



Justyna Sikorska

Zakład Rybactwa Stawowego w Żabieńcu, Instytut Rybactwa Śródlądowego w Olsztynie

Dietetyczne przyczyny powstawania deformacji ciała u larw i młodocianych ryb w akwakulturze. Część 1. Substancje mineralne

Głównym dążeniem w akwakulturze najmłodszych stadiów ryb i jednocześnie warunkiem jej opłacalności jest jak najwcześniejsze i całkowite przestawienie larw ryb z pokarmu naturalnego na pasze wytwarzane przemysłowo (Hamre 2006). W ostatnich latach jakość pasz dla młodych stadiów ryb znacznie się poprawiła, jednak nadal nie są one w pełni dostosowane do wymagań pokarmowych większości gatunków. Skutkiem tego mogą być deformacje ciała. Wielu naukowców uważa niewłaściwą dietę za główny czynnik wpływający na powstawanie u ryb nieprawidłowości morfologicznych (Lovell 1973, Lim i Lovell 1978, Graff i in. 2002, Cahu i in. 2003, Sullivan i in. 2007).

Defekty ciała ryb są jednym z najpoważniejszych problemów zdrowotnych i ekonomicznych światowej akwakultury morskiej i słodkowodnej. Prawidłowość pokroju jest bowiem jednym z podstawowych kryteriów oceny jakości ryb z akwakultury, ich wartości rynkowej oraz przydatności do celów obsadowych, zarybieniowych i hodowlanych. Tymczasem u młodych osobników pochodzących z warunków kontrolowanych często występują rozmaite nieprawidłowości morfologiczne. Najczęściej spotykane są deformacje kręgosłupa: skolioza (skrzywienie boczne, fot. 1), lordoza (skrzywienie w kierunku brzuszny) lub kifoza (skrzywienie w kierunku grzbietowy), ponadto deformacje pokryw skrzelowych (fot. 2), deformacje szczęk, promieni płetw (fot. 3) lub gałek ocznych, a także nienaturalne ubarwienie skóry.

W obecnym artykule, powstałym w oparciu o klasyczne oraz najnowsze pozycje literatury naukowej, omówiono znaczenie najważniejszych pierwiastków dla prawidłowego rozwoju szkieletu ryb.

Choć początkowo powstawanie deformacji szkieletu o podłożu pokarmowym tłumaczono najczęściej niedoborem w diecie kwasu askorbinowego, czyli witaminy C (Halver i in. 1969, Lovell 1973), obecnie za główną ich przyczynę zarówno u ryb łososiowatych (Helland i in. 2005a,



Fot. 1. Skolioza (boczne skrzywienie kręgosłupa) u młodocianego klenia *Leuciscus cephalus*, żywionego paszą w warunkach kontrolowanych.



Fot. 2. Deformacje pokryw skrzelowych u młodocianego karpia *Cyprinus carpio*, żywionego paszą w warunkach kontrolowanych.



Fot. 3. Skrzywienia i zrośnięcie promieni płetw u młodocianej brzojny *Barbus barbus*, żywionego paszą w warunkach kontrolowanych.

Refstie i in. 2005, Baeverfjord i in. 2008), jak i karpioatych (Sikorska 2009) uważa się niedobór substancji mineralnych. Stosowane obecnie częściowe zastępowanie mączki rybnej w paszach białkami roślinnymi powoduje znaczny spadek przyswajalności zawartych w nich pierwiastków i innych ważnych składników odżywczych. Na przykład większość fosforu z dodawanej do pasz fityny nie jest przyswajalna dla ryb, a kwas fitynowy może dodatkowo zakłócać wchłanianie wapnia i żelaza (Robinson i in. 2001, Webster i Lim 2002).

Według Tuckera (1998), zwierzęta wymagają co najmniej 27 pierwiastków, które są niezbędne do życia i prawidłowego funkcjonowania organizmu, a większość z nich jest niezbędna także dla ryb. W przeciwieństwie do zwierząt lądowych, ryby mogą pobierać niektóre z niezbędnych pierwiastków bezpośrednio z wody. Wody słone zawierają znacznie więcej substancji mineralnych niż wody słodkie, dlatego u ryb słodkowodnych niedobory pierwiastków w ciele są o wiele częstsze niż u gatunków morskich.

Wśród substancji mineralnych, niezbędnych dla prawidłowej mineralizacji szkieletu ryb, najważniejszymi są fosfor, wapń i magnez (Lall 2002). Wszystkie te makropierwiastki pełnią w szkielecie funkcje strukturalne. Fosfor stanowi około 16% masy kości ryb (Tucker 1998). Jest on niezbędny także do wzrostu oraz prawidłowego metabolizmu lipidów i węglowodanów. Z powodu niskiej zawartości fosforu w wodzie, jego głównym źródłem dla ryb jest pokarm (Lovell 1993, Lall 2002, Sales i Janssens 2003). Wymagania pokarmowe, dotyczące zawartości w paszy fosforu, dla karpia *Cyprinus carpio*, pstrąga tęczowego *Oncorhynchus mykiss*, łososia atlantyckiego *Salmo salar* i pagrusa czerwonego *Pagrus major* mieszczą się w zakresie 0,5-0,8%. Stosunkowo mało fosforu potrzebuje węgorz japoński *Anguilla japonica* – 0,29% (Lovell 1993, Tucker 1998).

Zdolność ryb do przyswajania fosforu z pokarmu jest ściśle uzależniona od obecności soków żołądkowych i zróżnicowana gatunkowo. Jest ona niska u ryb beżżołądkowych, jak karp, a stosunkowo wysoka u ryb z funkcjonalnym żołądkiem, jak pstrąg tęczy (Hertrampf i Piedad-Pascual 2003). Według Ogino i in. (1979), tylko 10-30% fosforu z mączki rybnej jest przyswajane przez karpia, podczas gdy u pstrąga tęczowego 35-45% (Sullivan i in. 2007), a u sumika kanałowego *Ictalurus punctatus* – około 60% (Lovell 1993). U ryb karpioatych, z powodu braku sekrecji kwasów żołądkowych, przyswajalność fosforu zależy od rozpuszczalności w wodzie jego soli (Webster i Lim 2002). nierozpuszczalny w wodzie trójfosforan wapnia jest znacznie gorzej przyswajany niż rozpuszczalny w niej monofosforan wapnia, a u ryb pozbawionych właściwego żołądka ten pierwszy prawdopodobnie jest całkowicie nieprzyswajalny (Hossain i Furuichi 2000). Trójfosforan wapnia w diecie może ponadto zmniejszyć przyswajalność niektórych mikropierwiastków, na przykład cynku i man-

ganu (Takeuchi i in. 2002), i w związku z tym powodować erozję płetw.

Fosfor ma wpływ na zawartość w ciele ryb popiołu, lipidów i białek (Helland i in. 2005b, Mai i in. 2006, Yang i in. 2006, Ye i in. 2006, Zhang i in. 2006, Uyan i in. 2007, Lewis-McCrea i Lall 2010). Ryby żywione dietą ubogą w fosfor wykazywały obniżoną zawartość w ciele wapnia i magnezu, pomimo dostarczania ich w diecie w odpowiednich ilościach (Sugiura i in. 2004).

Tacon (1992), jako główne objawy niedoboru fosforu u karpia wymienia, oprócz osłabionego wzrostu, nadmierne odfuszczenie ciała, demineralizację kości, deformacje szkieletu osiowego i czaszki, nieprawidłowe kostnienie żeber i promieni płetw. U plamiaka *Melanogrammus aeglefinus* z rodziny dorszowatych niedobór fosforu przyczyniał się do zwiększenia liczby osteoklastów – komórek odpowiedzialnych za degradację i resorpcję tkanki kostnej (Roy i in. 2002).

Do budowy kości niezbędny jest wapń, który stanowi 37% masy kości (Tucker 1998). Pierwiastek ten ponadto uczestniczy między innymi w kurczeniu się mięśni, przewodzeniu impulsów nerwowych, aktywacji wielu enzymów i gojeniu się ran (Lovell 1993, Lall 2002). W diecie karpia do optymalnego wzrostu wymagana jest stosunkowo niska zawartość wapnia (0,34%), jeszcze mniej potrzebuje pstrąg tęczy – 0,20% (Tucker 1998). Sumik kanałowy i tilapia nilowa *Oreochromis niloticus* wymagają w diecie 0,45-0,70% tego pierwiastka. W słonej wodzie pagrus czerwony potrzebuje 0,34% wapnia w pokarmie, a łososiowi atlantyckiemu wystarcza ilość pobrana z wody przez skrzel, w związku z czym nie wymaga on suplementacji diety tym pierwiastkiem (Lovell 1993). Karp nie wymagałby obecności wapnia w diecie, gdyby zawartość w wodzie wynosiła 14-20 ppm (Lin i Peter 1991). U ryb morskich nie występuje mobilizacja wapnia z kości i łusek do płynów ustrojowych i tkanek miękkich (Lovell 1993), ale u ryb słodkowodnych taka mobilizacja może okazać się niezbędna w warunkach niedoboru tego pierwiastka w diecie.

Wchłanianie i przyswajalność wapnia są utrudniane przez niedobór witaminy D, nadmiar w diecie fosforu, włókna, lipidów i kwasu fitynowego (Webster i Lim 2002). Tacon (1992), jako główne oznaki niedoboru tego pierwiastka w organizmie ryby wymienia obniżoną zawartość popiołu w mięśniach, niską przyswajalność pokarmu i słaby wzrost osobniczy oraz anoreksję. Nadmiar wapnia w diecie może wywierać negatywny wpływ na zawartość popiołu w łuskach oraz na odkładanie cynku w kościach (Ye i in. 2006). Ponadto może on utrudniać wchłanianie fosforu z przewodu pokarmowego, tworząc słabo przyswajalny trójfosforan wapnia (Andrews i in. 1973, Cowey i Sargent 1979). Nadmiar fosforu z kolei utrudnia wchłanianie wapnia i wbudowywanie go w kości (Baeverfjord i in. 1998, Webster i Lim 2002). Wszystkie te dane wskazują, dlaczego w diecie

ważny jest stosunek wapnia do fosforu. Na przykład u pstrąga tęczowego najlepsze wyniki wzrostowe dają te pasze, w których zachowano równe proporcje obu pierwiastków (Tacon 1992).

Pierwiastkiem niezbędnym do prawidłowego metabolizmu kości jest też magnez (Lall 2002). Częściowo może być pobierany przez ryby bezpośrednio z wody, jednak głównym jego źródłem jest pokarm (Lovell 1993, Lall 2002). W ciele ryb około 70% magnezu jest wbudowane w kość, podczas gdy 30% znajduje się w tkankach miękkich i płynach ustrojowych (Webster i Lim 2002). W zależności od zawartości magnezu w wodzie, pstrąg tęczowy potrzebuje od 0,2 do 0,7 g tego pierwiastka na kilogram pokarmu, a węgorz japoński i sumik kanałowy około 0,4 g kg⁻¹ (Tucker 1998). Wymagania pokarmowe karpia odnośnie magnezu mieszczą się w zakresie 0,4-0,5 g kg⁻¹ paszy (Tucker 1998, Takeuchi i in. 2002) lub 12-15 mg kg⁻¹ masy ciała dziennie (Ogino i Chiou 1976). Niedobór tego pierwiastka może się objawiać u ryb skrzywieniami kręgosłupa, degeneracją włókien mięśniowych, kataraktą, ogólnym osłabieniem, anoreksją oraz obniżoną zawartością popiołu i magnezu w kościach (Ogino i Chiou 1976, Lall 2002).

Deformacje szkieletu u ryb notowano również w wyniku niedoboru innych pierwiastków, np. manganu. Zalecana dawka manganu dla karpia wynosi 13 mg g⁻¹ paszy (Takeuchi i in. 2002).

Obecnie problem niedoboru substancji mineralnych w organizmie ryb w akwakulturze nie polega na deficycie makropierwiastków w paszach komercyjnych, gdyż te na ogół zawierają znacznie więcej wapnia, fosforu i magnezu niż pokarm naturalny. Najczęstszą przyczyną niedoboru wymienionych pierwiastków w organizmie ryb jest ich słaba przyswajalność z paszy (Sullivan i in. 2007), co ma miejsce zwłaszcza u tych gatunków, które trawią pokarm wyłącznie w środowisku zasadowym (Hossain i Furuichi 2000, Hertrampf i Piedad-Pascual 2003). Należy podkreślić, że pasze przeznaczone dla osobników młodocianych, charakteryzujących się szybkim wzrostem, powinny zawierać więcej makropierwiastków niż pasze dla osobników dorosłych. Na przykład Lall (2002) podaje, że zawartość fosforu w paszy dla łososia atlantyckiego powinna wynosić 0,6%, czyli 6000 mg kg⁻¹, ale badania Hellanda i in. (2005b) wykazały, że dla szybko rosnących osobników młodocianych tego gatunku nawet ilość 9500 mg P kg⁻¹ może okazać się niewystarczająca. Ważne jest również, w jakiej formie dany makropierwiastek występuje w paszy. Często bowiem całkowita zawartość w paszach fosforu czy innych pierwiastków przekracza wymagania pokarmowe (Helland i in. 2005b, Sullivan i in. 2007), jednak tylko niewielka część tych pierwiastków jest dla ryb przyswajalna (Sullivan i in. 2007). Na przykład łosoś atlantycki, który trawi pasze efektywniej niż ryby karpowate, przyswajał mniej niż 50% całkowitego fos-

foru zawartego w kilku badanych pod tym kątem paszach (Sullivan i in. 2007). Cytowani autorzy za główną przyczynę skrzywień kręgosłupa uważają niedobór w diecie nie tyle całkowitego fosforu, co jego przyswajalnych dla ryb form. Szczególne znaczenie ma to u larw i osobników młodocianych, z nie w pełni jeszcze rozwiniętym przewodem pokarmowym i mało efektywnym trawieniem.

Do powstawania deformacji ciała mogą się przyczynić także inne składniki dostarczane rybom w diecie w niewłaściwych ilościach lub proporcjach. Mogą to być niektóre witaminy rozpuszczalne w wodzie, witaminy rozpuszczalne w tłuszczach, niektóre aminokwasy i kwasy tłuszczowe. Ich wpływ na prawidłowość pokroju ciała u larw ryb i osobników młodocianych zostanie omówiony w drugiej części artykułu.

Literatura

- Andrews J.W., Murai T., Campbell C. 1973 – Effects of dietary calcium and phosphorus on growth, food conversion, bone ash and hematocrit levels of catfish – J. Nutr. 103: 766-771.
- Baeverfjord G., Lsgird T., Shearer K.D. 1998 – Development and detection of phosphorus deficiency in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., parr and post-smolts – Aquacult. Nutr. 4: 1-11.
- Baeverfjord G., Hjelde K., Helland S., Refstie S. 2008 – Restricted dietary level of phosphorus and zinc induces specific skeletal deformities in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) – Europ. Aquacult. Soc. Spec. Publ. 37: 52-53.
- Cahu C.L., Zambonino Infante J.L., Takeuchi T. 2003 – Nutritional components affecting skeletal development in fish larvae – Aquaculture 227: 254-258.
- Cowey C.B., Sargent J.R. 1979 – Nutrition. W: Fish physiology (red. W.S. Hoar, J. Randall) Academic Press, New York, 8: 1-69.
- Graff I.E., Waagbo R., Fivelstad S., Vermeer C., Lie O., Lundebye A.K. 2002 – A multivariate study on the effects of dietary vitamin K, vitamin D₃ and calcium, and dissolved carbon dioxide on growth, bone minerals, vitamin status and health performance in smolting Atlantic salmon *Salmo salar* L. – J. Fish Dis. 25: 599-614.
- Halver J.E., Ashley L.M., Smith R.R. 1969 – Ascorbic acid requirement of coho salmon and rainbow trout – Trans. Am. Fish. Soc. 98: 762-771.
- Hamre K. 2006 – Nutrition in cod (*Gadus morhua*) larvae and juveniles – ICES J. Mar. Sci. 63: 267-274.
- Helland S., Refstie S., Epsmark L., Hjelde K., Baeverfjord G. 2005b – Mineral balance and bone formation in fast-growing Atlantic salmon parr (*Salmo salar*) in response to dissolved metabolic carbon dioxide and restricted dietary phosphorus supply – Aquaculture 250: 364-376.
- Helland S., Refstie S., Hjelde K., Baeverfjord G. 2005a – Restricted dietary mineral supply in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) – II. Morphological description of skeletal deformities – Europ. Aquacult. Soc. Spec. Publ. 35: 249-250.
- Hertrampf J.W., Piedad-Pascual F. 2003 – Handbook of ingredients for aquaculture feeds – Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, Netherlands: 624 ss.
- Hossain M.A., Furuichi M. 2000 – Essentiality of dietary calcium supplement in redlip mullet *Liza haematocheila* – Aquacult. Nutr. 6: 33-38.
- Lall S.P. 2002 – The minerals – W: Fish nutrition (red. J.E. Halver, R.W. Hardy) Third Edition, Elsevier Sci.: 259-308.
- Lewis-McCrea L.M., Lall S.P. 2010 – Effects of phosphorus and vitamin C deficiency, vitamin A toxicity, and lipid peroxidation on skeletal abnormalities in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) – J. Appl. Ichthyol. 26: 334-343.
- Lim C., Lovell R.T. 1978 – Pathology of the vitamin C deficiency syndrome in channel catfish (*Ictalurus punctatus*) – J. Nutr. 108: 1137-1146.
- Lin H.R., Peter R.E. 1991 – Aquaculture – W: Cyprinid fishes. Systematics, biology and exploitation (red. I.J. Winfield, J.S. Nelson) Chapman & Hall, Fish and Fisheries, 3: 590-622.
- Lovell R.T. 1973 – Essentiality of vitamin C in feeds for intensively fed caged channel catfish – J. Nutr. 103: 134-138.
- Lovell R.T. (red.) 1993 – Nutrient requirements of fish – Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture, National Research Council. Nat. Acad. Press, Washington, D.C.: 114 ss.

- Mai K., Zhang C., Ai Q., Duan Q., Xu W., Zhang L., Liufu Z., Tan B. 2006 – Dietary phosphorus requirement of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R. – Aquaculture 251: 346-353.
- Ogino C., Chiou J.Y. 1976 – Mineral requirements in fish. II. Magnesium requirement of carp – Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 42: 71-75.
- Ogino C., Takeuchi L., Takeda H., Watanabe T. 1979 – Availability of dietary phosphorus in carp and rainbow trout – Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 45: 1527-1532.
- Refstie S., Helland S., Gjerde B., Shearer K.D., Baeverfjord G. 2005 – Restricted dietary mineral supply in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) – growth and mineral dynamics – Europ. Aquacult. Soc. Spec. Publ. 35: 382-383.
- Robinson E.H., Li M.H., Manning B.B. 2001 – A practical guide to nutrition, feeds, and feeding of catfish (second revision) – Bull. 1113 Mississippi Agricultural & Forestry Experiment Station, Mississippi State University: 39 ss.
- Roy P.K., Witten P.E., Hall B.K., Lall S.P. 2002 – Effects of dietary phosphorus on bone growth and mineralization of vertebrae in haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.) – Fish Physiol. Biochem. 27: 35-48.
- Sales J., Janssens G.P.J. 2003 – Nutrient requirements of ornamental fish – Aquat. Living Res. 16: 533-540.
- Sikorska J. 2009 – Metody przeciwdziałania negatywnym skutkom intensywnego żywienia starterami młodocianych ryb karpowatych w warunkach kontrolowanych – Praca doktorska, IRS, Olsztyn: 121 ss.
- Sugiura S.H., Hardy R.W., Roberts R.J. 2004 – The pathology of phosphorus deficiency in fish – a review – J. Fish Dis. 27: 255-265.
- Sullivan M., Reid S.W.J., Ternent H., Manchester N.J., Roberts R.J., Stone D.A.J., Hardy R.W. 2007 – The aetiology of spinal deformity in Atlantic salmon, *Salmo salar* L.: influence of different commercial diets on the incidence and severity of the preclinical condition in salmon parr under two contrasting husbandry regimes – J. Fish. Dis. 30: 759-767.
- Takeuchi T., Satoh S., Kiron V. 2002 – Common carp, *Cyprinus carpio*. W: Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture (red. C.D. Webster, C. Lim) CAB International: 245-261.
- Tacon A.G.J. 1992 – Nutritional Fish Pathology. Morphological signs of nutrient deficiency and toxicity in farmed fish – FAO Fish Tech. Pap. 330: 75 ss.
- Tucker J.W. Jr. 1998 – Marine fish culture – Kluwer Acad. Publ., Boston, 750 ss.
- Uyan O., Koshio S., Ishikawa M., Uyan S., Ren. T, Yokoyama S., Komilus C.F., Michael F.R. 2007 – Effects of dietary phosphorus and phospholipid level on growth, and phosphorus deficiency signs in juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* – Aquaculture 267: 44-54.
- Webster C.D., Lim C. 2002 – Introduction to fish nutrition. W: Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture (red. C.D. Webster, C. Lim) CAB International: 1-27.
- Yang S.-D., Lin T.-S., Liu F.-G., Liou C.-H. 2006 – Influence of dietary phosphorus levels on growth, metabolic response and body composition of juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*) – Aquaculture 253: 592-601.
- Ye Ch.-X., Liu Y.-J., Tian L.-X., Mai K.-S., Du Z.-Y., Yang H.-J., Niu J. 2006 – Effect of dietary calcium and phosphorus on growth, feed efficiency, mineral content and body composition of juvenile grouper, *Epinephelus coioides* – Aquaculture 255: 263-271.
- Zhang C., Mai K., Ai Q., Zhang W., Duan Q., Tan B., Ma H., Xu W., Liufu Z., Wang X. 2006 – Dietary phosphorus requirement of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* – Aquaculture 255: 201-209.

Przyjęto po recenzji 21.07.2010 r.

DIETARY CAUSES OF BODY DEFORMITIES IN LARVAL AND JUVENILE FISH IN AQUACULTURE. PART 1. MINERAL SUBSTANCES

Justyna Sikorska

ABSTRACT. The intensive feeding of young stages of fish with dry starter feeds under controlled conditions commonly results in body deformities. Most often these are caused by deficits of the dietary minerals necessary for skeletal development. The present article is a review of the literature data concerning this issue. The most important minerals for proper skeletal mineralization are phosphorus, calcium, and magnesium. Their role in the physiology of fish and the demand for them are presented for various fish species, and the effects of deficiency are described. The most important reasons for shortages of these minerals in fish are also discussed.

Key words: larval fish, juveniles, body deformities, diet, mineral substances