

ZAMJENA RIBLJEG BRAŠNA, KAO DOMINANTNOG IZVORA PROTEINA U AKVAKULTURI, ALTERNATIVNIM HRANIDBENIM KOMPONENTAMA

Matulić, D., Aničić, I., Grbeša, D., Boban, M.¹

Sažetak

Redukcija i moguća eliminacija ribljeg brašna i ribljeg ulja iz hranidbe akvakulturnih vrsta jedan je od prioriteta u akvakulturi te područje od velikog interesa i istraživanja. Zbog rastuće potrebe za ribom, u pogledu ljudske prehrane te visokog udjela ribljeg brašna u hranidbi akvakulturnih vrsta, globalni trend pretjeranog izlova ribe je postao ozbiljan problem. Kako uzgoj riba u svijetu neprestano raste, nužno je pronaći dobar i ekonomičan alternativni izvor proteina u hranidbi akvakulturnih vrsta. Riblje brašno je još uvijek esencijalna komponenta u hranidbi karnivornih riba pa je u budućnosti upitna njegova dovoljna količina za potrebe uzgoja. Zamjena ribljeg brašna dovesti će do komercijalizacije alternativnih komponenti hrane, što će za posljedicu izazvati manju eksploatiranost morskih resursa od strane proizvođača i uzgajivača riba širom svijeta. U radu se daje pregled znanstvenih istraživanja alternativnih hranidbenih komponenti koje se koriste kao zamjene ribljeg brašna u hranidbi raznih vrsta riba i ostalih akvakulturnih organizama.

Ključne riječi: riblje brašno, redukcija, akvakultura, hranidba, alternative

UVOD

Dostupnost i korištenje resursa pogodovali su industriji akvakulture da bude prepoznata kao najbrže rastući sektor proizvodnje hrane uz tri puta brži rast nego uzgoj domaćih životinja na kopnu i prosječan godišnji rast proizvodnje od oko 10% (N A C A / F A O, 2000; F A O, 2006). Održivost rastućeg trenda industrije akvakulture ovisit će ponajviše o progresivnom smanjenju udjela „divlje“ ribe u ribljoj hrani (N a y l o r i sur., 2000).

¹ Daniel Matulić, mag.ing., Agronomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb. dmatulic@agr.hr; Prof.dr.sc. Ivica Aničić, Agronomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb. ianicic@agr.hr; Prof.dr.sc. Darko Grbeša, Agronomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb. dgrbesa@agr.hr
Mislav Boban, dipl.ing., MILS d.d., Komulovića put 4, 21000 Split

Zamjena ribljeg brašna u hranidbi akvakulturnih vrsta, postao je istraživački projekt od međunarodnog prioriteta (M a n z i, 1989; N e w, 1991; T a c o n, 1994; G a t l i n i i H a r d y, 2002). Trenutno je većina morskih resursa eksploatirana do najveće maksimalne razine (F A O, 2002) i zbog toga je ključno procijeniti i vrednovati potencijal uporabe dostupnih biljnih proteina kod hranidbe riba u akvakulturi. Slično kao i ljudi, uzgajana riba i račići nemaju posebnu potrebu za ribljim brašnom, ribljim uljem ili nekim određenim sastojkom hrane, već imaju potrebu za otprilike oko 40 esencijalnih hranjivih tvari iz tih krmiva. To dovodi do zaključka da se, za razvoj što jeftinijih i hranidbeno optimalnih modela hranidbe, iziskuje poznavanje nutritivnih potreba pojedinih vrsta riba.

Zbog eksponencijalnog rasta svjetske akvakulture i stagnirajućeg ulova ribe u svjetskim morima (Tablica 1) te sve većim zahtjevima ljudi za ribljim mesom u svrhu prehrane, pretpostavka je da će, već u drugom desetljeću 21. st., potražnja za proteinskom komponentom u ribljim hrani premašiti godišnju svjetsku opskrbu ribljim brašnom. Povećanje potražnje će promijeniti gospodarske i prehrambene paradigme koje su do sada rezultirale visokim razinama korištenja ribljeg brašna u hranidbi akvakulturnih vrsta (G a t l i n i i sur., 2007).

Autori W i j k s t r ö m i N e w (1989) te N e w i W i j k s t r ö m (1990), izrazili su zabrinutost zbog sve veće uporabe morskih resursa za hranidbu u akvakulturi te iznijeli termin »*fishmeal trap*¹« koji je postao uobičajen u akvakulturnim krugovima (L i t t l e i E d w a r d s, 1997). Pod terminom – *fishmeal trap* – podrazumijevala se situacija u kojoj bi se našli uzgajivači (prvenstveno, račića i mesojednih riba), tzv. »tjesnac cijene koštanja« i to u vrlo skoroj budućnosti. U to je vrijeme već bilo jasno, da će se, kako se globalna proizvodnja širila, za potrebe akvakulture trebati izdvojiti oveća količina ribljeg brašna, ribljeg ulja i drugih morskih resursa kao dominantne hranidbene komponente zbog njihove nutricionističke kvalitete (W a t a n a b e, 2002). Zbog istih razloga, cijene ribljeg brašna su značajno porasle i, s obzirom na potražnju, vrlo je vjerojatno da će nastaviti s rastom (H a r d y i T a c o n, 2002).

Uz limitiranu opskrbu i rast cijena ribljeg brašna, važna činjenica koja ide u prilog korištenju drugih proteinskih krmiva u hranidbi riba jest sve veće zagađenje ribljeg brašna organoklorim kontaminantima (D r e w i sur., 2007). Na to su upozorili H i t e s i suradnici (2004) kada su u svom istraživanju, pri usporedbi s divljim lososom, dokazali povećanu koncentraciju organoklorim zagađivača u mesu uzgajanih lososa. Izvor kontaminacije bila je riblja hrana bazirana na ribljem brašnu i ulju.

1 Eng. *Fishmeal* – riblje brašno,
trap – zamka, stupica

Tablica 1. Svjetsko ribarstvo i akvakultura: proizvodnja i uporaba (F A O, 2009)

Table 1. World fisheries and aquaculture production and utilization (F A O, 2009)

| | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|--|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| PROIZVODNJA - PRODUCTION | Milijuni tona - Million tonnes | | | | | | | | |
| KOPNENA - INLAND | | | | | | | | | |
| Ulov - Capture | 7,4 | 7,5 | 8,0 | 8,2 | 8,7 | 9,0 | 8,9 | 9,7 | 10,1 |
| Akvakultura - Aquaculture | 16,0 | 17,6 | 18,7 | 19,8 | 24,0 | 25,5 | 27,8 | 29,6 | 31,6 |
| Ukupno – Total inland | 23,4 | 25,1 | 26,7 | 28,0 | 32,7 | 34,4 | 36,7 | 39,3 | 41,7 |
| MORSKA - MARINE | | | | | | | | | |
| Ulov - Capture | 86,0 | 86,1 | 78,3 | 84,1 | 84,5 | 81,5 | 85,7 | 84,5 | 81,9 |
| Akvakultura - Aquaculture | 10,9 | 11,2 | 12,1 | 13,1 | 16,4 | 17,2 | 18,1 | 18,9 | 20,1 |
| Ukupno – Total marine | 96,9 | 97,3 | 90,4 | 97,2 | 100,9 | 98,7 | 103,8 | 103,4 | 102,0 |
| UKUPNI ULOV – TOTAL CAPTURE | 93,5 | 93,6 | 86,3 | 92,3 | 93,2 | 90,5 | 94,6 | 94,2 | 92,0 |
| UKUPNA AKVAKULTURA – TOTAL AQUACULTURE | 26,8 | 28,8 | 30,9 | 32,9 | 40,4 | 42,7 | 45,9 | 48,5 | 51,7 |
| UKUPNO – TOTAL WORLD FISHERIES | 120,3 | 122,4 | 117,2 | 125,2 | 133,6 | 133,2 | 140,5 | 142,7 | 143,6 |
| UPORABA - UTILIZATION | | | | | | | | | |
| Ljudska prehrana - Human consumption | 90,7 | 93,9 | 93,3 | 92,6 | 100,7 | 103,4 | 104,5 | 107,1 | 110,4 |
| Uporaba u ostale svrhe - Non-food uses | 29,6 | 28,5 | 23,9 | 30,4 | 32,9 | 29,8 | 36,0 | 35,6 | 33,3 |
| Svjetska populacija ljudi (x10 ⁹) - Population (billions) | 5,7 | 5,8 | 5,9 | 6,0 | 6,3 | 6,4 | 6,4 | 6,5 | 6,6 |
| Ponuda akvakulturnih proizvoda <i>per capita</i> (kg) - Per capita food fish supply (kg) | 15,8 | 16,1 | 15,8 | 15,4 | 16,0 | 16,3 | 16,2 | 16,4 | 16,7 |

Napomena: Bez vodenog bilja - Note: Excluding aquatic plants

RIBLJE BRAŠNO

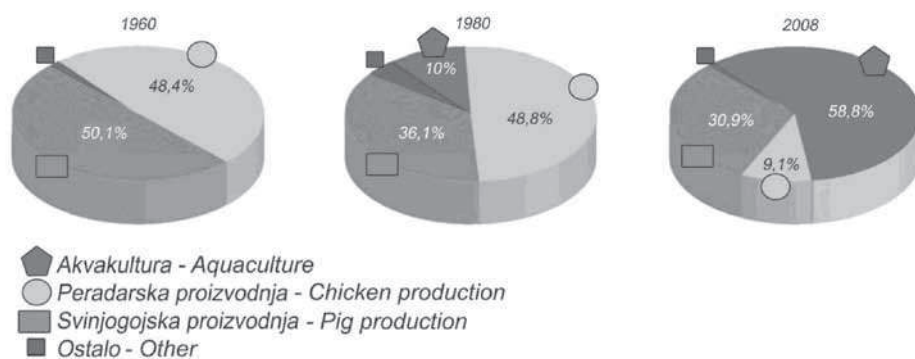
Riblje brašno i riblje ulje su vrlo široki pojmovi za proizvode dobivene preradom cijele ribe, ribljih otpadaka te otpadaka školjaka, rakova i ljušturaša. Proces prerade uključuje kuhanje, prešanje, sušenje i mljevenje, gdje je riblje ulje vrijedan nusproizvod u proizvodnji ribljeg brašna. Nutritivna kakvoća i daljnja gospodarska vrijednost ribljeg brašna ovisi o mnogim čimbenicima, kao što su primijenjeni način ribolova, te vrijeme i temperatura skladištenja prije prerade (T a p i a – S a l a z a r i sur., 2004; D a v i s i sur., 2004). Na kvalitetu ribljeg brašna ima utjecaj i starost te hranidbeni sastav prerađene ribe, školjaka ili rakova, ribolovna sezona te različiti postupci prerade. Svježija sirovina upućuje na niži stupanj raspadanja bjelančevina, što vodi do bolje palatabilnosti¹ i probavljivosti ribljeg brašna (E w i n g, 1997). Riblja brašna najbolje hranidbene kakvoće i najveće tržiš-

¹ Eng. *Palatability* - kapacitet hrane da bude konzumirana spontano i s tekotom; ukusnost

ne vrijednosti su ona proizvedena od svježe, nekontaminirane i cijele ribe, brzo prerađene te osušene na niskim temperaturama (K r i s t e n s e n, 2003; F I N, 2007). Prema F I N (2007) standardima, podjela ribljeg brašna prema kvaliteti je sljedeća:

1. HQ – *high quality* – koristi se za farme pastrva ili morskih akvakulturnih vrsta
2. LT – *low temperature* – visoko probavljiv; farme lososa
3. Prime
4. FAQ – *fair average quality* – niži sastav proteina

Međunarodna organizacija za riblje brašno i riblje ulje IFFO (*International Fishmeal and Fish Oil Organization*) procijenila je proizvodnju ribljeg brašna i njenih 5 najvećih proizvođača u 2005. godini (Peru, Čile, Norveška, Island i Danska) na 3,4 milijuna tona (I F F O, 2005; M i t t a i n e, 2004). S preko milijun tona na godinu, Kina je najveći uvoznik ribljeg brašna na svijetu. Prati je Japan s oko 400 000 t, Taiwan 250 000 t i Njemačka s oko 200 000 t (I F F O, 2005). Ista organizacija je procijenila uporabu ribljeg brašna u cijelom svijetu po sektorima stočarske proizvodnje, gdje se jasno vidi ubrzan razvoj grane akvakulture te sve veća zastupljenost ribljeg brašna u akvakulturnoj hranidbi (Slika 1).



Slika 1. Uporaba ribljeg brašna u svijetu po sektorima stočarske proizvodnje kroz zadnjih pet desetljeća (I F F O, 2005)

Fig. 1. Fishmeal world-wide - Usage by sector over the last five decades (I F F O, 2005)

Riblje brašno može biti klasificirano, tj. proizvedeno iz dva osnovna izvora;

1. ribljeg otpada povezanim s proizvodnjom i preradom ribe za ljudsku prehranu (losos, tuna, itd.)
2. ribe koje su korištene samo za proizvodnju ribljeg brašna.

Prema FAO (2005), najbrojnije vrste pelagične ribe ulovljene za preradu su vrste koje već dugi niz godina čine i osnovu proizvodnje ribljeg brašna, a dolaze iz porodica Engraulidae – inćuni: peruanski inćun (*Engraulis ringens*), japanski inćun (*Engraulis japonicus*), europski inćun (*Engraulis encrasicolus*), argentinski inćun (*Engraulis anchoita*), australski inćun (*Engraulis australis*), i Clupeidae – srdele i haringe: europska srdele (*Sardina pilchardus*), atlanska haringa (*Culpea harengus*), baltička haringa (*Culpea harengus membrans*), pacifička haringa (*Culpea pallasii*), atlantski menhaden (*Brevoort*

tia tyrannus), papaline (*Sprattus sp.*), vrsta pišmolj (*Merlangius merlangus*) iz porodice Gadidae te vrste čileanski šarun (*Tracurus symmetricus*) i atlanski šnjur (*Trachurus trachurus*) iz porodice bitinica – Carangidae. Među hranjivima animalnog podrijetla, riblje brašno je najvažnije proteinsko krmivo u hranidbi riba zbog, u prosjeku, visokog sadržaja dostupnih ($\approx 90\%$) aminokiselina (500-720 g/kg), višestruko nezasićenih masnih kiselina (60-100 g/kg) i organopleksa minerala (100-210 g/kg) (Tablice 2, 3 i 4).

Tablica 2. Sastav nužnih (esencijalnih) aminokiselina (izražen u g aminokiseline/kg proteina) u mišiću (file) Atlantskog lososa (*Salmo salar*) i niza komponenti koje se koriste kao izvori proteina u ribljoj hrani (J o b l i n g, 2004, 2010)

Table 2. The indispensable (essential) amino acid compositions (expressed as g amino acid per kg protein) of Atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle (fillet) and of a range of ingredients used as protein sources in fish feeds (J o b l i n g, 2004, 2010)

| Aminokiselina - Amino acid | Atlanski losos Atlantic salmon <i>Salmo salar</i> | Riblje brašno Fish meal | Soja Soybean | Repica/ kanola Canola | Kukuruzni gluten Corn gluten | Pšenični gluten Wheat gluten |
|--------------------------------|---|-------------------------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Arginin - Arginine | 71 | 59 | 73 | 79 | 37 | 36 |
| Histidin – Histidine | 43 | 29 | 28 | 33 | 29 | 19 |
| Izoleucin – Isoleucine | 60 | 44 | 47 | 43 | 35 | 35 |
| Leucin – Leucine | 92 | 75 | 75 | 61 | 114 | 70 |
| Lizin – Lysine | 92 | 81 | 61 | 66 | 18 | 15 |
| Metionin – Methionine | 33 | 30 | 14 | 23 | 23 | 16 |
| Fenilalanin - Phenylalanine | 54 | 40 | 50 | 38 | 66 | 50 |
| Treonin – Threonine | 49 | 43 | 40 | 56 | 38 | 37 |
| Triptofan – Tryptophan | 11 | 12 | 17 | 8 | 10 | 11 |
| Valin – Valine | 60 | 54 | 49 | 43 | 44 | 39 |

Kako kvaliteta ribljeg brašna nije standardizirana, riblje uzgojne performanse su pod utjecajem kvalitete ribljeg brašna (D e g a r a, 1997; A k s n e s i sur., 1997; V e r g a r a i sur., 1999). Riblje brašno proizvedeno od kompletnog tijela industrijskih ribljih vrsta haringe, incuna, atlanskog menhadena i dr., sadrži 60 – 80 % sirovih bjelančevina, najviše biološke vrijednosti, čija je probavljivost do 85 %. Niti jedna esencijalna aminokiselina nije deficitarna, a brašno je bogato lizinom i metioninom, dvjema najčešće limitirajućim aminokiselinama u ribljoj hranidbi (T r e e r i sur., 1995) (Tablica 3).

Tablica 3. Aminokiselinski sastav različitih vrsta mehanički ekstrahiranog ribljeg brašna (RB) prikazan kao % sirovih proteina (SP) (NRC, 1994)

Table 3. Amino acid composition different types of mechanically extracted fishmeal (FM) shown as % of crude protein (CP) (N R C, 1994)

| RB – Inčun / FM - anchovy (<i>Engraulis ringen</i>) | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Aminokiseline – Amino acids | | | | | | | | | | | | | |
| SP - CP | Arg | Cys | Gly | His | Ils | Leu | Lys | Met | Phe | Thr | Try | Tyr | Val |
| 65 | 3,81 | 0,65 | 3,68 | 1,59 | 3,06 | 4,98 | 5,07 | 1,95 | 2,75 | 2,82 | 0,78 | 2,22 | 3,46 |
| RB –, Bijela“ riba / FM – White fish (<i>fam. Gadidae, Lophiidae, Rajidae</i>) | | | | | | | | | | | | | |
| Aminokiseline – Amino acids | | | | | | | | | | | | | |
| SP - CP | Arg | Cys | Gly | His | Ils | Leu | Lys | Met | Phe | Thr | Try | Tyr | Val |
| 62,2 | 4,02 | 0,75 | 4,42 | 1,34 | 2,72 | 4,36 | 4,53 | 1,68 | 2,28 | 2,57 | 0,67 | 1,83 | 3,02 |
| RB – Atlanski menhaden / FM - Atlantic menhaden (<i>Brevoortia tyrannus</i>) | | | | | | | | | | | | | |
| Aminokiseline – Amino acids | | | | | | | | | | | | | |
| SP - CP | Arg | Cys | Gly | His | Ils | Leu | Lys | Met | Phe | Thr | Try | Tyr | Val |
| 61,3 | 3,68 | 0,57 | 4,46 | 1,42 | 2,28 | 4,16 | 4,51 | 1,63 | 2,21 | 2,46 | 0,49 | 1,8 | 2,77 |
| RB – Haringa / FM – Herring (<i>Clupea harengus</i>) | | | | | | | | | | | | | |
| Aminokiseline – Amino acids | | | | | | | | | | | | | |
| SP - CP | Arg | Cys | Gly | His | Ils | Leu | Lys | Met | Phe | Thr | Try | Tyr | Val |
| 72 | 4,21 | 0,72 | 4,3 | 1,74 | 3,23 | 5,46 | 5,47 | 2,16 | 2,82 | 3,07 | 0,83 | 2,25 | 3,9 |

Riblje brašno je, također, dobar izvor probavljive energije (16MJ/kg), esencijalnih minerala i elemenata u tragovima, esencijalnih vitamina i lipida bogatih omega-3 esencijalnim masnim kiselinama (H e r t r a m p f i P i e d a d – P a s c u a l, 2000; S a u v a n t i sur., 2002) (Tablica 4). Njihova primarna uloga je reguliranje imunološkog sustava i zdravlja životinja (L a l l, 2000). Riblje ulje je, za razliku od biljnog, odličan izvor omega tri-esencijalnih masnih kiselina koje, pored brojnih drugih povoljnih svojstava, štite riblju stanicu od dramatičnih promjena temperature i tlaka vode. Riblje brašno je odličan izvor kalcija i osobito dostupnog fosfora kojeg je malo u biljnim proteinskim krmiva zbog povezanosti s fitnском kiselinom te visokodpustupnih organopleksa mikroelemenata (Tablica 4). Siromašno je vitaminima topljivim u mastima jer su one odstranjeni u ulju, a sadrži znatne udjele vitamina B12, pantotenske kiseline, niacina i kolina.

Tablica 4. Sadržaj masnih kiselina, minerala i vitamina u ribljem brašnu (S a u v a n t i sur., 2002; G r b e š a, 2004)

Table 4. Fatty acids, vitamins and minerals content in fish meal (S a u v a n t et al., 2002; G r b e š a, 2004)

| Masne kiseline – Fatty acids | g/kg | Minerali- Minerals | g/kg | Vitamins- Vitamins | mg/kg |
|------------------------------|------|-----------------------|--------------|-----------------------|-------|
| C14:1 | 4,4 | Ca | 24,0 | E | 20 |
| C16:0 | 17,8 | P | 20,6 | K | 2 |
| C18:0 | 2,6 | Mg | 1,9 | B ₁ | 0,3 |
| C18:1 | 8,9 | Na | 9,5 | B ₂ | 9 |
| C18:2 | 1,5 | Cl | 15,1 | B ₆ | 5 |
| C18:3 | 1,4 | S | 6,7 | B ₁₂ | 0,41 |
| C18:4 | 1,1 | | mg/kg | B ₃ | 102 |
| C20:1 | 4,8 | Mn | 6,0 | B ₅ | 15 |
| C20:4 | 1,7 | Zn | 88 | B ₉ | 0,41 |
| C20:5 | 6,5 | Cu | 7 | B ₇ | 0,42 |
| C22:1 | 5,6 | Fe | 252 | Kolin - Choline | 4690 |
| C22:5 | 1,9 | Se | 0,4 | | |
| C22:6 | 4,8 | I | 3,0 | | |

Alternativni izvori proteina u akvakulturi

U akvakulturi je napravljeno mnogo razvojnih hranidbenih studija s kombinacijama različitih sastojaka hrane i istraživanih vrsta (T a c o n, 1994). U potrazi za održivim alternativnim hranjivom koje bi zamijenilo riblje brašno u ribljoj hrani, sastojci supstituta moraju imati, uz povoljne nutritivne karakteristike, i široku dostupnost, konkurentnu cijenu, kao i jednostavnost rukovanja, prijevoza, skladištenja i uporabe u proizvodnji hrane (G a t l i n i sur., 2007). Glavnim izazovom smatra se pronalazak alternativa koje održavaju prihvatljive stope rasta, zdravlja životinja i promjena u konačnom proizvodu (T a c o n i sur., 2006). Od nutritivnih karakteristika, moraju imati nisku razinu vlakana, škroba, osobito ne-topivih ugljikohidrata i antinutritivnih tvari. S druge strane, nužan je relativno visok sadržaj proteina, povoljan aminokiselinski profil, visoka probavljivost, i razumna ukusnost (G a t l i n i sur., 2007). Istraživanja alternativnih proteinskih izvora, za potrebe riblje hranidbe, fokusirala su se na razvijanje biljnih i životinjskih proteinskih zamjenica. Najvažniji izvor bjelančevina biljnog porijekla su brašna uljarica proizvedena od nusprodukata ekstrakcije ulja iz zrna soje, pamuka, repice/kanole, kikirikija, sjemenki suncokreta i dr. (T a c o n i J a c k s o n, 1985; H a r d y, 1989; F r i e d m a n, 1996).

Iako se komponente biljnog podrijetla sve više koriste u hranidbi riba, potpuna zamjena ribljeg brašna, biljnim izvorima proteina, rijetko je bila uspješna. Visoka razina biljnih izvora proteina u ribljoj hrani obično rezultira reduciranom stopom rasta i smanjenom mogućnošću iskoristivosti hrane (D e l a H i g u e r a i sur., 1988; R o b a i n a i sur., 1995; N e n g a s i sur., 1996; B u r e a u i sur., 1998; B u r e l i sur., 1998; G a y l o r d i sur., 2006). Uporaba biljnih proteina u akvakulturi je ograničena i zbog njihovog manjka

esencijalnih aminokiselina i minerala te prisustva antinutritivnih faktora i složenih ugljikohidrata (N R C, 1993; V i e l m a i sur., 2003; S i t j à – B o b a d i l l a i sur., 2005).

Alternativni životinjski izvori proteina, kao što su mesno brašno, mesno-koštano brašno, krvno brašno, i dr., mogu djelomično zamijeniti riblje brašno, ali su također ograničeni u ribljoj hranidbi zbog rizika od prisustva goveđe spongiformne encefalopatije tzv. »kravljeg ludila« i ptičje groznice (H u s s i sur., 2003). Nusprodukti industrijske prerade životinjskih ostataka imaju i svoja ograničenja bazirana na nutritivnim profilima i nutritivnom probavljivošću za ribe (G a y l o r d i R a w l e s, 2005). Moderne tehnike obrade i prerade tih nusprodukata rezultirale su proizvodnjom brašna značajno poboljšane kvalitete (B u r e a u i sur., 1999).

Biološko unaprjeđenje hranidbe u akvakulturi moguće je i kroz dodatak mikroorganizama kao što su kvasac, mikroalge te bakterijske i gljivične fermentacije. Dosadašnji rezultati, njihove sposobnosti utjecaja na antinutritivne čimbenike u biljnim hranidbenim zamjenicama, performanse rasta, probavljivosti, krvne parametre, itd., pokazuju veliki potencijal za inkluziju i djelomičnu zamjenu ribljeg brašna u hranidbi riba (E l – S a y e d, 1994; M u k h o p a d h y a y i R a y, 1999; O l i v a – T e l e s i G o n c a l v e s, 2001; L a r a – F l o r e s i sur., 2003; B a i r a g i i sur., 2004; H o s s u i sur., 2009; F e r r e i r a i sur., 2010).

ZAMJENA RIBLJEG BRAŠNA ALTERNATIVNIM HRANIDBENIM KOMPONENTAMA

Supstituti biljnog podrijetla

Bakalar (*Gadus morhua* L.), je bio istraživana riblja vrsta od strane H a n s e n i suradnika (2007). Nakon 24 tjednog praćenja potpune i djelomične zamjene ribljeg brašna (RB) s biljnim proteinima (BP) po pitanju rasta, konverzije hrane i retencije bjelančevina, došli su do zaključka da, ako su biljni proteini visoke kakvoće, postoji veliki potencijal uključivanja biljnih proteina u hranidbu bakalara. Promjene su primijetili pri 100 % zamjeni ribljeg brašna s biljnim proteinima, u smislu smanjenog hepatosomatskog indeksa i količine vitamina B₁₂, ali bez uočljivih simptoma deficita. O l s e n i suradnici (2007) su na istoj vrsti ribe nakon zamjene RB pratili zdravstveno stanje i zaključili da parcijalna zamjena od 75% RB s BP ne ostavlja značajnije promjene, dok se u probavnom sustavu riba sa 100 %-tnom zamjenom, javljaju stanja slična enteritisu, a dolazi i do aktivacije ekspresije HSP 70 stresnog gena mRNA u crijevima.

Nekoliko istraživanja (O l l i i sur., 1994, 1995; B j e r k e n g i sur., 1997; S t o r e b a k k e n i sur., 1998; C a r t e r i H a u l e r, 2000; R e f s t i e i sur., 2001; O p s t v e d t i sur., 2003; B r a n s d e n i sur., 2003; M u n d h e m i sur., 2004) su ispitala efekt djelomične zamjene ribljeg brašna s proteinima biljnog podrijetla (većinom soje) kod hranidbe atlantskog lososa (*Salmo salar*). Općenito, ove studije su pokazale da zamjena visoko kvalitetnog ribljeg brašna s biljnim izvorima proteina, osim sa sojinim brašnom lišenog antinutritivnih faktora, dovode do smanjenog rasta i pada učinkovitosti hranidbe, a raspon opadanja varira, ovisno o izvoru proteina i razini zamjene.

R i n g ø i suradnici (2006) su procjenjivali populaciju aerobnih heterotrofnih bakterija prisutnih u probavnom sustavu zdravih bakalara, hranjenim s tri vrste različite hrane: ribljim brašnom, standardim i bioprocесuiranim sojinim brašnom. I ovo istraživanje, uz nekoliko drugih s istim zamjenicama (R i n g ø i sur., 2001; 2003), predočilo nam je da hranidba utječe na bakterijsku kolonizaciju crijeva što nam može biti značajno kad govorimo o zaštitnom potencijalu normalne bakterijske flore crijeva, naspram patogenoj kolonizaciji.

X i e i J o k u m s e n (1997) su izveli šestotjedni pokus sa kalifornijskom pastrvom (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) te pokušali zamijeniti riblje brašno s proteinskim koncentratom krumpira, koristeći pet eksperimentalnih vrsta hrane. Koncentrat je bio nusprodukt u proizvodnji krumpirskog škroba. Rezultati su na kraju pokazali da je riba hranjena hranom koja sadrži proteinski koncentrat krumpira imala smanjeni rast, konverziju hrane i kondicijski faktor. Uočen je i povećan mortalitet kod riba koja je hranjena hranom gdje je koncentrat krumpirskih proteina bio jedini izvor proteina. Analizom ribljeg mesa riba, hranjena s hranom koja je sadržavala navedeni koncentrat, dobiveni su rezultati smanjene suhe tvari, proteina i masti, a povećan sastav pepela. Kao zaključak su izveli da koncentrat proteina krumpira, pogotovo u višim koncentracijama, nije podoban kao sastojak u hranidbi kalifornijskih pastrva. Na istoj ribljoj vrsti, G a y l o r d i suradnici (2006) su istraživali potpunu zamjenu ribljeg s biljnim brašnom uz dodatak taurina, neesencijalne aminokiseline - (derivat cistina) te dobili jako dobre rezultate kod svih istraživanih hranidbenih parametara.

T e s k e r e d ž i ć i suradnici (1995) su pokušali, otklanjanjem antinutritivnog čimbenika, fitrinske kiseline, pri hranidbi kalifornijske pastrve (*Oncorhynchus mykiss*) zamijeniti riblje brašno haringe s proteinima uljane repice. Proizvodni parametri nisu bili kompromitirani pri zamjeni brašna haringe sa čak 66% hranidbom proteinima defitinizirane uljane repice. Proces defitinizacije repice umanjio je kvalitetu proteina stoga su autori također zaključili da bi totalna zamjena možda bila moguća, ukoliko se optimizira aminokiselinski profil i poboljša metodologija uklanjanja fitata iz hrane bazirane na proteinima uljane repice.

G o m e z – R e q u e n i i suradnici (2004) su proveli pokus nad juvenilnim stadijem komarče (*Sparus aurata*) koji je trajao 3 mjeseca, a radilo se o ispitivanju djelomične i potpune zamjene ribljeg brašna s kombinacijom mješavine biljnih proteina (kukuruzni gluten, pšenični gluten, ekstrahirani grašak, brašno uljane repice i slatke bijele lupine) izbalansiranim s nužnim aminokiselinama. Vrlo oprezno su zaključili da je izvedivo zamijeniti 50 - 75% ribljeg brašna s navedenim komponentama, ukoliko se zadovolje potrebe za nužnim aminokiselinama, a zaključak nadopunili s potrebnim nastavkom istraživanja zamjene ribljeg brašna nad vrstama s visokim proteinskim potrebama. Godinu dana kasnije, S i t j à – B o b a d i l l a i suradnici (2005) su proveli pokus koji je trajao 6 mjeseci nad istom vrstom i istim komponentama zamjene ribljeg brašna. Pratili su moguć utjecaj zamjene na performansu rasta, probavne i jetrene promjene, metabolite plazme te antioksidativni i imunološki status ispitivane ribe. Kao generalni zaključak se pokazalo da je, zamjenom ribljeg brašna s mješavinom biljnih proteina, izvršen antioksidativni efekt, kompromitirana je performansa rasta pri 100%-tnoj zamjeni, a pri zamjeni iznad 75% smanjen je jedan od imunoloških obrambenih mehanizama. Kao zanimljivu usporedbu, zamjenu ribljeg brašna s biljnim proteinima sličnog sastava, kod podlanice je istraživao

i D e F r a n c e s c o sa suradnicima (2007). Pokus je izveden u zatvorenom protočnom sustavu morske vode tijekom jedne godine. Promatrani su parametri rasta, iskoristivosti hrane te kvaliteta fileta. Rezultati su pokazali mogućnost zamjene ribljeg brašna s visokim koncentracijama biljnih proteina bez velikog utjecaja na parametre rasta, s tek manjim efektom na kvalitativne odlike konzumne veličine uzgajane komarče. Što se tiče organoleptičkih vrijednosti kuhanog fileta, suci nisu mogli razlikovati meso temeljeno na zamjenskoj hranidbi. Zamjenu ribljeg ulja s mješavinom biljnih ulja na istoj ribljoj vrsti ispitivali su B e n e d i t o – P a l o s i suradnici (2007). Hranidbe su nadopunili s dodatkom nužnih aminokiselina, a promatrao je dnevni koeficijent rasta i učinkovitost hrane tijekom 11 tjedana, nad brzorastući juvenilnim stadijem komarče. Provedeno je i ispitivanje utjecaja hranidbe nad hormonom rasta i inzulinu-sličnim faktorima rasta. Na kraju su pokusa bili ponukani da predlože praktičnu hranidbu u proizvodnom ciklusu komarče s nižim morskim sastojcima, ukoliko su neophodne aminokiseline u prehrani nadomještene iznad potrebitih razina.

Japanski znanstvenici, O o i suradnici (2007) procjenjivali su efekt djelomične zamjene ribljeg brašna i ribljeg ulja s alternativnim proteinima i palminim uljem kod hranidbe kalifornijske pastrve te istraživali parametre rasta i sadržaj dioksina u tijelu riba. Nije ustanovljena razlika u parametrima rasta i konverzije hrane između ispitivanih riba dok je razina dioksina u riba bila znatno manja kod riba hranjenih s alternativnim izvorom proteina i palminim uljem. Kako se pokazalo, palmino ulje može biti efektivna zamjena ribljem ulju kod hranidbe kalifornijske pastrve te može smanjiti količinu dioksina u tijelu ribe.

Predmet istraživanja E l S a i d y i G a b e r a (2004) bio je efekt potpune zamjene ribljeg brašna s brašnom sjemenki pamuka, nadopunjenim s raznim koncentracijama željeza zbog detoksikacije gosipola¹, u praktičnoj hranidbi kod mlađi nilske tilapije (*Oreochromis niloticus*). Pratili su se hranidbeni, hematološki te neki od bioloških parametara u trajanju od 30 tjedana. Na kraju se pokusa ustanovilo, da se dodavajući Fe u hranu nilske tilapije u omjeru 1:1 s koncentracijom gosipola prisutnog u sjemenkama pamuka, neutralizira negativan učinak gosipola, poboljšava se performansa rasta, iskorištenje hrane i krvni parametri pri totalnoj zamjeni ribljeg brašna brašnom sjemenki pamuka kod prehrane nilske tilapije.

Hranidba bijelog škampa (*Litopenaeus vannamei*) u vanjskim bazenima je bila istraživana tema A m a y a i suradnika (2007). Kako se uvjeti uzgoja račića u vanjskim bazenima bitno razlikuju od uzgoja u laboratorijskim uvjetima, odlučili su se na 18-tjedni hranidbeni pokus zamjene ribljeg brašna s biljnim brašnom (kombinaciju sojinog i brašna kukuruznog glutena). Rezultati ovog pokusa upućuju na mogućnost potpune zamjene ribljeg brašna biljnim i to bez kompromitiranja proizvodnih i ekonomskih svojstava u uzgoju bijelog račića u vanjskim bazenima.

Brašno sjemenke tropske leguminose (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) nije se pokazalo kao efektivna zamjena ribljem brašnu u istraživanju na običnom šaranu (*Cyprinus carpio*) koje su proveli S i d d h u r a j u i B e c k e r (2001). Dokazali su sniženu performansu

1 Gosipol – Eng. *Gossypol* - polifenol deriviran iz biljke pamuka (rod *Gossypium*), toksičan za mnoge životinjske vrste

rasta kod hranidbe s višom koncentracijom brašna mucune što objašnjavaju prisustvom većih koncentracija termostabilnih antinutritivnih sastojaka. Isto tako je upitno korištenje kombinacije nekoliko vrsta uljnih sjemenki (sezam, goruščica) i brašna lista leucene¹ u djelomičnoj supstituciji ribljeg brašna kod mlađi običnog šarana. Istraživanje H a s a n a i suradnika (1997) na istoj ribljoj vrsti je pokazalo negativne hranidbene parametre u svim kombinacijama zamjene biljnih komponenti, a histopatološkom obradom kod nekih pokušaja je došlo do deponiranja međustaničnih lipida te do ozbiljnih deformacija tijela ribe.

B e l l i suradnici (2003) su uspješno djelomično zamijenili riblje ulje s uljem uljane repice u nekoliko različitih omjera te hranili mlađ atlantskog lososa tijekom 14 tjedana. Zamjenskom hranidbom, iznad 50% zamjene uljem uljane repice, dokazao se nedostatak dviju vrsta nezasićenih masnih kiselina (HUFA) u tijelu ribe. Kasnije su uspješno nadomještene s ribljim uljem u nastavku hranidbe tijekom 12 tjedana. Norvežanin E s p e i njegovi suradnici (2006) izveli su vrijedan pokus na atlantskom lososu i pokušali utvrditi može li se atlantski losos uzgajati na hranidbi lišenoj ribljeg brašna. Kroz period od 3 mjeseca, hranili su 300 gramske losose s 4 različite vrste prehrane (1 kontrola, s ribljim i 3 eksperimentalne, s biljnim brašnom). Eksperimentalne hrane su nadopunjene i obogaćene s dodatkom aminokiselina te atraktantom - lignjinim hidrolizatom kako bi se poboljšalo uzimanje hrane, tj. ukusnost. Na kraju pokusa se zaključilo da, ako se imitira sadržaj aminokiselina iz ribljeg brašna, proizvodnja lososa s biljnim brašnom, kao alternativnim izvorima bjelančevina, izvediva je, pogotovo ako se hranidba dodatno obogati s lignjinim hidrolizatom. Važnost atraktanata u hranidbi slatkovodnog škampa (*Macrobrachium rosenbergii*), između ostalih, istražio je i H a r p a z (1997) gdje je, uporabom betaina-HCl, za 17% povećao rast istraživane vrste hranjene alternativnim i manje palatabilnim vrstama hrane.

Kako bi dokazali maksimalnu razinu zamjene ribljeg brašna s kombinacijom brašna lupine, kukuruznog i pšeničnog glutena, F o u r n e r i suradnici (2004) su izveli 12 tjedni pokus na rombu (*Psetta maxima*). Kroz četiri testne (FM30, FM20, FM10, FM0) i jednu referentnu hranidbu (FM40 % ribljeg brašna) pratili su hranidbene parametre ispitivane vrste riba. Aminokiselinski sastav ispitivanih hrana izbalansiran je nadomjeskom aminokiselina. Na kraju pokusa stopa rasta je bila smanjena prilikom hranidbe FM10 i potpune zamjene ribljeg brašna. Iz svega je zaključeno da, značajna količina ribljeg brašna, može biti zamijenjena s ispitivanom biljnom kombinacijom, ukoliko se koristi adekvatna kombinacija s aminokiselinskim dodatkom.

Supstituti animalnog podrijetla

G o d a i suradnici (2007) uspješno su i sa zadovoljavajućim rezultatima izveli 12-tjedni hranidbeni pokus te u betonskim bazenima istražili utjecaj kompletne i djelomične zamjene ribljeg brašna s kokošjim brašnom, mesno-koštanim brašnom i sojinim brašnom u praktičnoj hranidbi kod vrste afričkog soma (*Clarias gariepinus*). A b d e l – W a r t h i suradnici

¹ Leucena – lat. - *Leucaena* - Rod od otprilike 24 vrste drveća i grmova. Pripada leguminosnoj porodici *Fabaceae*.

(2001) su na istoj ribljoj vrsti uspješno dokazali zamjenu hranidbene komponente ribljeg brašna s nusproduktima prerade kokošnjeg mesa do koncentracije od 40%. Histološkim ispitivanjem jetrenog tkiva su ustanovljene alteracije u strukturi tkiva kod riba hranjenim zamjenskim proteinima u koncentracijama iznad 40%.

Kombinirajući različite vrste hranidbe, Smith i suradnici (2004) su istraživali potrebe za linolnom i α -linoleinskom kiselinom kod srebrnog grgeča (*Bidyanus bidyanus*). Na srebrnom grgeču su, Stone i suradnici (2000), radili pokus probavljivosti i rasta uz pomoć različitih kombinacija mesnog brašna, kao potencijalne zamjene za riblje brašno. Ustanovili su da, u usporedbi s ribljim brašnom, svi mesni proizvodi imaju manju koncentraciju aminokiseline lizina, a neke kombinacije mesnih brašna su bile u nedostatku i fenil-alanina, izoleucina te histidina. Uklanjanjem kostiju iz mesnog brašna dobio se veći sadržaj proteina te se poboljšala hranidbena vrijednost mesnog brašna u hranidbi srebrnog grgeča.

Bureau i suradnici (2000) proveli su ispitivanje zamjene ribljeg brašna s brašnom perja u kombinaciji s mesno-koštanim brašnom te dobili dobre rezultate u uporabi tih sastojaka kao potencijalnim komponentama parcijalne zamjene ribljeg brašna u prehrani kalifornijske pastrve. Smith i suradnici (2003) djelomično su zamijenili riblje brašno sa sastojcima koji imaju sniženu koncentraciju fosfora te proveli 48-tjedno ispitivanje na kalifornijskoj pastrvi u svrhu usporedbe sposobnosti retencije fosfora u tijelu ispitivane ribe s ribom hranjenom komercijalnom hranom, kojoj je riblje brašno dominantna proteinska komponenta. Rezultati upućuju da je za kalifornijsku pastrvu moguće razviti praktičnu hranidbu s hranidbenim komponentama koje imaju nisku koncentraciju fosfora, uz alternativnu kombinaciju izvora proteina. Čak štoviše, moguće je i poboljšati hranidbene performanse u mjeri usporedivoj s konvencionalnom hranidbom baziranoj na ribljem brašnu.

Preživljavanje i konverzija hrane kod mlađi nilske tilapije nije se značajno mijenjala pri potpunoj zamjeni ribljeg brašna s nusproduktima prerade svinjskog i pilećeg mesa (Hernandez i sur., 2010).

Na vrsti slatkovodnog raka (*Cherax quadricarinatus*) u juvenilnoj fazi života izvršen je pokus zamjene hranidbe ribljim brašnom s brašnom dobivenim iz nusprodukata prerade kokošnjeg mesa. Soud i suradnici (2008) su nakon dobivenih pozitivnih rezultata iz pokusa koji je trajao 56 dana, zaključili da su nusprodukti prerade kokošnjeg mesa održivi kandidati u djelomičnoj zamjeni ribljeg brašna kod hranidbe vrste *Cherax quadricarinatus*.

Yang i suradnici (2006) su s babuškom (*Carassius auratus gibelio*) proveli hranidbeni pokus 9 različitih vrsta hrane. Kontrolna hrana sadržavala je „bijelo“ riblje brašno (vidi: Tablica 3) kao glavni izvor proteina. Kod ostalih osam skupina, riblje brašno supstituirano je s brašnom nusprodukata prerade kokošnjeg mesa, u različitim postotnim udjelima. U odnosu na kontrolnu skupinu babuški, hranidbeni parametri su se pokazali višim kod riba svih osam eksperimentalnih hranidba. Također, svi prividni koeficijenti probavljivosti kod ispitivanih skupina bili su niži u odnosu na kontrolu. Isto tako, nešto viši sastav energije i ukupnih tjelesnih proteina ustanovljen je kod riba kontrolne skupine. Temeljem rezultata, metodom regresije, određena je optimalna razina zamjene ribljeg brašna, brašnom nusprodukata prerade kokošnjeg mesa.

Efekt parcijalne zamjene ribljeg brašna s nusproduktima prerade kokošnjeg mesa, krvnim brašnim, mesno-koštanim brašnom pojedinačno ili u kombinaciji s dodatkom

aminokiselina lizina i metionina na babuški istraživao je H u sa suradnicima (2008). Na kraju vremenskog razdoblja od 12 tjedana, regresijskom analizom se ustanovilo da je optimalna razina zamjene od 66,7% ribljeg brašna s kombinacijom mesno-koštanog brašna, nusproduktima prerade kokošjeg mesa i metionin-lizinskim dodatkom aminokiselina.

Dva odvojena pokusa u trajanju od 7 tjedana napravili su N g i suradnici (2001) kako bi se procijenili efekt uporabe crva brašnara *Tenebrio molitor* kao alternativnog izvora proteina u hranidbi afričkog soma (B u r c h e l l, 1822). Komponenta ribljeg brašna progresivno se supstituirala s brašnom crva brašnara u koncentracijama od 0, 20, 40, 60, 80 i 100%. Hranidba afričkog soma, zamijenjena i do 80% s brašnom crva brašnara, pokazala je dobar rast i iskorištenje hrane. U oba pokusa, crvi brašnari, bilo korišteni kao takvi ili prerađeni u brašno, kod afričkog soma su se pokazali visoko palatabilni. Hranidba, koja je bila bazirana na brašnu crva brašnara, pokazala je signifikantno višu koncentraciju lipida u ribljim polovicama (filetima). Rezultati upućuju da je brašno crva brašnara prihvatljiv alternativni izvor proteina u hranidbi afričkog soma.

Kombinacije supstituta animalnog i biljnog podrijetla

A l l a n i suradnici (2000) izveli su pokus s australskim srebrnim grgečom (*Bidyanus bidyanus*) u juvenilnom stadiju života, nasativši ih u gustoći od 15 000 jedinki u zemljane ribnjake od 0,1 ha te ih uzgajali do konzumne veličine od >350 g. Riba je hranjena s jednom referentnom te dvije testne vrste hranidbe koje su bile formulirane po linearnom principu »manjeg troška« i koeficijenta probavljivosti za niz australskih poljoprivrednih proizvoda, mesnog brašna i biljnih proteina. U testiranim hranama ostavljeno je 5% i 10% ribljeg brašna, a ostalo je zamijenjeno optimalnim supstitutima. Rezultati su pokazali da je, hranidba po principu »manjeg troška« koja sadrži mesno brašno i biljne proteine kao zamjena za sve, osim 5% ribljeg brašna, prikladna za uzgoj srebrnog grgeča do konzumne veličine u zemljanim ribnjacima.

A l l a n i suradnici (2000a) određivali su koeficijent probavljivosti (KP) suhe tvari, dušika, energije i individualnih aminokiselina za 29 najčešće korištenih hranidbenih sastojaka za australskog srebrnog grgeča. KP suhe tvari, energije i dušika je bio najveći za riblje brašno, iako su, nekoliko drugih hranidbenih komponenti uključujući brašna životinjskog porijekla te gluten iz pšenice i kukuruza, imala sličan koeficijent probavljivosti za suhu tvar i energiju. Izveden je zaključak veoma dobre sposobnosti proteinske probavljivosti srebrnog grgeča. Zastupljenost aminokiselina reflektirala se kroz probavljivost proteina pa je samo peruansko riblje brašno, uz još dva mesno-koštana brašna, imalo neke aminokiseline niže koncentracije, možda posljedično i zbog razgradnje proteina tijekom obrade.

E n g i n i C a r t e r (2005) su mlađ australske kratkoperne jegulje (*Anguilla australis australis*) podvrgnuli eksperimentu u kojem su 23% ribljeg brašna zamijenili s izbalansiranom ishranom sojinim brašnom, brašnom lupine, mesnim te kukuruzno-glutenskim brašnom, nekompromitirajući njihovu stopu rasta.

Zbog svog visokog proteinskog sastava, umjerene cijene te konstantne i ravnomjerne opskrbe sljedeći sastojci su se, manje ili više, uspješno upotrebljavali u hranidbi raznih ribljih vrsta, kao što su: perjano brašno u kombinaciji s mesno-koštanom brašnom kod ka-

lifornijske pastrve (B u r e a u i sur., 2000); mesno-koštano brašno i nusproizvodi prerade kokošjeg mesa kod srednjoameričke sjenke (*Sciaenops ocellatus*) (K u r e s h y i sur., 2000); nusproizvodi jestivog ulja kod indijskog velikog šarana (*Labeo rohita*) (H a s a n i sur., 1997); brašno *krill*-a, krvno brašno, mesno-koštano brašno te brašno vodene paprati (*Azolla pinnata*) kod nilske tilapije (E l – S a y e d, 1992, 1998), razni nusproizvodi mesne industrije kod kineske sjenke (*Nibeia miichthioides*) (G u o i sur., 2007) i afričkog soma (G o d a i sur., 2007).

Supstituti jednostaničnim izvorima proteina

Već početkom osamdesetih godina T a c o n i C o o k e (1980) istraživali su pozitivan utjecaj jednostaničnih proteina i njihovu mogućnost inkluzije u riblju hranidbu. R u m s e y i suradnici (1990) svojim su istraživanjima podvrgli američku jezersku pastrvu (*Salvelinus namaycush*) sa 6 različitih vrsta pripravaka hrane baziranoj na *Saccharomyces* kvascu. Hranidbom, u kojoj su stijenke kvasca oštećene kako bi se oslobodio intracelularni protein, može se zamijeniti i do 50% ukupnog dušika, bez štetnih učinaka na rast i konverziju hrane.

O l i v a – T e l e s i G o n c a l v e s (2001) utvrdili su da pivski kvasac (*Saccharomyces cerevisiae*) može zamijeniti i do 50% proteina ribljeg brašna bez negativnih učinaka na performanse mlađi europskog lubina (*Dicentrarchus labrax*). Štoviše, uključivanje i do 30% pivskog kvasca u hranidbu, može poboljšati učinkovitost hrane. M c L e a n i suradnici (2006) istražili su mogućnost potpune zamjene ribljega brašna u hranidbi bijelog škampa u laboratorijskim i komercijalnim uvjetima. Životinje su bile hranjene uobičajenom hranom s ribljim brašnom i hranom u kojoj je riblje brašno u potpunosti zamijenjeno proteinom na bazi kvasca. Na kraju pokusa, rast račića hranjenih objema hranama bio je jednak stoga se zaključilo da se kompletnom zamjenom ribljeg brašna s proteinom na bazi kvasca može uzgojiti organski opravdan i visoko vrijedan morski račić.

Spirulinom, plavo-zelenom mikro algom moguće je učinkovito zamijeniti do 50% ribljeg brašna kod mlađi vrste *Rhabdosargus sarba* – iz porodice Sparidae (E l – S a y e d, 1994). Pri zamjeni od 75% konverzija hrane još je uvijek usporediva s kontrolnom hranom dok je rast signifikantno manji.

Utjecaj djelomične zamjene ribljeg brašna sušenim mikroalgama *Chlorella* spp. i *Scenedesmus* spp. na hranidbu nilske tilapije istraživali su B a d w y i suradnici (2008). Rezultati nekoliko proizvodnih parametara ukazuju da sušeni oblik mikroalgi *Chlorella* spp. i *Scenedesmus* spp. mogu zamijeniti do 50% ribljeg brašna u hranidbi nilske tilapije.

Supstituti brašnom ostalih vrsta

Ukoliko već dolazi do iskorištavanja ribljeg brašna u hranidbene akvakulturne svrhe, A h m a d (2008) i G o y t o r t ú a – B o r e s i suradnici (2006) predlažu zamjenu ribljeg brašna komercijalno važnijih ribljih vrsta, s brašnom akvakulturnih vrsta bez ekonomske važnosti te lako dostupnim za određene zemlje.

Djelomičnu i potpunu zamjenu ribljeg brašna od haringe s ribljim brašnom od gambuzije (*Gambusia affinis*) u hranidbi mlađi nilske tilapije je istraživao A h m a d (2008). Zamjena se sastojala od 10, 25, 50, 75 i 100% zamjene ribljeg brašna haringe s ribljim brašnom gambuzije te došao do zaključka da je brašno gambuzije prikladan i preporučljiv zamjenski izvor proteina u hranidbi kod mlađi nilske tilapije, a može zamijeniti i do 75 % količine ribljeg brašna haringe. Istraživanje na istu temu sa sličnim rezultatima napravio je i A b d e l g h a n y (2003). Brašno proizvedeno od crvenog raka (*Pleuroncodes planipes*) te njegova primjena kao zamjena ribljem brašnu bila je tema istraživanja G o y t t o r t ú a – B o r e s i suradnika (2006) na juvenilnim stadijima bijelog škampa. Crveni rak se ne upotrebljava za ljudsku prehranu zbog svog malog abdominalnog mišića, ali zbog svojih visokih nutritivnih vrijednosti (posebno proteina i minerala) može biti veoma interesantan kao riblja hrana. Na kraju 30 dnevnog pokusa, prema rezultatima svih ispitivanih hranidbenih parametara, izveo se zaključak o veoma uspješnoj djelomičnoj zamjeni ribljeg brašna (dobivenog iz nusprodukta proizvodnje i prerade tune) s brašnom crvenog raka. Poboľšan je rast, konverzija hrane te proteinska učinkovitost u hranidbi mlađi bijelog škampa.

Y o s h i t o m i i suradnici (2006) su 92 dana pratili djelomičnu zamjenu ribljeg brašna s brašnom zooplanktonskog račića - *krilla* (*Euphausia superba*) kod kalifornijske pastrve. Uz prirast, unos hrane i specifičnu stopu rasta, istraživali su i način na koji fluor iz brašna račića utječe na mišiće i kosti kalifornijske pastrve, uzgajane u slatkoj vodi. U zamjenskim hranama sa 7 i 15%, zamijenjenog ribljeg brašna s brašnom zooplanktonskog račića, nije bilo promjene kod prirasta, unosa hrane i specifične stope rasta ali kod 30%-tne zamjene došlo je do signifikantnog pada svih navedenih parametara. Nakon eksperimenta, koncentracija fluora u leđnim mišićima je bila ispod limita u svim istraživanim vrstama hranidbe.

M o r e n i suradnici (2006) tražili su alternativu izvoru proteina u ribljem brašnu i to preko brašna zooplanktonskih račića *Euphausia superba* i *Thysanoessa inermis* i amfipodnog račića *Themisto libellula*. Istraživanje je provedeno na atlanskom lososu i bakalaru. U tijelu ribe te u brašnu mjerili su koncentracije elemenata kadmija (Cd), cinka (Zn), bakra (Cu), žive (Hg), arsena (As) i olova (Pb) te su ustanovili visoku koncentraciju bakra u brašnu račića *Euphausia superba* što na kraju premašuje dozvoljene količine u potpunim hranama čije razine određuje EU. Razina kadmija u brašnu amfipodnog račića bila je šest puta veća od dozvoljene koncentracije koje propisuje EU, što upućuje na limitirano korištenje nekih zooplanktonskih račića kao alternativni izvor proteina u ribljem hrani. Zanimljiva je usporedba istraživanja M o r e n a i suradnika (2006), te S u o n t a m a i suradnika (2007) koji su također analizirali zamjenu ribljeg brašna s brašnom istih vrsta zooplanktonskih račića, ali svoje su istraživanje bazirali na hranidbenim i hematološkim parametrima te zaključili da zooplankton može djelomično zamijeniti riblje brašno u hranidbi atlanskog lososa bez uzrokovanja većih efekata na rast. U tom ispitivanju nije bilo utjecaja na konverziju hrane i zdravstvene parametre, a profil morskih masnih kiselina duljeg ugljikovog lanca, jest zadržan ili čak poboľšan.

Nigerijski znanstvenik N w a n n a (2003) istražio je djelomičnu zamjenu ribljeg brašna s nusproduktom akvakulturne proizvodnje škampa - siliranim brašnom od glava škampa koja je, u akvakulturnoj preradi istih, nusprodukt. Glave škampa u približnoj količini od $1,6 \times 10^4$ tona u Nigeriji, a $2,8 \times 10^5$ tona u cijelom svijetu godišnje se bacaju

na otpad. Kako brašno od glava škampa ima visok nutritivan sastav, njegovom ugradbom u akvakulturnu hranidbu je moguće smanjiti jedinicu troška u ribljoj proizvodnji. U 84-dnevnom hranidbenom pokusu na afričkom somu riblje brašno je supstituirano u omjeru 5, 10, 20, 30 i 40% te su se uspoređivali brojni hranidbeni parametri s kontrolnom hranom u kojoj nema supstituta. Na kraju je izveden zaključak da se optimalni rezultati mogu očekivati ukoliko se, do koncentracije od 30%, zamijeni riblje brašno sa siliranim brašnom od glava škampa kod hranidbe afričkog soma.

ZAKLJUČAK

Hranidbene formulacije riblje hrane u akvakulturi u budućnosti će se trebati mijenjati smanjenjem pa sve do totalne eliminacije udjela ribljeg brašna. Opseg tih promjena varirat će ovisno o vrsti ribe i parametrima nužnim za njegovu optimalnu i uspješnu zamjenu. Potrebna je daljnja redukcija antinutritivnih faktora i vlakana iz biljnih izvora proteina te balansiranje sastava esencijalnih aminokiselina iz brašna biljnog i animalnog podrijetla. Ukoliko se usporedi s ribljim brašnom, biljni proteini, također, oskudijevaju s nužnim (esencijalnim) aminokiselinama potrebnim za normalan rast i razvoj (soja ima manju koncentraciju metionina, a žitnim derivatima nedostaju arginin, lizin i metionin). Riblje brašno je izvrstan izvor nekih esencijalnih minerala, dok biljni i životinjski proteini u tome oskudijevaju. Palatabilnost hrane bit će jedan od važnijih faktora u hranidbenim formulacijama, pogotovo ukoliko se u prehranu uključe derivati uljanih sjemenki.

Ključna je potreba za nastavkom istraživanja prerade i dopune alternativnim proteinskim sastojcima, kroz poboljšane hranidbene formulacije, kako bi se razvio novi tip akvakulturne hranidbe. Konačan cilj bi bio razvitak hrane koja u svom konačnom obliku zadovoljava sve hranidbeno-zdravstvene potrebe uzgajanog organizma, a da je pri tom jeftina, sadrži što manje (ili ništa) ribljeg brašna, i da je u što manjoj mjeri prijetnja okolišu. Potrebno je dodatno promicati oblike akvakulture (uzgoj omnivora i herbivora) u kojima bi se morski resursi što manje iskorištavali.

Summary

REPLACEMENT OF FISH MEAL, AS THE DOMINANT SOURCE
OF PROTEIN IN AQUACULTURE, WITH ALTERNATIVE
NUTRITIONAL COMPONENTS

Matulić, D., Aničić, I., Grbeša, D., Boban, M.¹

Reduction and possible elimination of fish meal and fish oil from the nutrition of aquacultural fish species is one of the priorities in nowadays research. Due to the growing needs for fish for human consumption and the cost of fishmeal respectively, the global trend of excessive fishing has up to now become a serious problem. Also, as global fish farming continues to increase, the need for good and cost-effective protein sources is increasingly important. Fish meal is still an essential ingredient in diets for carnivorous fish and fish meal availability in sufficient quantities for the future farming is questioned. Replacement of fishmeal in fish feed will lead to the commercialization of the alternatives, marine fish resources will be less exploited by the manufacturers and seafood farmers worldwide. The paper provides a review of scientific research on alternative dietary components used as a substitute in fish meal for various fish species and other aquaculture organisms.

Key words: Fish meal, Reduction, Aquaculture, Feeding, Alternatives

LITERATURA

- Abdelghany, A.E. (2003): Partial and complete replacement of fish meal with gambusia meal in diets for red tilapia '*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*'. Aquaculture Nutrition, 9, 3, 145-154.
- Abdel-Warith, A. A ., Russell, P.M., Davies, S. J. (2001): Inclusion of a commercial poultry by-product meal as a protein replacement of fish meal in practical diets for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). Aquaculture Research, 32, (1) , 296–305.
- Ahmad, M.H. (2008): Evaluation of Gambusia, *Gambusia affinis*, Fish Meal in Practical Diets for Fry Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. Journal Of The World Aquaculture Society, 39, 2, 243-250

¹ Daniel Matulić, mag.ing., Faculty of Agriculture, University of Zagreb, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb. dmatulic@agr.hr ; Prof.dr.sc. Ivica Aničić, Faculty of Agriculture, University of Zagreb, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb ianicic@agr.hr; Prof.dr.sc. Darko Grbeša, Faculty of Agriculture, University of Zagreb, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb dgrbesa@agr.hr; Mislav Boban, dipl.ing., MILS d.d. Komulovića put 4, 21000 Split

- Aksnes, A., Izquierdo, M.S., Robaina, L., Vergara, J.M., Montero, D. (1997): Influence of fish meal quality and feed pellet on growth, feed efficiency and muscle composition in gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 153, 251–261.
- Allan, G.L., Parkinson, S., Booth, M. A., Stone, D.A.J., Rowland, S.J., Frances, J., Warner-Smith, R. (2000a): Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: I. Digestibility of alternative ingredients *Aquaculture*, 186, 293–310.
- Allan, G.L., Rowland, S.J., Mifsud, C. Glendenning, D., Stone, D.A.J., Ford, A. (2000b): Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus* V. Least-cost formulation of practical diets. *Aquaculture*, 186, 327–340.
- Amaya, E.A., Davis A.,D., Rouse, D.B. (2007): Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under pond conditions. *Aquaculture*, 262, 393–401.
- Badwy, T.M., Ibrahim E. M., Zeinhom, M. M. (2008): Partial replacement of fish meal with dried microalga (*Chlorella spp* and *Scenedesmus spp*) in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) diets. 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture 2008, Cairo, Egypt, October 12-14, 2008.
- Bairagi, A., Gosh, K.S., Sen, S.K., Ray, A.K. (2004): Evaluation of the nutritive value of *Leucaena leucocephala* leaf meal, inoculated with fish intestinal bacteria *Bacillus subtilis* and *Bacillus circulans* in formulated diets for roho, *Labeo rohita* (Hamilton) fingerlings. *Aquaculture Research*, 35, 436–446.
- Bell, J. G., McGheea, F., Campbell, P.J., Sargenta, J.R. (2003): Rapeseed oil as an alternative to marine fish oil in diets of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*): changes in flesh fatty acid composition and effectiveness of subsequent fish oil “wash out”. *Aquaculture*, 218, 515–528.
- Benedito-Palos, L., Saera-Vila, A., Calduch-Giner, J.-A., Kaushik, S., Pérez-Sánchez, J. (2007): Combined replacement of fish meal and oil in practical diets for fast growing juveniles of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.): Networking of systemic and local components of GH/IGF axis. *Aquaculture*, 267, 199–212.
- Bjerkeng, B., Refstie, S., Fjalestad, K.T., Storebakken, T., Rødbotten, M., Roem, A.J., (1997): Quality parameters of the flesh of Atlantic salmon (*Salmo salar*) as affected by dietary fat content and full-fat soybean meal as a partial substitute for fish meal in the diet. *Aquaculture*, 157, 297–309.
- Bransden, M. P., Carter, C.G., Nichols, P.D. (2003): Replacement of fish oil with sunflower oil in feeds for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): effect on growth performance, tissue fatty acid composition and disease resistance. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B*, 135, 611–625.
- Bureau, D.P., Harris, A.M., Cho, C.Y. (1998): The effects of purified alcohol extracts from soy products on feed intake and growth of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 161, 27–43.
- Bureau, D.P., Harris, A.M., Cho, C.Y. (1999): Apparent digestibility of rendered animal protein ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 180, 345–358.

- Bureau, D.P., Harris, A.M., Bevan, D.J., Simmons, L.A., Azevedo, P.A. and Choa, C.Y. (2000): Feather meals and meat and bone meals from different origins as protein sources in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. *Aquaculture*, 181, 3-4, 281-291.
- Burel, C., Boujard, T., Corraze, G., Kaushik, S. J., Boeuf, G., Mol, K.A., Van Der Geyten, S., Kühn, E. R. (1998): Incorporation of high levels of extruded lupin in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): nutritional value and effect on thyroid status. *Aquaculture*, 163, 325-345.
- Carter, C.G., Hauler, R.C. (2000): Fish meal replacement by plant meals in extruded feeds for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture*, 185, 299-311.
- Davis, A., Samocha, T.M., Bullins, R.A., Patnaik, S., Browdy, C., Stokes, A., Atwood, H. (2004): Practical diets for *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931): working towards organic and/or all plant production diets. In: Cruz Suárez, L.E., Ricque Marie, D., Nieto López, M.G., Villarreal, D., Scholz, U., y González, M. (Eds.), *Avances en Nutrición Acuicola VII. Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*, Noviembre 16-19, 2004, Hermosillo, Sonora, México, pp. 202-214.
- Degara, S. (1997): Evaluation of different pressed and extruded fish meal based diets on the growth of gilthead sea bream, *Sparus aurata* L. In: Tacon, A.G.J. (ed.), Basurco, B. (ed.) *Feeding Tomorrow's Fish. Cahiers Options Méditerranéennes*, 22, 123-139.
- De Francesco, M., Parisi, G., Perez-Sanchez, J., Gomez-Requeni, P., Medale, F., Kaushik, S.J. Mecatti, M., Poli, B.M. (2007): Effect of high-level fish meal replacement by plant proteins in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) on growth and body/fillet quality traits. *Aquaculture Nutrition*, 13, 361-372.
- De la Higuera, M., García-Gallego, M., Sanz, A., Cardenete, G., Suárez, M.D., Moyano, F.J. (1988): Evaluation of lupin seed meal as an alternative protein source in feeding of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 71, 37-50.
- Drew, M.W., Borgeson, T.L., Thissen, D.L. (2007): A review of processing of feed ingredients to enhance diet digestibility in finfish. *Animal Feed Science and Technology*, 138, 118-136.
- El-Saidy, D.M.S.D., Gaber M.M. (2004): Use of cottonseed meal supplemented with iron for detoxification of gossypol as a total replacement of fish meal in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) diets. *Aquaculture Research*, 35, (9), 859-865.
- El-Sayed, A.F.M. (1992): Effect of substituting fish meal with *Azolla pinnata* in practical diets for fingerlings and adult Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquacult. Fish. Manag.*, 23, 167-173.
- El-Sayed, A.F.M. (1994): Evaluation of soybean meal, spirulina meal and chicken offal meal as protein sources for silver seabream (*Rhabdosargus sarba*) fingerlings. *Aquaculture*, 127, 169-176.
- El-Sayed, A.F.M. (1998): Total replacement of fish meal with animal protein sources in Nile tilapia. *Aquac. Res.*, 29, 275-280.
- Engin, K., Carter, C. G. (2005): Fish meal replacement by plant and animal byproducts in diets for the Australian short-finned eel, *Anguilla australis australis* (Richardson). *Aquaculture Research*, 36, 445-454.

- Espe, M., Lemme A., Petri, A., El-Mowafi, A. (2006): Can Atlantic salmon (*Salmo salar*) grow on diets devoid of fish meal? *Aquaculture* 255 (2006) 255–262
- Ewing, W.N. (1997): The feeds directory. Commodity products. CONTEXT. 1.
- FAO (2002): Use of Fishmeal and Fish Oil in Aquafeeds: Further Thoughts on the Fishmeal Trap. 2002.
- FAO (2005): FAO Fisheries Department, Fishery Information, Data and Statistics Unit. Fishstat Plus: Universal software for fishery statistical time series. Aquaculture production: quantities 1950 – 2003; Aquaculture production: values 1984 – 2003; Capture production: 1950 – 2003; Commodities production and trade: 1950 – 2003; Total production: 1970 – 2003, Vers. 2.30. (dostupno na www.fao.org/fi/statist/FISOFT/FISHPLUS.asp)
- FAO (2006): Aquaculture Resources, Topics and Issues Fact Sheet, Fisheries Global Information System. FAO, Rome. Dostupno na: <http://www.fao.org/figis/servlet/topic?fid=13530> (accessed 27 January 2011)
- FAO (2009): Fisheries And Aquaculture Department. The State Of World Fisheries And Aquaculture 2008. Food And Agriculture Organization Of The United Nations. Rome, 2009.
- Ferreira, I.M.P.L.V.O., Pinho, O., Vieira, E., Tavela, J.G. (2010): Brewer's *Saccharomyces* yeast biomass: characteristics and potential applications. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 2, 77-84.
- FIN (Fishmeal Information Network) (2004): Fishmeal facts and figures – December 2007 update. (dostupno na <http://www.gafta.com/fin/finfacts.html>)
- Fournier, V., Huelvan, C., Desbruyeres, E. (2004): Incorporation of a mixture of plant feedstuffs as substitute for fish meal in diets of juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 236, 451–465.
- Friedman, M. (1996): Nutritional value of proteins from different food sources. A review. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 44, 6–29.
- Gatlin, D.M.III, Hardy, R.W. (2002): Manipulations of diets and feeding to reduce losses of nutrients in intensive aquaculture. *In: Aquaculture and the Environment in the United States* (ed. by J.R. Tomasso), pp. 155 - 165. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA.
- Gatlin, D.M., Barrows, F.T., Brown P., Dabrowski, K., Gaylord, T.G., Hardy, R.W., Herman, E., Hu, G., Krogdahl, A., Nelson R., Overturf, K., Rust, M., Sealey, W., Skonberg, D., Souza E.J., Stone, D., Wilson, R., Wurtele, E. (2007): Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research*, 38, 551-579.
- Gaylord, T. G., Teague, A.M., Barrows F.T. (2006): Taurine Supplementation of All-plant Protein Diets for Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of the World Aquaculture Society*, 37, (4) , 509–517.
- Gaylord, T.G., Rawles, S.D. (2005): Nutritional modification of poultry by-product meal for hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*). *Journal of the World Aquaculture Society*, 36, 363–374.

- Goda, A. M., El-Haroun, E. R., Kabir Chowdhury, M. A. (2007): Effect of totally or partially replacing fish meal by alternative protein sources on growth of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) reared in concrete tanks. *Aquaculture Research*, 38, 279-287.
- Gomez-Requeni, P., Mingarro, M., Calduch-Giner, J.A., Medale, F., Martin, S.A.M., Houlihan, D.F., Kaushik, S., Perez-Sanchez, J. (2004): Protein growth performance, amino acid utilisation and somatotrophic axis responsiveness to fish meal replacement by plant protein sources in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 232, 493–510.
- Goytortúa-Bores, E., Civera-Cerecedo, R., Rocha-Meza, S., Green-Yee, A. (2006): Partial replacement of red crab (*Pleuroncodes planipes*) meal for fish meal in practical diets for the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Effects on growth and *in vivo* digestibility. *Aquaculture*, 256, 414–422.
- Grbeša, D. (ed) (2004): Metode procjene i tablice kemijskog sastava i hranjive vrijednosti krepkih krmiva. Hrvatsko agronomsko društvo. Zagreb, 293 pp.
- Guo, J., Wang, Y., Bureau, D.P. (2007): Inclusion of rendered animal ingredients as fishmeal substitutes in practical diets for cuneate drum, *Nibea miichthioides* (Chu, Lo et Wu). *Aquaculture Nutrition*, 13, (2) , 81–87.
- Hansen, A.-C., Rosenlund, G., Karlsen, Ø., Koppe, W., Hemre, G.-I. (2007): Total replacement of fish meal with plant proteins in diets for Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) I — Effects on growth and protein retention. *Aquaculture*, 272, 599–611.
- Hardy, R.W. (1989): Diet Preparation. *In: Fish Nutrition* (ed. J.E. Halver). pp. 475–548. Academic Press, London.
- Hardy, R.W., Tacon, A.G.J. (2002): Fish meal: Historical Uses, Production Trends and Future Outlook for Sustainable Supplies. *Responsible marine Aquaculture*. CAB International 2002.
- Harpaz, S. (1997): Enhancement of growth in juvenile freshwater prawns, *Macrobrachium rosenbergii*, through the use of a chemoattractant. *Aquaculture*, 156, 221-227.
- Hasan, M.R., Macintosh, D.J., Jauncey, K. (1997): Evaluation of some plant ingredients as dietary protein sources for common carp (*Cyprinus carpio* L.) fry. *Aquaculture*, 151, 55-70.
- Hernandez, C., Olvera-Novoa, M.A., Hardy, R.W., Hermosillo, A. Reyes, C. Gonzalez, B. (2010): Complete replacement of fish meal by porcine and poultry by-product meals in practical diets for fingerling Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: digestibility and growth performance. *Aquaculture Nutrition*, 16, 44-53.
- Hertrampf, J.W., Piedad-Pascual, F. (2000): Handbook on ingredients for aquaculture feeds. London, Kluwer Academic Publishers, 573 pp.
- Hites, R.A., Foran, J.A., Carpenter, D.O., Hamilton, M.C., Knuth, B.A., Schwager, S.J. (2004): Global assessment of organic contaminants in farmed salmon. *Science*, 303, 226–229.
- Hossu, B., Gultepe, N., Salnur, S. (2009): Replacement of fish meal by yeast (*Saccharomyces cerevisiae*): Effects on digestibility and blood parameters for gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*). *J. Anim. Vet. Adv.*, 8, 2557-2561.

- Hu, M., Wang, Y., Wang, Q., Zhao, M., Xiong, B., Qian, X., Zhao, Y., Luo, Z. (2008): Replacement of fish meal by rendered animal protein ingredients with lysine and methionine supplementation to practical diets for gibel carp, *Carassius auratus gibelio*. *Aquaculture*, 275, 1 - 4, 260-265.
- Huss, H.H., Ababouch, L., Gram, L. (2003): Assessment and management of seafood safety and quality. FAO Fisheries Technical Paper, 444, Rome, FAO, 230p.
- IFFO (*International Fishmeal and Fish Oil Organization*) (2005): The way ahead for the global fishmeal and fishoil industry. Industry Overview. April 2005. <http://www.iffonet/default.asp?fname=1&sWebIdiom=1&url=253>
- Jobling, M. (2004): On-growing to market size. *In*: Moksness, E., Kjörsvik, E., Olsen, Y. (eds): *Culture of Cold-water Marine Fish*. Blackwell Science, Oxford, UK, pp. 363–432.
- Jobling, M. (2010): Fish Culture: Fish and Feedings *In*: Le François, N.R., Jobling, M., Carter, C., Blier, P.U. (eds): *Finfish Aquaculture Diversification*. CAB International,
- Kristensen, J. (2003): Utilization of seafood byproducts: why fishmeal? Pp. 371-377. *In*: P.J. Bechtel (ed): *Advances in seafood byproducts: 2002 conference proceedings*. Fairbanks, USA, Alaska Sea Grant College Program, University of Alaska Fairbanks, 566 pp.
- Kureshy, N. Davis, D.A., Arnold, C.R. (2000): Partial replacement of fish meal with meat-and-bone meal, flash-dried poultry by-product meal, and enzyme-digested poultry by-product meal in practical diets for juvenile red drum. *North American Journal of Aquaculture*, 62, (4), 266-272.
- Lall, S. (2000): Role of nutrition in fish health. *Int. Aquafeed*, 2, (2), 10-14.
- Lara-Flores, M., Olvera-Novoa, M.A., Guzmán-Méndez, B.E., López-Madrid, W. (2003): Use of the bacteria *Streptococcus faecium* and *Lactobacillus acidophilus*, and the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as growth promoters in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), *Aquaculture*, 216, 193–201.
- Little, D.C., Edwards, P. (1997): Contrasting strategies for inland fish and livestock production in Asia. pp. 75–87. *In*: J.L. Corbett, M. Choct, J.V. Nolan, J.B. Rowe (eds): *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia '97*, 30 June – 2 July 1997. Armidale, New South Wales, Australia, University of Armidale at New England.
- Manzi, J.J. (1989): Aquaculture research priorities for the 1990s. *World Aquacult.*, 20, 29–32.
- McLean, E., Reid, B., Fegan, D., Kuhn, D., Craig, S. (2006): Total replacement of fishmeal with an organically certified yeast-based protein in pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) diets: laboratory and field trials. *Ribarstvo*, 64, (2), 47–58.
- Mittaine, J-F. (2004): The fishmeal and fish oil market outlook for 2004 and early 2005: the producers analysis. www.globefish.org/files/Circular1001_179.pdf
- Moren, M., Suontama, J., Hemre, G.-I., Karlsen, Ø., Olsen, R.E., Mundheim, H., Julshamn, K. (2006): Element concentrations in meals from krill and amphipods, — Possible alternative protein sources in complete diets for farmed fish. *Aquaculture*, 261, 174–181.

- Mukhopadhyay, N., Ray, A.K. (1999): Effect of fermentation on the nutritive value of sesame seed meal in the diets for rohu, *Labeo rohita* (Hamilton), fingerlings. *Aquaculture Nutrition*, 5, 229–236.
- Mundheim, H., Anders, A., Hope, B. (2004): Growth, feed efficiency and digestibility in salmon (*Salmo salar* L.) fed different dietary proportions of vegetable protein sources in combination with two fish meal qualities. *Aquaculture*, 237, 315–331.
- NACA/FAO (2000): *Aquaculture Development Beyond 2000: The Bangkok Declaration and Strategy*. Conference on Aquaculture in the Third Millennium, 20– 25 February 2000, Bangkok, Thailand. NACA, Bangkok and FAO, Rome. 27 pp.
- National Research Council (NRC), (1993): *Nutrient requirements of fish*. National Academy Press, Washington, DC. 124 pp.
- National Research Council (NRC) (1994): *Nutrient Requirements of Poultry: Ninth Revised Edition*.
- Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C.M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., Troell, M. (2000): Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405, 1017–1024.
- Nengas, I., Alexis, M. & Davies, S. (1996): Partial substitution of fishmeal with soybean meal products and derivatives in diets for the gilthead seabream *Sparus aurata* (L.). *Aquaculture Research*, 27, 147–156.
- New, M.B., Wijkstrom, U.N. (1990): Feed for thought: some observations on aquaculture feed production in Asia. *World Aquaculture*, 21, (1), 17–19, 22–23.
- New, M.B. (1991): Where will feeds be in the year 2000. *Fish Farmer Int.*, 38–41.
- Ng, W.-K., Liew, F.-L., Ang, L.-P., Wong, K.-W. (2001): Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture Research*, 32, 1, 273-280.
- Nwanna, L.C. (2003). Nutritional value and digestibility of fermented shrimp head waste meal by african catfish *Clarias gariepinus*. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2, (6), 339-345.
- Olli, J.J., Krogdahl, A. ., Ingh, T.S.G.A.M., Brattas, I.E. (1994): Nutritive value of four soybean products in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L). *Acta Agric. Scand., Sect. A, Sci.* 44, 50– 60.
- Olli, J.J., Krogdahl, A., Vabeno, A., (1995): Dehulled solvent extracted soybean meal as a protein source in diets for Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Aquac. Res.*, 26, 167– 174.
- Oliva-Teles, A., Goncalves, P. (2001): Partial replacement of fishmeal by brewers yeast *Saccaromyces cereisiae* in diets for sea bass *Dicentrarchus labrax* juveniles. *Aquaculture*, 202, 269–278.
- Olsen, R.E., Hansen, A.-C., Rosenlund, G., Hemre G.-I., Mayhew, T.M., Knudsen, D.L., Eroldogan T.O., Myklebust, R., Karlsen, Ø. (2007): Total replacement of fish meal with plant proteins in diets for Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) II — Health aspects. *Aquaculture*, 272, 612–624.
- Oo, A.N., Satoh, S., Tsuchida, N. (2007): Effect of replacements of fishmeal and fish oil on growth and dioxin contents of rainbow trout. *Fisheries Science*, 73, 750–759.

- Opstvedt, J., Aksnes, A., Hope, B., Pike, I.H. (2003): Efficiency of feed utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed diets with increasing substitution of fish meal with vegetable proteins. *Aquaculture*, 221, 365–379.
- Refstie, S., Storebakken, T., Baeverfjord, G., Roem, A.J. (2001): Long-term protein and lipid growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with partial replacement of fish meal by soy protein products at medium or high lipid level. *Aquaculture*, 193, 91–106.
- Ringø, E., Lødemel, J.B., Myklebust, R., Kaino, T., Mayhew, T.M., Olsen, R.E. (2001): Epithelium associated bacteria in the gastrointestinal tract of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). An electron microscopical study. *J. Appl. Microbiol.*, 90, 294–300.
- Ringø, E., Olsen, R.E., Mayhew, T.M., Myklebust, R. (2003): Electron microscopy of intestinal microflora of fish. *Aquaculture*, 227, 395–415.
- Ringø, E., Sperstad, S., Myklebust, R., Mayhew, T.M., Olsen, R.E. (2006): The effect of dietary inulin on aerobic bacteria associated with hindgut of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). *Aquac. Res.*, 37, 891–897.
- Robaina, L., Izquierdo, M.S., Moyano, F.J., Socojto, J., Vergara, J. M., Montero, D., Fernandez Palacios, H. (1995): Soybean and lupin seed meals as protein sources in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*): nutritional and histological implications. *Aquaculture*, 130, 219–233.
- Rumsey, G.L., Hughes, S.G., Kinsella, J. (1990): Use of dietary yeast *Saccharomyces cerevisiae* nitrogen by Lake trout (*Salvelinus namaycush*). *Journal Of The World Aquaculture Society*, 21, 205 – 209
- Saoud, I.P., Rodgers L.J., Davis, D.A., Rouse, D.B. (2008): Replacement of fish meal with poultry by-product meal in practical diets for redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*). *Aquaculture Nutrition*, 14, 139–142.
- Satoh, S., Hernandez A., Tokoro T., Morishita, Y., Kiron, V., Watanabe, T. (2003): Comparison of phosphorus retention efficiency between rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed a commercial diet and a low fish meal based diet. *Aquaculture*, 224, 271–282.
- Sauvant, D., Peres, J-M., Tran, G. (2002): Tables of composition and nutrition value of feed materials. Vageningen Publishers and INRA Editions. Paris. 2nd Edition 2004, pp 304.
- Siddhuraju, P., Becker K. (2001): Preliminary nutritional evaluation of Mucuna seed meal (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) in common carp (*Cyprinus carpio* L.): an assessment by growth performance and feed utilisation. *Aquaculture*, 196, 1 - 2, 105-123.
- Sitjà-Bobadilla, A., Peña-Llopis, S., Gómez-Requeni, P., Médale, F., Kaushik, S., Pérez-Sánchez, J. (2005): Effect of fish meal replacement by plant protein sources on non-specific defence mechanisms and oxidative stress in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 249, 387–400.
- Smith, D.M., Hunter, B.J., Allan, G.L., Roberts, D.C.K., Booth, M.A., Glencross, B.D. (2004): Essential fatty acids in the diet of silver perch (*Bidyanus bidyanus*): effect of linolenic and linoleic acid on growth and survival. *Aquaculture*, 236, 377–390.

- Stone, D.A.J., Allan, G.L., Parkinson, S., Rowland, S.J. (2000): Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus* III. Digestibility and growth using meat meal products. *Aquaculture*, 186, 311–326.
- Storebakken, T., Kvien, I.S., Shearer, K.D., Grisdale-Helland, B., Helland, S.J., Berge, G.M. (1998): The apparent digestibility of diets containing fish meal, soybean meal or bacterial meal fed to Atlantic salmon (*Salmo salar*): evaluation of different faecal collection methods. *Aquaculture*, 169, 195–210.
- Suontama, J., Karlsen, R., Moren, M., Hemre, G.-I., Melle, W., Langmyhr, E., Mundheim, H., Ringø, E., Olsen, R.E. (2007): Growth, feed conversion and chemical composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) Fed diets supplemented with krill or amphipods. *Aquaculture Nutrition*, 13, 241–255.
- Tacon, A. G. J., Cooke D. J. (1980): Nutritional value of dietary nucleic acids to trout. *Nutrition Reports International*, 22, 63, 1-640.
- Tacon, A.G.J., Jackson, A.J. (1985): Utilisation of conventional and unconventional protein sources in practical fish feeds. In: C.B. Cowey, A.M. Mackie, J.G. Bell (eds.): *Nutrition and Feeding in Fish*, pp. 119–145, Academic Press, London.
- Tacon, A.G.J. (1994): Feed ingredients for carnivorous fish species: alternatives to fish meal and other fisheries resources. In: *FAO Fisheries Circular*, 881, FAO, Rome, 35 pp.
- Tacon, A.G.J., Hasan, M.R., Subasinghe, R.P. (2006): Use of fishery resources as feed inputs for aquaculture development: trend and policy implications. *FAO Fisheries Circular*, 1018, Rome, FAO. 99 pp.
- Tapia-Salazar, M., Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Pike, I. H., Smith, T.K., Harris, A., Nygard, E., Opstvedt, J. (2004): Effect of fishmeal made from stale versus fresh herring and of added crystalline biogenic amines on growth and survival of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* fed practical diets. *Aquaculture*, 242, 437–453.
- Teskeredžić, Z., Higgs, D.A., Dosanjh, B.S., McBride, J.R., Hardy, R.W., Beames, R.M., Jones, J.D., Simell, M., Vaara, T., Bridges, R.B. (1995): Assessment of undephytinized and dephytinized rapeseed protein concentrate as sources of dietary protein for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 131, 3 – 4, 261-277.
- Treer T., Safner R., Aničić I., Lovrinov M. (1995): *Ribarstvo*. Nakladni zavod Globus, 239 – 286, 464 str.
- Vergara, J.M., López-Calero, G., Robaina, L., Caballero, M.J., Montero, D., Izquierdo, M.S., Aksnes, A. (1999): Growth, feed utilization and body lipid content of gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed increasing lipid levels and fish meals of different quality. *Aquaculture*, 179, 35–44.
- Vielma, J., Koskela, J., Ruohonen, K., Jokinen, I., Kettunen, J. (2003): Optimal diet composition for European whitefish (*Coregonus lavaretus*): carbohydrate stress and immune parameter responses. *Aquaculture*, 225, 3–16.
- Watanabe, T. (2002): Strategies for further development of aquatic feeds. *Fisheries Science*, 68, 242–252.

- Wijkström, U.N., New, M.B. (1989): Fish for feed: a help or a hindrance to aquaculture in 2000? INFOFISH International, 6/89, 48–52.
- Xie, S., Jokumsen, A. (1997): Replacement of fish meal by potato protein concentrate in diets for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum): growth, feed utilization and body composition. Aquaculture Nutrition, 3, 65–69.
- Yang, Y., Xie, S., Cui, Y., Zhu, X., Lei, W., Yang, Y. (2006): Partial and total replacement of fishmeal with poultry by-product meal in diets for gibel carp, *Carassius auratus gibelio* Bloch. Aquaculture Research, 37, 40-48.
- Yoshitomi, B., Aoki, M., Oshima, S., Hata, K. (2006): Evaluation of krill (*Euphausia superba*) meal as a partial replacement for fish meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. Aquaculture, 261, 440–446.

Primljeno: 26. 4. 2011.

Prihvaćeno: 3. 11. 2011.