

| 学 位 論 文 要 旨  |  |
|--|--|
| 氏 名  | モハマド アブドル カデル  |
| 題 目  | 海産養殖魚における魚粉代替タンパク質に関する研究<br>(Studies on Alternative Protein Sources for Fishmeal in Cultured Marine Species) |
| <p>今後の海面養殖業の発展のためには、価格と供給が不安定な魚粉が養魚飼料に占める割合を減らすことが不可欠である。本研究では、魚粉に替わりうる素材を用いて、海産魚の成長に及ぼす効果を検討した。</p> <p>まず、海産物の加工時に発生するホタテまたはイカ加工副産物と大豆油粕を混合し発酵させた大豆油粕ホタテ発酵物(FSSc, 混合比3:2)、大豆油粕イカ発酵物(FSSq, 混合比1:1)を用いて、マダイおよびヒラメに対する効果を調べた。魚粉タンパク質の15、30、45、及び60%をFSScで代替した試験飼料をマダイに45日間給餌した結果、15および30%代替区は魚粉単独飼料と同等の増重率と日間成長率を示した。また、FSSqを用いたヒラメに対する飼育試験(代替率:12、24、36、48%)でも36%代替区までが魚粉単独飼料とほぼ同等の成長を示した。代替率が増加するにつれて、成長が低下する傾向がみられたもののFSScとFSSqは有望な代替素材であり、マダイとヒラメ飼料中の魚粉を30%または36%削減可能であることを明らかにした。</p> <p>次に低魚粉飼料の栄養価改善を目的として、魚粉タンパク質の60%を代替タンパク質で置き換えた試験飼料を用いて、マダイの成長に及ぼす効果を検討した。試験区は、濃縮大豆タンパク(SPC)単独区(SP)、SPC+2.5%結晶アミノ酸区(SPAA)、SPC+10%フィッシュソルブル区(SPFS)、SPC+10%オキアミ粉末区(SPKM)、SPC+イカ粉末区(SPSM)、SPCにFS、KM、SMをそれぞれ5%ずつ添加した試験区(SPMX)および魚粉単独区の計7区を設定した。56日間の飼育試験の結果、SPMXとSPFSは魚粉単独区に比べ有意に高い成長を示したことから、植物性タンパク質にFS、KMやSMを併用することで飼料の栄養価を改善できることを明らかにした。</p> <p>これまでの結果を基に、FS、FSSc、FSSq混合物(2:1:1)あるいは脱殻大豆粕ミール(DSM)を用いた2種類の無魚粉飼料を作製した。FS、FSSc、FSSq混合物にはKMとSMを添加し、DSMにはFS、KMおよびSMを添加した。それぞれの無魚粉飼料を用いて魚粉単独飼料及び市販養魚飼料を対照区として、56日間のマダイ稚魚の飼育試験を行った結果、魚粉タンパク質の80%を代替可能であることが明らかになった。</p> <p>以上の結果から海産物加工副産物と大豆粕を混合した発酵物は、養魚飼料における魚粉の低コストかつ栄養バランスのとれた新規代替素材として優れていることが明らかになった。また、FS、KMおよびSMはアミノ酸の補足に適した素材であり、摂餌誘引効果も高いことを示した。</p> <p>本研究によって、低コストの副産物と大豆タンパク質を用いて魚粉添加量を減らした養魚飼料の開発が可能であり、養殖魚の生産コストの大きな部分を占める飼料コストの削減が可能であることが示唆された。</p> |  |

## 学 位 論 文 要 旨

氏 名

MD. ABDUL KADER

題 目

Studies on Alternative Protein Sources for Fishmeal in Cultured Marine Species  
(海産養殖魚における魚粉代替タンパク質に関する研究)

The success of the further expansion of aquaculture industry will depend in part on reduction in fishmeal use in aquafeed because of its increasing demand, unstable supply and high price. There is need, therefore, to look for sustainable alternatives. This research work was conducted to evaluate the effects of several alternative proteins in the performances of marine fish and find out cost-effective approaches to maximize the utilization of alternative proteins in aquafeeds.

Seafood processing by-products are potential alternative to FM in aquafeed. Soybean meal was mixed with scallop by-products and squid by-products at the ratio of 3:2 and 1:1 respectively, and fermented with combined bacteria (predominantly *Bacillus spp*) to prepare fermented soybean meal and scallop by-product blend (FSSc), and fermented soybean meal and squid by-product blend (FSSq). Two batches of diets were prepared by replacing 15, 30, 45 and 60, and 12, 24, 36 and 48% of fishmeal protein with FSSc and FSSq, and fed to red sea bream (*Pagrus major*) and Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) for 45 and 56 days respectively. The results demonstrated that weight gain (%) and specific growth rate (SGR, % day<sup>-1</sup>) of fish were not significantly ( $P > 0.05$ ) different among control, 15 and 30% FSSc containing diets in red sea bream and control, 12, 24 and 36% FSSq containing diets in Japanese flounder. Feed efficiency ratio (FER) and protein efficiency ratio (PER) were also followed the similar trend as with growth performances of fish. However, growth and feed utilizations were significantly ( $P < 0.05$ ) decreased in fish fed higher levels of fermented products in both the cases. In conclusion, the approach of utilizing fermented products is promising and it could replace at least 30 and 36% fishmeal protein in red sea bream and Japanese flounder diets respectively while ensuring performances of fish.

Second stage of the study was aimed to investigate an approach for improving the utilization of alternative proteins in low fishmeal diets. Diets were prepared by replacing 60% fishmeal protein as follows: soybean protein concentrate (SPC) alone (SP); SPC with 2.5% crystalline amino acids (CAA) (SPAA); SPC with 10% fish soluble (FS) (SPFS); SPC with 10% krill meal (KM) (SPKM); SPC with 10% squid meal (SM) (SPSM) and SPC with a mixture (total 15%) of FS, KM and SM each at 5%, respectively (SPMX). The control diet was fishmeal based diet (FM). Diets were fed to juvenile red sea bream for 56 days. Results showed that weight gain (%) and SGR of fish were both significantly lower in fish fed SP, but those parameters recovered when fed diets with supplementation of ingredients used in the study. The fastest growth was found in fish fed SPMX, followed by SPFS, which values were not significantly different ( $P > 0.05$ ) each other, and those groups grew significantly faster than FM. It can be concluded that supplementation of FS, KM and SM are as effective as CAA to maintain amino acids balance and can act as attractants in high plant protein based diet for maintaining normal feeding behavior, growth performance and health or welfare of juvenile red sea bream.

Based on the earlier findings, two types of non fishmeal diets were formulated by gradually replacing fishmeal with a blend of FS, FSSc and FSSq (2:1:1), and dehulled soybean meal (DSM) respectively. Diets were supplemented with KM and SM for blend, and FS, KM and SM for DSM, respectively. A commercial diet was also used as a reference diet. Two experiments were conducted independently with juvenile red sea bream for 56 days. It was found that 80% fishmeal protein could be replaced by blend and surprisingly fishmeal could be completely eliminated by DSM without any negative effects on the performances of juvenile red sea bream.

The overall findings of the research suggest that blend of seafood by-product and soybean meal, and subsequent fermentation is an efficient technology to produce new, cost-effective and comparatively balanced dietary ingredients which could partially replace FM from the diets of marine fish. FS, KM and SM are effective supplements with alternative proteins to complement amino acids and act as attractants. A blend of marine by-products and soybean meal is effective to replace at least 80% fishmeal protein from red sea bream diet while ensuring performances as well as quality. Further, supplementation of small amount of marine by-products with soybean protein could completely replace fishmeal from red sea bream diet. The increasing use of lower cost by-products and soybean proteins will allow for a significant reduction on the cost of the feeds as costly fishmeal are removed from the formulations, or at least used at more efficient levels.

| 学位論文審査結果の要旨   |  |
|---|--|
| 学位申請者<br>氏 名  | モハマド アブドル カデール   |
| 審査委員  | 主査 鹿児島大学 教授 越塩 俊介  |
|   | 副査 鹿児島大学 教授 門脇 秀策  |
|   | 副査 鹿児島大学 准教授 侯 徳興  |
|   | 副査 鹿児島大学 教授 杉元 康志  |
|   | 副査 鹿児島大学 教授 山本 淳   |
| 審査協力者   |  |
| 題 目   | 海産養殖魚における魚粉代替タンパク質に関する研究<br>(Studies on Alternative Protein Sources for Fishmeal in Cultured Marine Species) |
| <p>食料の安定的な供給のためには、海面養殖の発展が不可欠であり、価格の高騰と不安定な供給が問題となっている魚粉の使用量を削減した配合飼料の開発が必要である。本研究では、魚粉に代替可能な可能性を有する飼料素材を用いて、海産魚の成長に及ぼす効果を検討している。</p> <p>まず、海産物の加工時に発生するホタテまたはイカ加工副産物と大豆油粕を混合し発酵させた大豆油粕ホタテ発酵物 (FSSc, 混合比 3:2)、大豆油粕イカ発酵物 (FSSq, 混合比 1:1) を用いて、マダイおよびヒラメに対する効果を調べている。魚粉タンパク質の 15, 30, 45, 及び 60% を FSSc で代替した試験飼料をマダイに 45 日間給餌した結果、魚粉を削減しても魚粉単独飼料と同等の増重率と日間成長率を示すことを明らかにした。また、FSSq を用いたヒラメに対する飼育試験 (代替率: 12, 24, 36, 48%) でも 36% 代替区までが魚粉単独飼料とほぼ同等の成長を示すことを確かめている。代替率が増加するにつれて、成長が低下する傾向があるものの FSSc と FSSq は有望な魚粉代替素材であり、マダイとヒラメ飼料中の魚粉を 30% または 36% 削減可能であることを明らかにした。</p> |  |

次に低魚粉飼料の栄養価改善を目的として、魚粉タンパク質の60%を代替タンパク質で置き換えた試験飼料を用いて、マダイの成長に及ぼす効果を検討している。試験区は、濃縮大豆タンパク(SPC)単独区(SP), SPC+2.5%結晶アミノ酸区(SPAA), SPC+10%フィッシュソルブル区(SPFS), SPC+10%オキアミ粉末区(SPKM), SPC+イカ粉末区(SPSM), SPCにFS, KM, SMをそれぞれ5%ずつ添加した試験区(SPMX)および魚粉単独区の計7区を設定した。56日間の飼育試験の結果, SPMXとSPFSは魚粉単独区に比べ有意に高い成長を示したことから, 植物性タンパク質にFS, KMやSMを併用することで飼料の栄養価を改善できることを明らかにした。

さらに実験で得られた結果を基に, FS, FSSc, FSSq混合物(2:1:1)あるいは脱殻大豆粕ミール(DSM)を用いた2種類の無魚粉飼料を作製し, マダイ稚魚に対する効果を確認している。FS, FSSc, FSSq混合物にはKMとSMを添加し, DSMにはFS, KMおよびSMを添加した2種類の無魚粉飼料を用いて魚粉単独飼料及び市販養魚飼料を対照区として, 56日間のマダイ稚魚の飼育試験を行った結果, 魚粉タンパク質の80%を代替可能であることが明らかにした。

以上の結果から海産物加工副産物と大豆粕を混合した発酵物は, 養魚飼料における魚粉の低コストかつ栄養バランスのとれた新規代替素材として優れていることが明らかになった。また, FS, KMおよびSMはアミノ酸の補足に適した素材であり, 摂餌誘引効果も高いことを示した。

本研究によって, 低コストの副産物と大豆タンパク質を用いて魚粉添加量を減らした養魚飼料の開発が可能であり, 養殖魚の生産コストの大きな部分を占める飼料コストの削減が可能であることが示唆している。

本研究は, 低魚粉配合飼料開発のための食品製造副産物, 植物性素材の有効利用について重要な知見を提示しているだけでなく, 無魚粉配合飼料の可能性も示唆しており, 魚類養殖の発展に大きく寄与するものと期待できる。

以上の理由から, 本論文は博士(水産学)の学位論文として価値を十分満たしていると考えられる。

| 最終試験結果の要旨  |                   |
|--|-------------------|
| 学位申請者<br>氏 名   | モハマド アブドル カデール    |
| 審査委員   | 主査 鹿児島大学 教授 越塩 俊介 |
|  | 副査 鹿児島大学 教授 門脇 秀策 |
|  | 副査 鹿児島大学 准教授 侯 徳興 |
|  | 副査 鹿児島大学 教授 杉元 康志 |
|  | 副査 鹿児島大学 教授 山本 淳  |
| 審査協力者  |                   |
| 実施年月日  | 平成23年 1月 12日      |
| 試験方法 (該当のものを○で囲むこと。)   |                   |
| (口答)・筆答  |                   |
| <p>主査及び副査は、平成23年1月12日の公開審査会において学位申請者に対して、学位申請論文の内容について説明を求め、関連事項について試問を行った。具体的には別紙のような質疑応答がなされ、いずれも満足できる回答を得ることができた。</p> <p>以上の結果から、審査委員会は申請者モハマド アブドル カデールが博士(水産学)の学位を受けるに必要な十分の学力ならびに識見を有すると認めた。</p> |                   |

|   |                |
|---|----------------|
| 学位申請者<br>氏名   | モハマド アブドル カデール |
| <p>[質問1] 第3章でd-ROMとBAPを測定しているが、測定する意味と測定の原理は何か。何を測定しているのか。</p> <p>[回答1] d-ROMは、フリーラジカルなどの酸化ストレスの度合いを、BAPは抗酸化力を示す。測定には市販のキットを使用したため測定原理は説明できない。</p> <p>[質問2] ホタテやイカ残渣と脱脂大豆粕の発酵物を使用しているが、大豆自体も価格の上昇や供給に問題があるのではないか。</p> <p>[回答2] これまで脱脂大豆を魚粉代替素材として使用した例が多く、比較のために使用した。他の植物性素材も応用できると思われるが、現時点では日本で入手しやすいのは大豆粕である。</p> <p>[質問3] 発酵素材を使用する利点は何か。</p> <p>[回答3] 一つは発酵処理によって植物性素材中の抗栄養因子が減少する。また、海産物加工副産物は水分が多いため飼料素材に使用するためには乾燥の工程が必要であり処理コストがかかる。発酵過程では発酵熱により温度が80度前後まで上昇するので副産物の乾燥が同時に行え、乾燥工程のコストが削減できるからである。</p> <p>[質問4] 発酵後に品質の変化はあるのか。</p> <p>[回答4] 魚粉代替率は、マダイでは発酵大豆粕が50%、大豆粕では30%である。大豆粕を長期間投与すると抗栄養因子が消化器官の組織に影響を与えることが報告されている。発酵処理により抗栄養因子が減少していると考えられる。</p> <p>[質問5] 発酵処理に用いたバクテリアはどのようなものか。</p> <p>[回答5] 特許に関連するので答えられない。</p> <p>[質問6] 栄養素の消化吸収率測定法は。</p> <p>[回答6] 成長試験後に残った試験魚を各試験区2水槽に分け、酸化クロム添加飼料を与えて2週間飼育後、糞の採取を開始した。糞は給餌後3時間のものを回収した。</p> <p>[質問7] 魚粉代替率と消化吸収率は水温の影響を受けるのではないか。水温が変化した場合、代替率への影響はどのように考えられるか。</p> <p>[回答7] 本研究を実施した時の水温は22~28度で、同じ条件で飼育し比較している。夏期の高水温期は成長が早いので水温の代替率への影響は低いと考えられるが、冬期は水温が代替率に影響すると思われる。</p> <p>[質問8] C/P比の影響はないのか。</p> <p>[回答8] 熱量、粗タンパク質量及び脂質含量はほぼ同じになるよう飼料を設計したので試験区のC/P比はほぼ同じである。</p> <p>[質問9] 環境への窒素とリンの排泄はどうか。</p> <p>[回答9] 試験飼料にはリンを2%程度含有している。大豆粕の方がリン含量が低いので代替率が増加するとリンの排泄量は減らせると考えられる。試験魚のN蓄積率はほぼ同じであったので窒素排泄量は変わらないのではないかとと思う。</p> |                |

|  |                |
|--|----------------|
| 学位申請者<br>氏 名   | モハマド アブドル カデール |
| <p>[質問10] 魚粉代替率が増加するにつれて、成長が異なっている。代替率を判定するのに最も適した飼育期間はどのくらいであるか。</p> <p>[回答10] 今回は魚のサイズの関係で飼育期間は8週間で行った。一部の飼育実験は4カ月間実施したが成長の急激な変化などは観察されなかった。将来的には養殖レベルで検証したい。</p> <p>[質問11] 無魚粉飼料を投与しても性成熟はみられるのか。</p> <p>[回答11] 現時点ではよくわからない。成熟、繁殖期には高栄養価飼料を与えるべきだと思う。</p> <p>[質問12] ホタテ副産物はどのようなものか。</p> <p>[回答12] 殻を取り除き貝柱を取った残りの部分である。</p> <p>[質問13] 無魚粉飼料の長期給餌によって奇形などは生じないか。</p> <p>[回答13] 低魚粉飼料の長期給餌により消化管の異常は報告されているが、4カ月の飼育期間中に奇形魚の発生は観察されなかった。</p> <p>[質問14] 統計処理に一元分散分析を用いているが、サンプルは正規分布していると考えてよいのか。</p> <p>[回答14] 正規分布に従っていると考えている。</p> <p>[質問15] マダイやヒラメを試験魚に使用した理由は何か。</p> <p>[回答15] 2魚種とも日本で盛んに養殖されている。他の魚種についても調べる必要があると思う。</p> |                |