

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22380116

研究課題名(和文)新しい養魚用無魚粉飼料の開発に関する基礎的研究

研究課題名(英文)Studies on development for new non-fish meal feed for aquaculture

研究代表者

佐藤 秀一 (Sato, Shuichi)

東京海洋大学・海洋科学技術研究科・教授

研究者番号：80154053

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,000,000円、(間接経費) 4,500,000円

研究成果の概要(和文)：世界の養殖魚生産量の増加に伴い、養魚飼料の主原料となる魚粉の需要が高くなっている。しかし、魚粉の原料魚の資源保護等の為、生産量は増加できない状況である。そこで、魚粉に頼らない無魚粉飼料の開発を目指した。植物性飼料原料の大豆油粕、濃縮大豆タンパク、コーングルテンミール、アミノ酸キレート亜鉛、麹菌発酵物、オキアミミール、カツオペプチド等を配合した無魚粉飼料を作製し、マダイ、ニジマス、ブリに給餌した結果、魚粉主体飼料と同等の飼育成績が得られることを確認した。今後はさらに効率のよい、配合率、飼料原料の探索ならびに魚油に代わる油脂源の探索が重要であると思われる。

研究成果の概要(英文)：According to a global expansion of aquaculture sector, the demand of fish meal as main ingredient of fish feed has increased. However, the production of fish meal could not increase due to conservation of material fishes. Therefore, this project was conducted to develop the non-fish meal feed for aquaculture. Non-fish meal feed was formulated with defatted soybean meal, soy protein concentrate, corn gluten meal, amino acid-chelated zinc, solid state fermentation, krill meal, bonito extract, and was fed to red sea bream, rainbow trout, yellowtail. The fish fed non-fish meal feed showed almost identical feed performance same as to that on fish meal based feed. This project demonstrated that it is important to investigate more efficient formulation and ingredient and also lipid source substituting fish oil.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：応用水圏科学・水圏生命科学

キーワード：養魚飼料 無魚粉飼料 植物性飼料原料 穀物蒸留粕

### 1. 研究開始当初の背景

世界の養殖魚(甲殻類も含める)生産量は年々増加し続けており10年前(1997)の1,150万トンから2007年には2,570万トンへと倍以上に発展している。中でも給餌養殖の生産量は1997年の565万トンから2007年の1660万トンへと3倍にも増加している。そして2015年にはその倍の3160万トンへ、さらに2020年には4560万トンへと増産されると予測されている。それに伴い、養魚飼料の供給量も増大している。一方、飼料の原料は動物性原料と植物性原料がある。陸上の家畜には主に植物性原料が用いられている。一方、養殖魚の多くは魚食性の魚のため、動物性原料が多く用いられてきた。特に養魚飼料では魚粉が主な原料となる。その魚粉の原料となるのは、イカナゴ、タカクチイワシ、マイワシ、アジ、サンマ、サバなどの安価な多獲性魚類である。魚粉を多量に配合した飼料を今まで以上に製造することは、これら多獲性魚類、それ自体の資源量を減少させるだけではなく、それらを餌としているより高度な動物、すなわち海獣類および鳥類等の餌をも奪うこととなる。現在の形態では、最も効率のよい配合飼料を用いた場合でも海水魚を1kg増重するのに、約5kgの原料魚が必要であると計算されている。これでは、水産養殖は海洋環境にやさしい産業とは言えない。その観点からも、魚粉すなわち多獲性魚類に依存した養殖から脱却する必要がある。そこで、魚粉に頼らない無魚粉飼料によるヴェジタリアン養殖魚の創生に必要な基礎的知見の集積を行う。元来、養殖対象魚は魚食性魚(piscivorous fish)がほとんどであり、それを植物性の原料のみからなる飼料で海水魚を飼育すると、タウリンやドコサヘキサエン酸(DHA)欠乏症などの種々の栄養傷害がでることが報告されている。以前は、動物性飼料原料を用いて、低魚粉飼料の開発を行っていたが、本研究はそれらとは全く異なる真の無魚粉飼料を開発し、ヴェジタリアン養殖魚の創生を図り、これからの水産養殖の行くべき方向性を考察する。

### 2. 研究の目的

真の無魚粉飼料の開発を行い、ヴェジタリアン養殖魚の創生をめざす。このために、養殖生産量の高いブリおよびマダイを対象魚種とし、両魚種における各種植物性タンパク質原料{大豆油粕(SBM)、大豆タンパク濃縮ミール(SPC)、コーングルテンミール(CGM)、ナタネ油粕(キャノーラミール, CM)}の利用性を詳細に検討する。同時に遺伝子組換え作物由来の飼料原料の安全性と利用性を検討する。さらに、植物性飼料原料の利用性向上を検討するとともに、タウリンとメチオニン等の含硫アミノ酸の相互作用を検討し、魚類におけるアミノ酸代謝を解明する。また、無魚粉飼料給餌による免疫機能に及ぼす影響

を検討するとともに、遺伝子発現に及ぼす影響についても詳細に検討する。このように、全く動物性飼料原料を用いない真の養魚用無魚粉飼料の開発とその飼料を摂餌した魚に及ぼす影響を検討し、地球環境にやさしい水産養殖業を営むためのヴェジタリアン養殖魚創生のための基礎知見の総合的集積を目的とした。

本研究の成果により、無魚粉飼料の開発が可能となれば、養魚飼料の安定供給やコストダウンを図ることができ、「天然の安価な魚から高級魚をつくる」養殖形態から、「真の環境にやさしい養殖」に脱却できるものと確信される。

### 3. 研究の方法

養魚用無魚粉飼料を開発する為には、重要な点がいくつかある。魚粉代替タンパク質の探索、必須アミノ酸の添加、タウリンの必要量、摂餌誘因、栄養阻害物質による影響の軽減、さらに遺伝子組換え飼料原料の影響等である。本研究では、それらの要因について個々に検討し、養魚用無魚粉飼料の開発を行った。以下のその方法を述べる。

- (1) 魚粉代替飼料原料としては、大豆油粕やコーングルテンミールが有力な候補であるが、その他のものとして、トウモロコシ由来の高タンパク穀物蒸留粕、トウモロコシ濃縮タンパク質、チキンミール、イエバエミール等の利用性をニジマス、マダイを用いて検討した。
- (2) 大豆等の植物性の飼料原料を用いるとメチオニンが制限アミノ酸になる。そこで、数種のメチオニン剤の利用性をニジマスを用いて検討した。
- (3) 魚粉に代わるタンパク質源として最も有望な原料は、植物性の飼料原料であるが、それらのほとんどは現在、遺伝子組換え作物由来のものである。そこで、それらに組換えた遺伝子の影響、すなわちニジマス、ティラピアおよびコイが飼料として摂取した後の遺伝子の変化を検討した。
- (4) 植物性タンパク質には、魚類にとって栄養阻害物質となるフィチン等が含まれている。それらの影響を低減化するために分解酵素を飼料に添加し、その効果をマダイおよびニジマスで検討した。
- (5) 飼料中の魚粉配合を低下し、植物性飼料原料の割合を増加すると、魚類、特にニジマス、ブリ等の肉食性の魚類では摂餌率が低下することが知られているので、摂餌誘因物質となる原料の探索を行った。

### 4. 研究成果

- (1) トウモロコシ由来の穀物蒸留粕は、マダイやニジマスにおいて、今までトウモロコシ原料として最も多く使われているコーングルテンミールと同様の飼育成績を示した。また、トウモロコシ濃縮タ

ンパク質は、ニジマスにおいて若干、利用性が劣ったが、マダイにおいては同様の飼育成績が得られた。これらのことから、大豆よりも世界的に生産量の多いトウモロコシ由来のタンパク原料は大変有望な魚粉代替原料であることがわかった。

- (2) メチオニン剤としての dl-メチオニンとメチオニン水酸化物の有効性をニジマスを用いて検討した結果、どちらの物質もメチオニンとしての効力は同等であることがわかった。また、メチオニンの代謝産物であるタウリンは、その代謝能のあるニジマスでは、必要とはしないが、添加することにより摂餌が誘引され、摂餌料が増加することがわかった。このことにより、魚粉代替飼料では成長が改善される。
- (3) 遺伝子組換え大豆由来の大豆油粕を配合した飼料を摂餌したコイ、ティラピアやニジマスにおける組換え遺伝子の消化、吸収および各組織における発現に関して検討した。組換え遺伝子は魚類の消化管内で消化はされるものの、環境水温の影響を受け、低水温では高水温環境に比較し消化されにくいことが明らかとなった。消化されなかった組換え遺伝子は消化管から吸収されて、各種臓器に運搬されるが数日で消失することがわかった。また、組換え遺伝子以外の遺伝子も、各種臓器で検出されることがわかった。これらのことより、組換え遺伝子は魚類の消化管内で完全には消化されず吸収され、各種臓器に運ばれるが、数日で検出されなくなることより、組換え遺伝子が魚類内で留まることはなく、遺伝子組換え作物由来の飼料原料を配合した飼料を用いてもなんら問題はないことを明らかにした。
- (4) 植物性飼料原料を配合した飼料へ、フィチン分解酵素のフィターゼやタンパク質分解酵素のプロテアーゼおよび炭水化物分解酵素を含んだ麹菌発酵物を添加し、マダイ、ニジマスに給餌した。その結果、マダイでは水温が 20 以上の場合は、麹菌発酵物を添加した区で飼育成績が改善された。一方、水温が 20 以下に下がると麹菌発酵物の添加効果はみられなかった。また、ニジマスでは、水温が 15 付近であった為、麹菌発酵物の添加効果はみられなかった。このように、魚類の育成温度により、酵素の添加効果が異なることがわかった。
- (5) 無魚粉飼料へ、オキアミミール、カツオペプチド、魚腸骨液等の原料を摂餌誘因物質として添加した飼料をブリに給餌した結果、いずれも効果がみられた。オキアミミールは添加量が多くなるとその効果は強くないので、カツオエキスまたは魚腸骨液が無魚粉飼料には適して

いることがわかった。

- (6) 以上の結果を総合し、濃縮大豆タンパク質、大豆油粕、コーングルテンミール、ポークミール、フェザーミールおよび血粉、タウリン、アミノ酸キレート亜鉛、麹菌発酵物、カツオペプチドを配合した飼料をブリに給餌した結果、魚粉飼料と遜色のない飼育成績が得られた。これらのことより、無魚粉飼料の開発が可能であると推察された。今後は、魚油にかわる脂質源の探索を行い、無魚粉・無魚油飼料の開発が期待される。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 8 件)

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*, 査読有, 61(4),2013, 367-375.

R.E.Kitajima, Y.Haga, I.Hirono, and S.Satoh, Cauliflower mosaic virus 35S plant promoter from GM soybean can drive gene expression in Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* cells in vitro and in vivo, *Aquaculture Nutrition*, 査読有, 19, 2013, 122-134.Doi:10.1111/anu.12074

N.Prachom, Y.Haga, and S.Satoh, Impact of dietary high protein distillers dried grains on amino acid utilization, growth response, nutritional health status, and waste output in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Aquaculture Nutrition*, 査読有, 2013, 19, 62-71.Doi:10111/anu12049

S.Boonyoung, Y.Haga, S.Satoh, Preliminary study on effects on methionine hydroxyl analog and taurine supplementation in a soy protein concentrate-based diet on the biological performance and amino acid composition of rainbow trout [*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)], *Aquaculture Research*, 査読有, 44, 2013, 1339-1347. Doi:10.1111/j.1365-2109.2012.03138

Md. S. A. Sarker, S. Satoh, K. Kamata, Y.Haga, and Y.Yamamoto, Partial replacement of fishmeal with plant protein sources using organic acids to

practical diets for juvenile yellowtail, *Seriola quinqueradiata*, Aquaculture Nutrition, 査読有, 2012, 18, 81-89. Doi:10.1111/j.1365-2095.2011.00880

Md. S. A. Sarker, S. Satoh, K.Kamata, Y.Haga, and Y.Yamamoto, Supplementation effect of organic acids and/or lipid to plant protein based diets on juvenile yellowtail, *Seriola quinqueradiata* Temminck et Schlegel 1845, growth and, nitrogen and phosphorus excretion, Aquaculture Research, 査読有, 2012, 43, 538-545. Doi:10.1111/j.1365-2109.2011.02859.x

I.Suharman, S.Satoh, Y.Haga, I.Hirono, and T.Aoki, Suitability of genetically modified soybean meal in dietary ingredient for common carp, *Cyprinus carpio*, Fisheries Science, 査読有, 2010, 76(1), 111-117. Doi: 10.1007/s12562-009-0183-0

R.Omata, K.Kikuchi, H.Sugita, and S.Satoh, Inclusion of blue mussels and amino acids in the fish and defatted soybean meals based diet for tiger puffer *Takifugu rubripes*, Aquaculture Science, 査読有, 2010, 58, 147-150. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/aquaculturesci/58/1/58\\_147/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/aquaculturesci/58/1/58_147/_pdf)

[学会発表](計 18件)

F.Lu, S.Satoh, and Y.Haga, Effect of replacement of fish meal by poultry by-product meal, feather meal and blood meal on growth response of rainbow trout, 平成 26 年度日本水産学会春季大会, 2014 年 3 月 28 日, 函館

S.Satoh, S.Iino, Y.Haga, K.Matsukura, M.Funaki, S.Corneillie, Development of non-fish meal feed for marine fishes. get out of fish meal trap, Aquaculture 2013, 2013 年 11 月 6 日, Las Palmas, Gran Canaria, Spain

F.Lu, S.Satoh, and Y.Haga, Effect of rendered animal protein and plant protein sources on amino acid availability, growth response in rainbow trout, 平成 25 年度日本水産学会秋季大会, 2013 年 9 月 20 日, 津

津崎龍雄, 堀田卓郎, 吉田一範, 中川雅弘, 輿石友彦, 山田真之, 佐藤秀一, 石田典子, 無魚粉 EP 飼料を用いたブリの海上生簀飼育試験, 平成 25 年度日本水産学会春季大会, 2013 年 3 月 27 日, 東京

松倉一樹, 飯野翔太, 芳賀 穰, S.Corneillie, 舟木 緑, 中尾貴尋, 佐藤秀一, 低・無魚粉飼料によるマダいの飼育と麹菌発酵物の添加効果, 平成 25 年度日本水産学会春季大会, 2013 年 3 月 27 日, 東京

I.Hanini, S.Satoh, Y.Haga, Effect of deary corn protein concentrate (CPC) on growth response of juvenile red sea bream (*Pagrus major*), 平成 25 年度日本水産学会春季大会, 2013 年 3 月 27 日, 東京

N. Prachom, Y.haga, S.Satoh, Nutritional assesment of high protein distillers dried grains in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*; influence on growth, feed utilization, haematological conditions, and waste output, 平成 25 年度日本水産学会春季大会, 2013 年 3 月 27 日, 東京

N.Prachom, Y.Haga, S.Satoh, Nutritional assessment of corn protein concentrate in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* :Influence on amino acid availability and plasma free amino acid, 平成 25 年度日本水産学会春季大会, 2013 年 3 月 27 日, 東京

F. Lu, S.Satoh, Y.Haga, Replacement of fish meal with rendered animal protein and plant protein sources on growth and biological performance of rainbow trout, 平成 24 年度日本水産学会秋季大会, 2012 年 9 月 16 日, 下関,

N.Prachom, Y.Haga, S.Satoh, Nutritional evaluation of corn protein concentrate in low fish meal diets for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, 平成 24 年度日本水産学会秋季大会, 2012 年 9 月 16 日, 下関

S.Boonyoung, Y.Haga, and S.Satoh, Growth, physiological response, nutrient utilization and estimated waste output in rainbow trout fed non fish meal diets with methionine hydroxy analog, taurine and phytase supplementation, The 15 International Symposium on Fish Nutrition and Feeding, 2012 年 6 月 4 日, Molde, Norway.

I.Suharman, S.Satoh, R.Kitajima, Y.Haga, M.Endo, and I.Hirono, Detection of transgenic and endogenous plant DNA in blood and organs of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed a diet formulated with genetically modified soybean meal, The 15 International Symposium on Fish Nutrition and Feeding, 2012 年 6 月 7 日, Molde, Norway.

I.Hanini, S.Satoh, Y.Haga, and S.Corneillie, Effect of high protein distillers dried grains (DDG) formulation and enzyme complex supplementation in low fish meal diet in red sea bream (*Pagrus major*), The 15 International Symposium on Fish

Nutrition and Feeding, 2012年6月5日,  
Molde, Norway.

N. Prachom, Y. Haga, S. Satoh, High  
protein distillers dried grains as  
potential ingredient in low fish  
meal-based diets for rainbow trout  
(*Oncorhynchus mykiss*), The 15  
International Symposium on Fish  
Nutrition and Feeding, 2012年6月5日,  
Molde, Norway.

S.Boonyoung, S.Satoh, Y.Haga,  
Bioavailability and utilization of  
DL-methionine and methionine  
hydroxy analogue in rainbow trout  
*Oncorhynchus mykiss*, 平成 24 年度日  
本水産学会春季大会,2012 年 3 月 27 日,  
東京

松倉一樹,佐藤秀一,松原秀行,芳賀 穰,  
マダイ用低・無魚粉飼料への酵素混合物  
の添加効果,平成 23 年度日本水産学会  
春季大会,2011 年 9 月 11 日,長崎

S.Boonyoung, S.Satoh, Y.Haga, Effect  
of methionine hydroxy analogue,  
taurine and phytase supplementation  
to non fish meal diet for rainbow trout  
*Oncorhynchus mykiss*, 平成 23 年度日  
本水産学会春季大会,2011 年 10 月 1 日,  
長崎

F.Lu, S.Satoh, Y.Haga, T.Wakayama,  
K.Yamaguchi, T.Akiyama, Evaluation  
of maggot meal inclusion as animal  
protein in the diets of rainbow trout  
fingerlings, 平成 23 年度日本水産学会春  
季大会,2011 年 10 月 1 日,長崎

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

佐藤 秀一 ( SATOH SHUICHI )

東京海洋大学大学院・海洋科学技術研究  
科・教授

研究者番号：80154053

### (2)研究分担者

廣野 育生 (HIRONO IKUO)

東京海洋大学大学院・海洋科学技術研究  
科・教授

研究者番号：00270926

芳賀 穰 (HAGA YUTAKA)

東京海洋大学大学院・海洋科学技術研究  
科・准教授

研究者番号：00432063

二見 邦彦 (FUTAMI KUNIHICO)

東京海洋大学大学院・海洋科学技術研究  
科・助教

研究者番号：0513249