mariculture: a global review. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. No. 529. Rome, FAO. pp. 133–183.
- Barington, K., Ridler, N., Chopin, T., Robinson, S., Robinson, B. (2010): Social aspects of the sustainability of integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture International*, 18, 201–211.
- Barington, K., Chopin, T., Robinson, S. (2009): Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine temperate waters. In: In D. Soto (ed.). *Integrated mariculture: a global review. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. No. 529, Rome. FAO. pp. 7–46.
- Chávez-Crooker, P., Obreque-Contreras, J. (2010): Bioremediation of aquaculture wastes. *Current Opininion in Biotechnology*, 21, 313–317.
- Cheshuk B.W., Purser, G.J., Quintana, G. (2003): *Integrated open-water mussel (Mytilus planulatus) and Atlantic salmon (Salmo salar) culture in Tasmania, Australia. Aquaculture*, 218, 357–378.
- Chopin, T., Buschmann Halling, A.H.C., Troell, M., Kautsky, N., Neori, A., Kraemer, G.A., Zertuche-González, J.A., Yarish, C., Neefus, C. (2001): Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: a key towards sustainability. *Journal of Phycology*, 37, 975–986.
- Chopin, T., Robinson, S.M.C. (2004): Defining the appropriate regulatory and policy framework for the development of integrated multi-trophic aquaculture practices: Introduction to the workshop and positioning of the issues. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, 104, (3), 4–10.
- Chopin, T., Robinson, S., Sawhney, M., Bastarache, S., Belyea, E., Shea, R., Armstrong, W., Stewart, I., Fitzgerald, P. (2004): The AquaNet integrated multi-trophic aquaculture project: rationale of the project and development of kelp cultivation as the inorganic extractive component of the system. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, 104, (3), 11–18.
- Chopin T., Troell, M., Reid, G., Knowler, D., Robinson, S.M.C., Neori, A., Buschmann, A.H., Pang, S. (2010): Integrated Multi-Trophic Aquaculture – Part II. Increasing IMTA Adoption. *Global Aquaculture Advocate*, 13(E3), 17–21.
- FAO (2004): *The state of world fisheries and aquaculture*. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome, Italy, FAO, 154pp.
- FAO (2010a): *The state of world fisheries and aquaculture*. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome, Italy, FAO, 218pp.
- FAO (2010b): *Distribution and characteristics of duck-fish farming systems in Eastern China*, by Miao Weimin. FAO Smallholder Poultry Production Paper No. 2. Rome. 28pp.

- Garen, P., S. Robert, S. Bougrier (2004): Comparison of growth of mussel, *Mytilus edulis*, on longline, pole and bottom culture site in the Pertuis, Breton, France. *Aquaculture*, 232: 511–524.
- Frankić, A. (2003): Integrated coastal management & sustainable aquaculture development in the Adriatic Sea. Republic of Croatia. Zagreb, Croatia, June 15-18, 2003. Report. 81pp.
- Halwart, M., Gupta, M.V. (2004): Culture of fish in rice fields. Food and Agriculture Organisation of the United Nations and The WorldFish Center, 83p.
- Jones T.O., Iwama, G.K. (1991): Polyculture of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (thurnberg), with Chinook salmon, *Onchorynchus tshawytscha*. *Aquaculture*, 92, 313–322.
- Katavić, I. (2004): Strateške smjernice za razvoj Hrvatske marikulture. *Naše more*, 52(1-2), 6–11.
- Karayücel, S., I. Karayücel. (2000): The effect of environmental factors, depth and position on the growth and mortality of raft-cultured blue mussels (*Mytilus edulis* L.). *Aquaculture Research*, 31: 893–899.
- Karayücel, S., Çelik, M.Y., Karayücel, I., Erik, G. (2010): Growth and Production of Raft Cultivated Mediterranean Mussel (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) in Sinop, Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 10: 9–17.
- Lander, T., Barrington, K., Robinson, S., MacDonald, B., Martin, J. (2004): Dynamics of the blue mussel as an extractive organism in an integrated multi-trophic aquaculture system. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, 104, 19–28.
- Lefebvre S., Barille, L., Clerc, M. (2000): Pacific oyster *Crassostrea gigas* feeding responses to a fish farm effluent. *Aquaculture*, 187, 185–198.
- MacDonald, B.A., Robinson, S.M.C., Barrington, K.A. (2011): Feeding activity of mussels (*Mytilus edulis*) held in the field at an integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) site (*Salmo salar*) and exposed to fish food in the laboratory. *Aquaculture*, 314, 244–251.
- Mazzola A., Favalaro, E., Sarà, G. (1999): Experiences of integrated mariculture in a southern Tyrrhenian area (Mediterranean Sea). *Aquaculture Research*, 30, 773–780.
- Mazzola A., Sarà G. (2001): The effect of fish farming organic waste on food availability for bivalve molluscs (Geata Gulf, Central Tyrrhenian, MED): stable carbon isotopic analysis. *Aquaculture*, 192, 367–379.
- Navarrete-Mier, F., Sanz-Lázaro, C., Marin, A. (2010): Does bivalve mollusc polyculture reduce marine fin fish farming environmental impact? *Aquaculture*, 306, 101–107.
- Neori, A., Shpigel, M., Ben-Ezra, D. (2000): A sustainable integrated system for culture of fish, seaweed and abalone. *Aquaculture*, 186, 279–291.
- Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A.H., Kraemer, G.P., Halling, C., Shpigel, M., Yarish, C. (2004): Integrated aquaculture: rationale, evolution, and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture*, 231, 361–391.

- Nobre, A.M., Robertson-Andersson, D., Neori, A., Sankar, K. (2010): Ecological-economic assessment of aquaculture options: Comparison between abalone monoculture and integrated multi-trophic aquaculture of abalone and seaweeds. *Aquaculture*, 306, 116–126.
- OIKON – Institut za primijenjenu ekologiju. (2012): Studija korištenja i zaštite mora i podmorja na području Splitsko-dalmatinske županije, s naglaskom na djelatnost MARIKULTURE, u multisektorskom kontekstu Integralnog upravljanja obalnim područjem (IUOP). Zagreb. 110pp.
- OIKON – Institut za primijenjenu ekologiju. (2009): Zona marikulture Z1 – Košara – Žižanj. Studija utjecaja na okoliš – Sažetak. Zagreb. 32pp.
- Peharda, M., Župan, I., Bavčević, L., Frankić, A., Klanjšček, T. (2007): Growth and condition index of mussel *Mytilus galloprovincialis* in experimental integrated aquaculture. *Aquaculture Research*, 38, 1714–1720.
- Redmond, K.J., Magnesen, T., Hansen, P.K., Strand, Ø, Meier, S. (2010): Stable isotopes and fatty acids as tracers of the assimilation of salmon fish feed in blue mussels (*Mytilus edulis*). *Aquaculture*, 298, 202–210.
- Reid, G.K., Liutkus, M., Bennett, A., Robinson, S.M.C., MacDonald, B., Page, F. (2010): Absorption efficiency of blue mussels (*Mytilus edulis* and *M. trossulus*) feeding on Atlantic salmon (*Salmo salar*) feed and fecal particulates: Implications for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture*, 299, 165–169.
- Ridler, N., Wowchuk, M., Robinson, B., Barrington, K., Chopin, T., Robinson, S., Page, F., Haya, K. (2007): Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA): a potential strategic choice for farmers. *Aquaculture Economics and Management*, 11(1), 99–110.
- Ryther J.H., Goldman J.C., Gifford J.E., Huguenin J.E., Wing A.S., Clarner J.P., Williams L.D., Lapointe B.E. (1975): Physical models of integrated waste recycling - marine polyculture systems. *Aquaculture* 5, 163-177.
- Sarà, G., Manganaro, A., Cortese, G., Pusceddu, A., Mazzola, A. (1998): The relationship between food availability and growth in *Mytilus galloprovincialis* in the open sea (southern Mediterranean). *Aquaculture*, 167, 1–15.
- Sarà, G., Leonardi, M., Mazzola, A. (1999): Spatial and Temporal Changes of Suspended Matter in Relation to Wind and Vegetation Cover in Mediterranean Shallow Coastal Environment. *Chemical Ecology*, 16, 151–173.
- Sarà, G., Scilipoti, D., Mazzola, A., Modica, A. (2004): Effects of fish farming waste to sedimentary and particulate organic matter in a southern Mediterranean area (Gulf of Castellammare, Sicily): a multiple stable isotope study ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$). *Aquaculture*, 234, 199–213.
- Sarà, G., Zenone, A., Tomaselo, A. (2009): Growth of *Mytilus galloprovincialis* (Mollusca, Bivalvia) close to fish farms: a case of integrated multi-trophic aquaculture within the Tyrrhenian Sea. *Hydrobiologia*, 636(1), 129–136.
- Sarà, G., Reid, G.K., Rinaldi, A., Palmeri, V., Troell, M., Kooijman, S.A.L.M. (2011): Growth and reproductive simulation of candidate shellfish species at fish cages in the Southern Mediterranean: Dynamic Energy Budget (DEB) modeling for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture*, 324-325, 259–266.

Soto, D. (ed.). (2009): Integrated mariculture: a global review. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. No. 529. Rome, FAO. 2009. 183p.

Shpigel M., Blaylock, R.A. (1991): The Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, as a biological filter for a marine fish aquaculture pond. *Aquaculture*, 92, 187–197.

Shpigel M., Neori A., Popper, D.M., Gordin H. (1993):. A proposed model for *environmentally clean* landbased culture of fish, bivalves and seaweeds. *Aquaculture*, 117, 115–128.

Stamou, A.I., Karamanoli, M., Vassiliadou, N., Douka, E., Bergamasco, A., Cenobese, L. (2009): Mathematical modeling of the interactions between aquacultures and the sea environment. *Desalination*, 248, 826–835.

Stirling, H.P., Okomus, I. (1995): Growth and production of mussels (*Mytilus edulis* L.) suspended at salmon cages and shellfish farms at two Scottish sea lochs. *Aquaculture*, 134, 193–210.

Taylor, E. B., Jamieson, G., T. Carefoot (1992): Mussel culture in British Columbia: the influence of salmon farms on growth of *Mytilus edulis*. *Aquaculture*, 108, 51–56.

Troell, M., Norberg, J. (1998): Modelling output and retention of suspended solids in an integrated salmon – mussel culture. *Ecological Modelling*, 110, 65–77.

Troell, M., Halling, C., Neori, A., Chopin, T., Buschmann, A.H., Kautsky, N., Yarish, C. (2003): Integrated mariculture: asking the right questions. *Aquaculture*, 226, 69–90.

Troell, M. 2009. Integrated marine and brackishwater aquaculture in tropical regions: research, implementation and prospects. In D. Soto (ed.). *Integrated mariculture: a global review. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. No. 529. Rome, FAO. pp. 47–131.

Troell, M, Joyce, A., Chopin, T., Neori, A., Buschmann, A.H., Fang, J.G. (2009): Ecological engineering in aquaculture — Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture*, 297, 1–9.

Whitmarsh, D., Cook, E.J., Black, K.D. (2006): Searching for sustainability in aquaculture: An investigation into the economic prospects for an integrated salmon-mussel production system. *Marine Policy*, 30, 293–298.

Primljeno/Received: 26. 3. 2012.

Prihvaćeno/Accepted: 7. 12. 2012.