

ドライペレットからモイストペレットへの転換によるマダイ養殖飼料コストの削減効果

宮本敦史・土橋靖史

Effect of feed cost reduction by conversion from dry pellet to moist pellet
in cultured red sea bream *Pagrus major*

ATSUSHI MIYAMOTO AND YASUSHI TSUCHIHASHI

キーワード：マダイ，養殖，飼料コスト，モイストペレット

マダイ *Pagrus major* の養殖において、飼料は成長、肉質および健康状態などを左右する重要な要素である。マダイ養殖に用いられる飼料は、生餌からモイストペレット (MP) を経て、現在では固形配合飼料が主流となっている。常温で保存でき、自動給餌器による給餌が可能な固形配合飼料は、給餌作業の省力化を実現させた。固形配合飼料は、製造方法の違いによりエクストルーダーペレット (EP) とドライペレット (DP) に分類することができ、なかでも比較的安価な DP が広く普及している。

近年、固形配合飼料は主原料である輸入魚粉価格の高騰 (水産庁 2011) に伴い、価格が上昇している。マダイ養殖において、飼料にかかるコストは養殖コスト全体の約 60% を占めており (農林水産省 2011)、養殖漁家の経営改善を図る上で飼料コストの削減は避けられない状況である。輸入魚粉の価格は、原料魚の漁獲制限や諸外国の旺盛な需要により今後も高値で安定する可能性が高く、飼料コストを削減するためには魚粉に替わる原料を導入することで飼料原料に占める輸入魚粉の配合率を下げる必要がある。

魚粉代替原料に関する研究は、1990 年代の日本周辺海域におけるマイワシ漁獲量の減少を契機に進められてきた。マダイ養殖用飼料においても、大豆豆粕 (宇川ら 1994) やコーングルテンミール (高木ら 2000a) などの魚粉代替原料の有用性およびそれらの組み合わせに関する研究 (高木ら 2000b) が行われ、これまでも一定の低魚粉化が図られてきたが、近年の魚粉価格高騰の影響を回避するためには一層の低魚粉化による飼料コスト削減が必要である。しかし、新たに研究を行い、その成果に基づいて飼料メーカーが低魚粉飼料を開発、商品化するには相当の時間が必要である。一方、一般的な MP は原料の半分以上がイワシ類やサバなどの生魚であるた

め、DP から MP に転換するだけで飼料原料に占める魚粉の配合率を半分に抑えることができる。MP は、養殖漁家が自ら作製、あるいは地域の水産加工業者等から購入することができるため、DP から MP への転換は飼料の魚粉配合率を下げる対策として養殖漁家がすぐに着手できるものである。そこで、本研究では DP と MP をマダイに給餌して飼育成績を比較し、MP 給餌によりどの程度飼料コストが削減できるか検討した。また、魚体の一般成分や血液性状、血漿化学成分もあわせて検討し、飼料の違いが肉質や健康状態に与える影響を調べた。

材料および方法

試験飼料

カタクチイワシまたは小サバを市販のマダイ MP 用粉末配合飼料 (魚粉含有率 52%) とそれぞれ 1 : 1 の割合で混合し、総合ビタミン剤を外割で 1% 添加した 2 種類の MP (カタクチイワシ区、サバ区) を試験飼料として作製した。カタクチイワシ及び小サバは三重県内のまき網や定置網などで漁獲されているが、食品としての流通は少なく、従来より養魚用飼料原料として広く用いられているものである。対照区として市販のマダイ育成用 DP (魚粉含有率 43%) を用意した。各飼料の一般成分を Table 1 に示す。生魚を用いる MP は DP に比べ水分含量が高いため、乾物換算した値と比較すると、粗脂肪は DP の 12.3% に対し MP は 6.5 ~ 7.6% と低く、粗タンパク質は DP の 47.8% に対し MP は 55.0 ~ 55.7% と高かった。本研究に用いた飼料原料費 (消費税込み) はカタクチイワシおよび小サバは 57.7 円 /kg、粉末配合飼料 173.3 円 /kg、総合ビタミン剤 787.5 円 /kg であり、MP 1kg あたりの原料費は 122.1 円であった。対照区のマダイ育成用 DP は 189.0 円 /kg であった。

Table 1. Ingredient and proximate composition of the experimental diets for red sea bream

Ingredient	Dietary group		
	Anchovy MP	Mackerel MP	DP
Formula feed	50	50	100
Anchovy	50	0	0
Mackerel	0	50	0
Vitamin mixture	1	1	0
Proximate composition(%)			
Crude protein	32.0	33.2	43.3
Crude lipid	4.4	3.9	11.1
Crude ash	7.7	7.7	10.4
Moisture	41.8	40.4	9.4
Proximate composition(% dry matter basis)			
Crude protein	55.0	55.7	47.8
Crude lipid	7.6	6.5	12.3
Crude ash	13.2	12.9	11.5

供試魚および飼育方法

三重県尾鷲市大曾根地先の尾鷲湾に位置する海面生簀 (2.5 × 2.5 × 2.5m) 3面に69～70尾のマダイ (平均体重1,034.3～1,097.8g) を収容し, 週3日, 1日1回の頻度で試験飼料を飽食給餌させた。飼育期間は2011年6月27日から9月29日までの94日間とした。飼育期間中の水深2m層の水温は21.8～27.7℃で推移した。

飼育成績

飼育開始時および開始後1ヶ月ごとに, 5～7尾を1グループとして竿秤により0.05kg単位で魚体重を求め, 総魚体重を飼育尾数で除すことにより平均体重を求めた。なお, 9月上旬の台風12号通過に伴う約1,000mmの降雨のため試験魚が多数死亡したことから, 6月27日から8月29日までの63日間の飼育結果より飼育成績を求めた。

試料の採取および分析方法

飼育最終日の9月29日に各区から6尾を採取し, 背部筋肉および心臓, 腎臓を除く内臓の一般成分 (粗タンパク (背部筋肉のみ), 粗脂肪, 水分), 血液のヘマトクリット値および血漿化学成分 (総コレステロール, トリグリセリド, リン脂質) を分析した。マダイは採取の72時間前から絶食させ, 採取後は直ちにヘパリン処理した2.5mlプラスチックシリンジ (注射針19G) を用いて尾部血管から採血し, 冷蔵した。採血後のマダイは氷水で絞め, 魚体の一般成分分析部位を採取し, -20℃で凍結保存した。血液は採取後1時間以内に分析に供した。まずヘマトクリット値をマイクロヘマトクリット法により測定し, 残りの血液を遠心分離 (1,500 × g, 4℃, 5分間) して得た血漿を血漿化学成分の分析に供した。総コレステロールおよびトリグリセリドは血液化学自動分析

システム (SPOTCHEM SP-4430, アークレイ), リン脂質はコリンオキシダーゼ・DAOS法 (リン脂質C-テストワコー, 和光純薬) により分析した。魚体の一般成分については, 水分は常圧加熱乾燥法 (110℃), 粗タンパク質はケルダール法, 粗脂肪はジエチルエーテルを用いたソックスレー法で分析した。

統計処理

一般成分分析および血液検査で得られた各試験区の平均値は, Tukey-Kramerの多重比較検定により有意差を判定した。

結果

飼育成績

飼育成績をTable 2に示す。7月20日に台風6号が尾鷲近海を通過し, その後試験魚の死亡が散発的に発生した。死亡個体の体表にスレおよび膿瘍がみられ, 腎臓から *Edwardsiella tarda* が分離されたことから, 死因は波浪によるスレおよびエドワジエラ症によるものと考えられた。サバMP区に比べカタクチイワシMP区およびDP区の死亡率が高いが, 両区の生簀はサバMP区の沖側に位置しており, 波浪の影響をより強く受けたためと考えられた。

63日間の飼育における平均体重の増重量 (および増重率) はカタクチイワシMP区362.5g (35%), サバMP区315.8g (29%), DP区319.4g (29%) であり, カタクチイワシMP区はDP区に比べ優れた成長を示し, サバ

Table 2. Growth performance of red sea bream fed the experimental diets

		Dietary group		
		Anchovy MP	Mackerel MP	DP
Initial (Jun.27)	Number of fish	70	69	69
	Total body weight(kg)	72.4	74.2	75.8
	Average body weight(g)	1034.3	1074.6	1097.8
Midterm (Aug.1)	Number of fish	67	69	67
	Total body weight(kg)	80.8	83.7	84.6
	Average body weight(g)	1205.2	1213.0	1262.7
Final (Aug.29)	Number of fish	62	68	61
	Total body weight(kg)	86.6	94.6	86.5
	Average body weight(g)	1396.8	1390.4	1417.2
First term (35days)	Correction total body weight gain(kg)	11.7	9.5	11.2
	Average body weight gain(g)	170.9	138.4	164.9
	Total feeding amount(kg)	35.6	36.0	34.8
	Feed gain ratio	3.04	3.77	3.10
	Feed gain ratio(dry matter basis)	1.77	2.25	2.80
	Feed cost gain ratio(yen/kg)	371	460	586
	Mortality rate(%)	4.3	0.0	2.9
Second term (28days)	Correction total body weight gain(kg)	12.4	12.2	9.9
	Average body weight gain(g)	191.6	177.4	154.5
	Total feeding amount(kg)	39.5	39.5	31.6
	Feed gain ratio	3.20	3.25	3.19
	Feed gain ratio(dry matter basis)	1.86	1.94	2.89
	Feed cost gain ratio(yen/kg)	390	396	603
	Mortality rate(%)	7.5	1.5	9.0
Whole term (63days)	Correction total body weight gain(kg)	24.2	22.9	22.4
	Average body weight gain(g)	362.5	315.8	319.4
	Total feeding amount(kg)	75.1	75.5	66.4
	Feed gain ratio	3.11	3.30	2.97
	Feed gain ratio(dry matter basis)	1.81	1.97	2.68
	Feed cost gain ratio(yen/kg)	379	403	561
	Mortality rate(%)	11.4	1.4	11.6

MP区もDP区とほぼ同等の成長を示した。増重量および給餌量(湿重量)から算出した増肉係数はカタクチイワシMP区3.11, サバMP区3.30, DP区2.97であったが、乾物換算した給餌量をもとに増肉係数を算出したところ、カタクチイワシMP区1.81, サバMP区1.97, DP区2.68であり、両MP区はDP区に比べ優れた成績であった。魚体重を1kg増加させるのに必要な飼料コスト(増肉単価)はカタクチイワシMP区379円/kg, サバMP区403円/kg, DP区561円/kgであり、DP区に比べカタクチイワシMP区は32.4%, サバMP区は28.2%, 飼料コストを削減することができた。

魚体の一般成分

背部筋肉および内臓の一般成分をTable 3に示す。内臓の粗脂肪含量はDP区に比べ両MP区は有意に低く($p<0.01$), 粗脂肪と負の相関関係にある水分(植本ら1992)はDP区に比べ有意に高かった($p<0.01$)。一方、背部筋肉の一般成分には各試験区間で有意な差はみられなかった。内臓重量が魚体重に占める割合は、DP区は両MP区に比べ有意に高く($p<0.01$), 内臓重量および内臓の粗脂肪含量から算出した内臓脂肪重量が魚体重に占める割合も有意に高かった($p<0.01$) (Table 4)。

Table 3. Proximate composition(%) of dorsal muscle and viscera of red sea bream fed the experimental diets

	Dorsal muscle			Viscera		
	Dietary group			Dietary group		
	Anchovy MP	Mackerel MP	DP	Anchovy MP	Mackerel MP	DP
Crude protein	21.5±0.4	21.8±0.4	21.6±0.5	—*	—*	—*
Crude lipid	2.6±0.6	2.1±0.5	2.6±0.7	35.0±6.9 ^a	30.9±6.2 ^a	47.7±4.5 ^a
Moisture	74.8±0.8	74.6±0.6	74.2±0.8	52.5±5.9 ^a	56.0±5.2 ^a	42.0±3.4 ^b

Values are mean±standard deviation. Values of each parameter in the same row with different superscripts are significantly different($p<0.01$)
*No data

Table 4. Ratio of viscera weight(VW) or viscera lipid weight(VLW) in body weight(BW) of red sea bream fed the experimental diets

	Dietary group		
	Anchovy MP	Mackerel MP	DP
Viscera weight(g)	68.8±22.4	72.3±11.2	106.6±25.5
VW/BW ratio(%)	5.1±0.9 ^a	4.8±0.5 ^a	6.9±0.7 ^b
VLW/BW ratio(%)	1.83±0.65 ^a	1.51±0.44 ^a	3.30±0.52 ^b

Values are mean±standard deviation. Values of each parameter in the same row with different superscripts are significantly different($p<0.01$)

血液検査

血液検査結果をTable 5に示した。カタクチイワシ

Table 5. Hematological and hemochemical characteristics of red sea bream fed the experimental diets

	Dietary group		
	Anchovy MP	Mackerel MP	DP
Hematocrit(%)	43.4±4.6 ^a	39.0±3.0 ^{ab}	33.7±4.5 ^b
Plasma total cholesterol(mg/100mL)	189.8±37.9	203.0±25.4	162.0±47.5
Plasma triglyceride(mg/100mL)	85.2±31.5	64.6±13.2	84.6±33.9
Plasma phospholipid(mg/100mL)	417.6±55.9	426.7±54.1	430.4±109.1

Values are mean±standard deviation. Values of each parameter in the same row with different superscripts are significantly different($p<0.01$)

MP区のヘマトクリット値がDP区に比べ有意に高く($p<0.01$), サバMP区は有意な差ではないがDP区より高い傾向がみられた。血漿化学成分は、各試験区間で有意な差はみられなかった。

考察

今回の飼育試験において、マダイの成長はカタクチイワシMP区が最も優れ、サバMP区もDP区とほぼ同等の成長を示し、DPからMPへ転換することによる成長の遅れは認められなかった。また、本研究で設定した飼料原材料費から算出された増肉単価は、DP区に比べて両MP区の方が約30%低かった。したがって、DPからカタクチイワシおよび小サバを原料としたMPへ転換することで、同等以上の成長速度を維持しつつ、飼料コストを削減することが可能であると考えられた。DP区および一般成分組成が類似したサバMP区に比べカタクチイワシMP区で優れた成長を示した理由は本研究の分析項目だけでは判断できなかった。今後は、MPの適切な利用を図るため、飼料のタンパク質の消化吸収率や必須アミノ酸組成等にも着目し、MPの品質や有効性を評価する必要があると考えられる。

マダイの魚体一般成分においては、背部筋肉では各試験区間に有意な差がない一方、内臓ではDP区で脂肪の蓄積が有意に多かった。養殖マダイにおける脂肪含量の変動理由の一つとして飼料中の脂質含量が考えられる(森下ら1987)。今回用いたDPの粗脂肪含有率は両MP区に比べ高かったため、DP区のマダイでは飼料から摂取した過剰な脂肪が内臓に蓄積され、魚体重に占める内臓重量および内臓脂肪重量の割合が両MP区に比べ高くなったものと考えられる。

血液検査では、カタクチイワシMP区のヘマトクリット値がDP区に比べ有意に高く、サバMP区でも有意な差はないもののDP区より高い傾向がみられた。全血液中の赤血球の容積率を示すヘマトクリット値は、値が低いと貧血の疑いが生じる。ヘマトクリット値の低下はさまざまなビタミンおよびミネラルの欠乏によっても引き起こされることが知られており(舞田ら2009)、本研究で得られたヘマトクリット値は各試験飼料の上記含有成分の違いに影響を受けた可能性が考えられるものの、配合飼料を給餌した体重1kg前後のマダイで30%程度との報告があり(堅田2011)、DP区のヘマトクリット値でも健康上問題のない値であったと考えられる。血漿の総コレステロール、トリグリセリドおよびリン脂質は有意な差はみられなかった。総コレステロールおよびリン

ン脂質は魚類の細菌感染症に対する抗病性評価の指標になりうる項目であることから (Maita *et al.* 1998), 両 MP 区の抗病性は DP 区と遜色ないものと考えられる。なお, 台風 12 号通過直後の生残尾数は, カタクチイワシ MP 区 19 尾, サバ MP 区 55 尾, DP 区 36 尾となり, 以降の飼育密度にばらつきが生じた。飼育密度の違いが各種分析結果に影響を与えた可能性は排除できないが, 飼育密度が最も高いサバ MP 区と最も低いカタクチイワシ MP 区では全ての分析項目において有意差はみられず, 多くの分析項目において両者は類似した傾向の値を示したことから, 台風通過以降の飼育密度の違いが分析結果にもたらした影響は小さいものであったと考えられる。

MP を給餌するメリットとしては, 飼料の原料価格や養殖魚の摂餌活性などの変化に応じた成分調整が容易であることが挙げられる。また, MP を給餌したマダイは DP を給餌したマダイに比べ皮膚が強いことが経験的に知られている。生魚に含まれるタウリンは魚粉の製造過程において減少するが, タウリンを 1% 添加した配合飼料をマダイに与えると無添加区に比べ皮膚が厚く, 脱鱗しにくくなることから (Kato *et al.* 2011), 生魚を原料に含む MP は DP に比べタウリン含有量が高く, 強い皮膚の形成に寄与している可能性が考えられる。強い皮膚を持つマダイは, 感染症や寄生虫症への抗病性が高まり, 生残率向上や医薬品コスト削減につながる事が期待される。

このようなメリットがありながら, 多くの養殖漁家が MP から DP に転換した理由は, MP には DP に比べいくつかの点でデメリットがあったためと考えられる。まず, 飼料の調達, 保管および給餌作業が DP に比べ煩雑で時間を要することが挙げられる。また, 原料魚の価格や脂肪含量などが変動するため, 増肉係数や増肉単価が安定しない可能性も考えられる。加えて, カタクチイワシにはビタミン B₁ 欠乏をもたらすチアミナーゼが含まれており, 生育や抗病性の低下などを招く可能性があることから (石原ら 1973), カタクチイワシを MP の原料に用いる場合, ビタミン B₁ を含むビタミン剤の添加が必要である。体表の色揚げを図る目的でアミエビや合成色素を添加する場合は, これらのコストも考慮する必要がある。そのほか, DP と同じ固形配合飼料である EP に比べ MP は残餌による海域への窒素負荷が多くなる事が指摘されている (上出・竹内 2007)。魚類養殖漁場における自家汚染は病害の発生や漁場荒廃などの悪影響をもたらすことから (窪田 1977), 丁寧な給餌を行い, 残餌を極力減らすことで海域に与える負荷を軽減させる

必要がある。

魚粉価格が高騰し, 飼料コストの削減が避けられない状況の中, 今回の飼育試験ではマダイに MP を給餌することで成長速度, 肉質および健康状態のいずれの項目においても DP と同等以上の成績を保ちながら増肉単価の大幅な削減が実現できたことから, MP への転換は飼料コスト削減の選択肢の一つになりうると考えられた。実際のマダイ養殖では給餌頻度や給餌率, 飼料銘柄等の条件が養殖漁家ごとに異なるほか, MP 給餌により新たに発生する労賃や設備投資まで考慮すると, DP から MP への転換で得られる飼料コスト削減効果は漁家ごとに異なるものと考えられる。また, 原料魚の価格および成分変動も増肉単価に影響を及ぼすことから, 同じ漁家でも常に一定のコスト削減効果が得られるわけではないと考えられる。養殖漁家は, 上記のメリットおよびデメリットに加え, 各々の給餌スタイルを考慮したうえで MP への転換を判断する必要がある。今回は夏季における 1kg サイズのマダイで飼育試験を実施したが, 今後は稚魚導入時から出荷時まで一貫した比較飼育を行うとともに, 飼料原料魚の成分変動およびマダイ生理活性の季節変化が成長, 肉質および健康状態に与える影響を明らかにすることでコスト削減効果を総合的に精査する必要があると考えられる。

要 約

カタクチイワシおよび小サバを原料とした MP と市販のマダイ育成用 DP をマダイに給餌したところ, 63 日間の飼育で両 MP 区は DP 区と同等以上の成長を示し, 増肉単価は DP に比べ約 30% 削減することができた。また, 94 日間の飼育後に魚体および血液成分を分析したところ, 両 MP 区の肉質および健康状態は DP 区と遜色ないと考えられた。このことから, DP からカタクチイワシおよび小サバを原料とした MP への転換はマダイ養殖における飼料コスト削減の選択肢の一つになりうると考えられた。

謝 辞

本研究は, 平成 23 年度岡三加藤文化振興財団研究助成により実施した。

文 献

石原 忠・紀成尚志・保田正人 (1973) : 海産魚のチア

- ミナーゼ I の研究 - II. 海産魚におけるチアミナーゼの分布. 日本水産学会誌. **39** (1), 55-59.
- 上出貴士・竹内照文 (2007) : 養殖マダイ *Pagrus major* における消化管内容物の変化と残餌・糞に基づく炭素および窒素負荷. 水産増殖. **55** (3), 409-415.
- 堅田昌英 (2011) : 梅酢投与マダイの抗病性および血中バイオディフェンス機能. 和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場研究報告. **2**, 20-23.
- Kato, K., Yamamoto, M., Phuc, N. P., Fukada, H., Biswas, A., Yamamoto, S., Takii, K., Murata, O., and Miyashita, S. (2011) : Effect of Taurine Supplementation on Skin Thickness and Scale Detachability in Red Sea Bream *Pagrus major*. *Aquaculture Sci.* **60** (1), 59-64.
- 窪田敏文 (1997) : 魚類養殖場. 浅海養殖と自家汚染. 恒星社厚生閣, 東京, pp9-18.
- Maita, M., Satoh, K., Fukuda, Y., Lee, H.-K., Winton, J. R. and Okamoto, N. (1998) : Correlation Between Plasma Component Levels of Cultured Fish and Resistance to Bacterial Infection. *Fish Pathology.* **33** (3), 129-133.
- 舞田正志・キロン ヴィスワナス (2009) : 魚類の栄養と健康. 改訂魚類の栄養と飼料. 恒星社厚生閣, 東京, pp251-269.
- 森下達雄・宇野和明・井村直樹・高橋 喬 (1987) : 養殖マダイの成長に伴う一般成分組成の変動. 日本水産学会誌. **53** (9), 1601-1607.
- 農林水産省 (2011) : 平成 22 年漁業経営調査.
- 水産庁 (2011) : 平成 22 年度水産白書.
- 高木修作・細川秀毅・示野貞夫・宇川正治 (2000a) : マダイ飼料におけるコーングルテンミールの利用. 日本水産学会誌, **66** (3), 417-427.
- 高木修作・示野貞夫・細川秀毅・宇川正治 (2000b) : マダイ 1 歳魚飼料における代替タンパク質源併用による魚粉の削減. 水産増殖. **48** (3), 545-552.
- 槌本六良・宮田克也・松尾重己・大里進子・高良治江・三嶋敏雄・橘 勝康 (1992) : 養殖マダイの体脂肪量と魚体密度の関係. 日本水産学会誌. **58** (2), 301-306.
- 宇川正治・滝井健二・中村元二・熊井英水 (1994) : マダイ用配合飼料に対する大豆油粕の利用. 水産増殖. **42** (2), 335-338.