

ベジタリアン養殖魚が食卓を変える

佐藤 秀一*

〔キーワード〕：漁業，養殖，植物性飼料，魚粉，魚油，代替飼料

現在，わが国では，数十種類の魚が養殖されている．そのほとんどが，刺身や寿司のネタになる魚種であり，肉食魚あるいは魚食魚といわれている魚である．すなわち，ブリやマダイ，マグロなどである．これらの海水魚を飼育するためには，魚を原料とした餌料や配合飼料が主に用いられてきた．世界の水産養殖業は近年著しく発展しており，2011年には肉牛の生産量，また2013年には約9000万トンとなり漁獲漁業の生産量を上回り，2016年には1億トンに近づいた．これに伴い，魚類養殖に用いる飼料の需要が増している．水産養殖用飼料の原料としては，タンパク質含量が高く魚類の必要な不可欠（必須）アミノ酸をバランスよく含む魚粉や必須脂肪酸を含む魚油が用いられて来た．特に海水魚に必要なタウリンやドコサヘキサエン酸（DHA）を含む魚粉や魚油が欠かせない原料である．魚粉および魚油の世界全体での生産量は原料魚の資源量を保護のためそれぞれ，500万トンと100万トンほどで，頭打ちとなっている．このため，魚粉と魚油の供給が逼迫し，魚粉・魚油価格が高騰している．我が国の養魚飼料に占める魚粉の割合は特に高いので，魚粉・魚油の代替が求められている．すなわち，肉食魚を草食魚のように飼養するベジタリアン養殖魚の創生が必要である．ここでは，魚粉，魚油に依存しないベジタリアン養殖魚の創生に関する研究，ならびにベジタリアン養殖魚のメリットについて紹介する．

1. ベジタリアン養殖魚とは

魚類はその食性により，草食魚，肉食魚，雑食魚に分けられる．また，生息域により，淡水魚，海水魚に分けられる．魚類の栄養要求は，その食性と生息域により大きな違いがある．特に，必須脂肪酸要求やタンパク質の要求量に違いがある．わが国で養

殖されている魚の中で，多く生産されているのは前述したように，肉食性の海水魚である．これらの魚が要求するDHAや良質なタンパク質，タウリンを豊富に含む生魚やそれを加工した魚粉が餌飼料の原料となっていた．しかしながら，生魚を直接，あるいはモイストペレットに加工しても，体重を1kg増加させるためにブリでは約7kgの原料魚が必要になる．また，原料魚を魚粉に加工し，配合飼料を製造し，飼育した場合においても，4kgの原料魚が魚体重1kgを増やすために必要である．遊泳が活発なクロマグロにおいては，14kgもの生魚が体重1kg増加させるために必要といわれている．これでは，持続的に可能な養殖業を発展させることは出来ないと思われる．そこで，魚を原料とした飼料を用いない肉食魚の創生が必要となる．すなわち，ベジタリアン養殖魚の創生である．草食性淡水魚は元々，植物性飼料原料のみで育成できるので，植物性飼料原料のみで製造した飼料で飼育した肉食魚をベジタリアン養殖魚と呼ぶことにする（図1）．

2. 魚粉代替飼料の開発

我が国では，かつてマイワシが豊富に漁獲され養殖用餌料として使われていた．しかしながら，1990

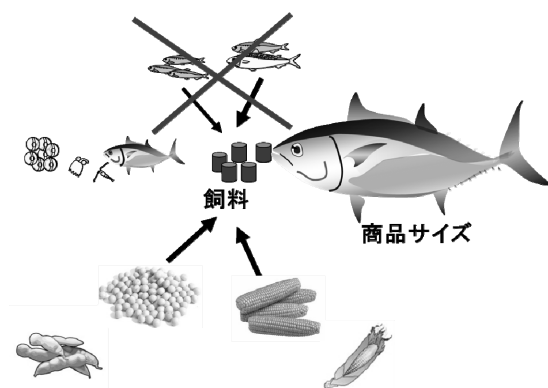


図1 ベジタリアン養殖魚とは

年以降のマイワシ資源の減少により、養魚用餌料原料としての供給が危惧された。その頃に最初の低・無魚粉飼料の開発に関する研究が始められた。ニジマスでは植物性飼料原料や動物性飼料原料と不足する不可欠アミノ酸（必須アミノ酸）を配合し魚粉を全く使用しない無魚粉飼料を用いても、魚粉主体飼料と同様の成長を示すことが報告された¹⁾。一方、海水魚のブリでは、同様の無魚粉飼料を給餌すると最初の40-50日間は魚粉飼料と同等の成長をするがそれ以降は、摂餌が低減し、成長しなくなるということが報告された²⁾。さらに、肝臓が緑色になる緑肝症が認められた³⁾。このように、ニジマスのような淡水魚とブリのような海水魚で、「何が異なるのか」を多くの研究がなされた結果⁴⁻⁶⁾、ブリのような海水魚では、不可欠アミノ酸の一つであるメチオニンやセリンを栄養素のタウリンに代謝できないことがわかった。高木ら⁷⁾は、濃縮大豆タンパク質を主原料とした無魚粉飼料へタウリンを添加することによりブリおよびマダイの成長が改善されることを報告した。しかしながら、濃縮大豆タンパク質は高価な原料であり、使用量の増加が望めいと思われた。そこで、現実的な課題として低魚粉飼料へのタウリンの必要性と添加効果をブリを用いて検討した。その結果、魚粉（アジミール）を30%まで低減させ、大豆油粕やコーングルテンミールを配合した飼料では、魚粉主体飼料と成長成績はさほど変わらないこと、さらに魚粉を20%まで低減した場合は成長が低下するが、タウリンを添加することにより、魚粉飼料と同等の成長を示すことがわかった。また、ルテインやゼアキサンチンなどの黄色い色素を含むコーングルテンミールを配合することにより、これらの色素がブリの体内でツナキサンチンに代謝され、鮮やかな黄色の線が体表に現れることがわかった⁸⁾。同様の試験をカンパチ⁹⁾で実施したが、ブリと同じ結果が得られた。また、出荷対象のマダイに対する魚粉30%飼料の実用性を3つの異なる地域の養殖場で実証したところ、魚粉主体飼料と遜色ない成長結果が得られた¹⁰⁾。このように、魚粉の配合率を現状の40-50%から、大きく減少できることがわかった。

植物性飼料原料に含まれるタンパク質の消化吸収率は魚粉と比較し、やや劣ることが知られている。そこで、それらを改善するためにタンパク質分解酵

素のプロテアーゼや種々の炭水化物分解酵素やフィチン分解酵素を含んだ麹菌発酵物の添加効果をマダイを用いて検討した¹¹⁾。その結果、麹菌発酵物を低魚粉飼料へ添加することにより、マダイのタンパク質およびリンの消化吸収率が改善され、飼育成績が向上することがわかった。一方、飼育水が20℃よりも低くなるとその効果は低減した。このように、消化酵素の添加が有効であることがわかったが、魚類は変温動物である為に飼育環境に即した添加が必要であることが示唆された。

植物性飼料原料の他に、動物性飼料原料であるポークミールやチキンミールなども、魚粉代替飼料原料の候補となる。動物性飼料原料は、2001年に我が国で狂牛病の発生が見られてから、全面禁止になった。その後、順次、チキンミールやポークミールの使用が認められ、養魚用飼料には現在では危険部位を除いたものから生産された牛由来のミートミールおよびミートアンドボーンミールの利用も可能となった。そこで、家禽由来のチキンミール等の飼料原料の利用性をニジマスを用いて検討した¹²⁾。チキンミールやフェザーミール、血粉などを配合した低魚粉飼料を調製し、ニジマスに給餌したところ、植物性飼料原料で代替した飼料に比較し、優れた飼育成績が得られた。さらに、動物性飼料原料のみで魚粉を完全に代替した飼料では、魚粉主体飼料と同等の成績を示した。このように動物性飼料原料を配合することにより、大幅に魚粉を代替できることがわかった。しかしながら、現在、我が国ではこれらの動物性飼料の流通量は多くなく、あまり使用できないのが現状である。良質の動物性飼料原料の今後の供給が望まれる。

そこで、これまでの知見を応用し、ブリを用いて実用的な無魚粉飼料の開発を行った。すなわち、栄養価は高いが価格の高い飼料原料である濃縮大豆タンパク質などの配合量をできるだけ低く30%とし、大豆油粕やコーングルテンミールとともにタウリン、アミノ酸キレート亜鉛、酵素混合を添加した無魚粉飼料を調製した。また、濃縮大豆タンパク質の代わりにポークミールを同量配合した飼料についても検討した。ブリなどの肉食性（魚食）魚は、魚粉などの魚由来の飼料原料を配合すると、よく摂餌するのであるが、植物性の飼料原料等を多く配合すると摂餌が悪くなる傾向がある。そこで、ブリを

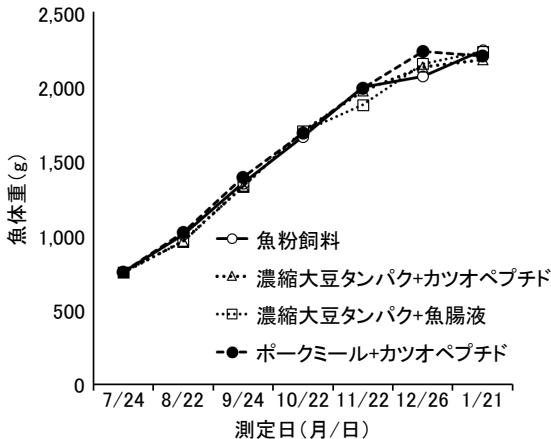


図2 無魚粉飼料で飼育したブリの成長

騙す目的で、かつお節製造過程で生産されるカツオペプチドという製品あるいは魚の腸を発酵させた魚腸液を試験飼料に噴霧した。その結果、高水温期ではブリは活発に摂餌し、無魚粉飼料区においても魚粉主体飼料と同等の成長を示した。一方、水温が低下すると摂餌が鈍り、魚粉主体飼料に比べ無魚粉飼料では成長が劣った¹³⁾ (図2)。

このように、植物性飼料原料、動物性飼料原料を配合しても、活発に摂餌するなら必要な栄養素を添加することにより、魚粉を完全に代替できることがわかった。また、これら無魚粉飼料で飼育した魚の可食部の色および臭いを調べた結果、無魚粉飼料で飼育したブリの色および臭いは、魚粉飼料で飼育したものと大きく異なることがわかった。

3. 魚油代替飼料の開発

前述したように魚粉代替に関する知見は集積されてきた。海水魚の必須脂肪酸は $\omega 3$ 高度不飽和脂肪酸であるDHAなどである。このDHAの主な供給源は魚油である。ところが、世界的な養殖産業の発展に伴い、魚粉と同様に魚油の供給も逼迫しており、価格も高騰している。そこで、魚油をどの程度低減代替が可能かを、マダイ稚魚を用いて検討した。その結果、三分の一程度はキャノーラ油等の植物油で代替できることがわかった¹⁴⁾。また、低塩分の飼育水でマダイを飼育するとマダイの必須脂肪酸であるDHAの代謝に関連する遺伝子の発現がみられ、魚体中のDHA含量が増加することがわかった¹⁵⁾。このように海水魚飼料においても、魚油を低減す

ることは可能であると思われた。しかしながらDHAの供給源として魚油に代わるものが必要である。最近、DHAを産生する微細藻類のシズキトリウム(オーランチオキトリウム)の大量培養が可能となり、それを乾燥したアルジーミール、そこから油分を抽出したアルジーオイルとして開発されている。そこで、植物性飼料原料の大豆油粕、濃縮大豆タンパク質、コーングルテンミールを主原料とし、アルジーミールを配合した無魚粉・無魚油飼料を調製し、マダイ稚魚に給餌した。その結果、魚粉と魚油を配合した飼料と同等の成長が得られた¹⁶⁾。また、同様の試験をブリにおいても実施中である。このように、魚粉と魚油を全く配合しなくても、海水魚に必要な栄養素を過不足なく配合し、栄養阻害物質の影響をできるだけ少なくすること、摂餌を活発にすることなどにより、海水魚においても成長させることができることがわかった。他の海水魚においても検討を重ねることにより、真のベジタリアン養殖魚の創成が可能と思われる¹⁷⁾。

4. まとめ

このように魚類の栄養要求・栄養素の代謝の知見を活かし、大豆やトウモロコシなどをもとにした飼料原料を組合せることにより、ベジタリアン養殖魚の創生が可能となった。ベジタリアン養殖魚の創生により得られるメリットは、次のようなことが考えられる。飼料の価格が安定する。養殖魚の味を調整できる。生態系に優しく、養殖場へのリンの負荷量が少なくなる。このようなメリットを生かし、今後は供給量が豊富で、価格の安定した飼料原料を用いて、魚粉主体飼料よりも優れた飼育成績の得られる飼料の開発が望まれる。そのためには、飼料原料の加工や処理方法の検討し、より利用性の高い新しい飼料原料の開発が必要である。

また、魚類は生息環境や食性によって栄養要求が異なる。この現象をさらに詳しく解明することで、それぞれの魚類に適した飼料の開発が可能となる。さらに、飼料開発と育種のタイアップも必要であろう。そして、魚類の栄養要求の差異の原因を究明することで、魚類の進化の謎に迫れるのではないかと期待している。また、最近、魚類ではないが、棘皮動物のウニをキャベツ等の野菜を給餌する事例が話題になっている。生殖巣の発達がよくないウニに

キャベツ等を給餌することにより生殖巣が発達することが報告されている。このウニの生殖巣は、えぐみの少ない味になるといわれている。このように、ベジタリアン養殖魚は価格が安定し、消費者の味覚にあわせた養殖魚となり、食卓を変えることが期待される。

参考文献

- 1) Watanabe T, Verakunpiriya V, Watanabe K, Kiron V, Satoh S. Feeding of rainbow trout with non-fish meal diets. *Fish. Sci.* 1997; 63: 258-266.
- 2) Watanabe T, Aoki H, Shimamoto K, Hadzuma M, Maita M, Yamagata Y, Kiron V, Satoh S. A trial to culture yellowtail with non-fish meal diets. *Fish. Sci.* 1998; 64: 505-512.
- 3) 舞田正志, 青木秀夫, 山形陽一, 渡邊哉子, 佐藤秀一, 渡邊 武. 無魚粉飼料を給餌したブリにみられた緑肝症について. *日本水産学会誌* 1997; 63: 400-401.
- 4) Goldstein L, Luer C, Blum P. Taurine accumulation by the heart of embryonic skates, *Raja eglanteria*. *J. Exp. Biol.* 1990; 150: 449-452.
- 5) King PA, Cha CJ, Goldstein L. Amino acid metabolism and cell volume regulation in the little skate, *Raja erinacea*, 2. Synthesis. *J. Exp. Biol.* 1980; 212: 79-86.
- 6) Yokoyama M, Takeuchi T, Park GS, Nakazoe J. Hepatic cystathionine sulfoxide decarboxylase activity in fish. *Aquacult. Res.* 2001; 32: 216-220.
- 7) Takagi S, Murata H, Goto T, Endo M, Yamashita H, Ukawa M. Taurine is an essential nutrient for yellowtail *Seriola quinqueradiata* fed non-fish meal diets based on soy protein concentrate. *Aquaculture* 2008; 280: 198-205.
- 8) 棚野元秀, 長野泰三, 佐藤秀一, 白鳥 勝, 植田 豊. ブリ養殖現場で確認した低魚粉飼料へのタウリン添加効果. *水産増殖* 2009 ; 57 : 595-600.
- 9) 前野幸二, 村瀬拓也, 平江多積, 柳 宗悦, 佐藤秀一, 合成タウリンを添加した魚粉低減飼料給餌によるカンパチの成長. *鹿水技研報* 2012 ; 3 : 21-33.
- 10) 青木秀夫, 松倉一樹, 山下浩史, 宮本敦史, 清水砂帆子, 金田典久, 興石友彦, 佐藤秀一, 石田典子. 出荷対象のマダイに対する低魚粉飼料の実用性. *水産増殖* 2017 ; 65 : 221-230.
- 11) I. Hanini, Md. S.A. Sarker, S. Satoh, Y. Haga, S. Corneillie, T. Ohkuma, and H. Nakayama. Effects of taurine, phytase and enzyme complex supplementation to low fish meal diets on growth of juvenile red sea bream *Pagrus major*. *Aquaculture Science*, 2013; 61(4), 367-375.
- 12) Lu F, Haga Y, Satoh S. Replacement of fish meal with rendered animal protein and plant protein sources on growth response, biological indices and amino acid availability of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Fish. Sci.* 2015; 81: 95-105.
- 13) 津崎龍雄, 吉田一範, 堀田卓朗, 中川雅弘, 山田真之, 佐藤秀一, 興石友彦, 前野幸二, 秋山敏男, 石田典子. 完全無魚粉化 extruded-pellet (EP) 飼料を用いたブリ *Seriola quinqueradiata* の長期飼育試験. *水産増殖* 2015 ; 63 : 29-38.
- 14) Huang SSY, Oo AN, Higgs DA, Brauner CJ, Satoh S. Effect of dietary canola oil level on the growth performance and fatty acid composition of juvenile red sea bream, *Pagrus major*. *Aquaculture* 2007; 271: 420-431.
- 15) Al-Amin Sarker Md, Yamamoto Y, Haga Y, Sarker MdSA, Miwa M, Yoshizaki G, Satoh S. Influences of low salinity and dietary fatty acids on fatty acid composition and fatty acid desaturase and elongase expression in red sea bream *Pagrus major*. *Fish. Sci.* 2011; 77: 385-396.
- 16) T.G. Seong, H. Matsutami, Y. Haga, R. Kitagima, S. Satoh, First step of non-fish meal and non-fish oil diet development for red seabream, (*Pagrus major*), with plant protein sources and microalgae *Schizochytrium* sp. 2019; *Aquaculture Research*, 50, in press. DOI - 10.1111/are.14199
- 17) 佐藤秀一, ベジタリアン養殖魚の創生一魚を含まない餌づくりへの挑戦, 2019 ; 現代化学, 578, 43-45.