

イ マダイ等養殖のコスト抑制技術の実証

1) マダイ試験飼料の設計と成分分析・吸収率

実施機関・担当者名：

国立大学法人東京海洋大学大学院 海洋科学技術研究科・佐藤秀一

【背景・目的】

ブリと同様にマダイにおいても試験的には無魚粉飼料の開発は成功しているが、これらの試験飼料には飼料原料として濃縮大豆タンパク質等の高価な原料が使用されている。そこで、飼料を安定供給するために、廉価な飼料原料を配合しても魚粉主体飼料に匹敵する実用的な低魚粉飼料の開発が必要である。マダイではブリよりも大豆油粕やコーングルテンミール等の植物性飼料原料の利用性が高いことがわかってきた。そこで、大豆油粕やコーングルテンミール、パーム油等の廉価な飼料原料を多く配合し、魚粉の配合率を15%に低下させても、魚粉主体飼料に匹敵する低魚粉・低魚油飼料の開発を試みるとともに、低魚粉飼料における魚類栄養学的な基礎知見を得ることを目的とした。

本研究に使用する試験飼料をデザインして原料組成表を作成する。飼料の実用性と成果の波及性を考慮し、試験に使用する飼料の調達、飼料メーカーに外注する。飼育試験終了時に、試験飼料と魚体について脂肪酸組成などの成分分析を行って比較し、設計した試験飼料を評価する。

【方法】

(1) マダイ試験飼料の設計と成分分析：

マダイ用試験飼料は魚粉の配合率を15%とし、高水温期の夏期用と低水温期の秋期の組成を表イ 1-1 に示すように提案した。すなわち、昨年度の結果を踏まえ、高水温期の夏期用では、濃色大豆たんぱく質を減少し、パーム油の値を増加しより廉価にしたものである。すなわち高水温期用には脂質源には魚油を約8%と廉価なパームオイルを5%配合し、低水温期用には魚油のみを配合した。その他、不足する必須アミノ酸のリシン、メチオニン、トレオニン、トリプトファンを添加した。タウリンは魚粉の配合率が減少するとその必要量が増加するとの報告があるので1.0%に増加した。また、昨年度と同様に摂餌を促すためにカツオペプチドを0.5%、植物性飼料原料の消化を助ける目的で酵素混合液を0.2%添加した。さらにアスタキサンチンを40ppm 添加した。

(2) マダイの消化吸収率：

昨年度のマダイ用低魚粉飼料を用いて、高温度と中温度帯での栄養素の消化吸収率を比較した。

【結果および考察】

(1) マダイ試験飼料の設計と成分分析：

マダイ用試験飼料は表イ 1-1 のように設計した。

表イ 1-1 マダイ用低魚粉 EP 飼料試験組成 (% , 2019)

原料	対照区	夏期用	秋期用
アンチョビミール	40.0	15.0	15.0
濃縮大豆タンパク質	0.0	3.0	3.0
大豆油粕	11.0	16.0	16.0
コーングルテンミール	11.0	19.0	19.0
チキンミール	0.0	10.0	10.0
フェザーミール	0.0	3.0	3.0
小麦粉	7.0	7.0	7.0
脱脂米糠	9.0	0.0	0.0
タピオカデンプン	7.0	7.0	7.0
魚油	12.0	8.0	13.0
パーム油	0.0	5.0	0.0
ビタミン混合	2.0	2.0	2.0
無機質混合	1.0	1.0	1.0
アミプラス Zn	0.0	+	+
リン酸カルシウム	0.0	2.0	2.0
アミノ酸 (リシン 1, メチオニン 0.5, トレオニン 0.5, トリプトファン 0.2)	0.0	1.0	1.0
タウリン(合成)	0.0	1.0	1.0
合計	100.0	100.0	100.0
カツオペプチド	0.0	0.5	0.5
SSF 酵素混合(麹発酵物)液	0.0	0.2	0.2
アスタキサンチン(ppm)	40.0	40.0	40.0

マダイで用いた対照飼料と夏期及び秋期用に用いた試験飼料の一般組成の分析結果を表イ 1-2 に示す。粗タンパク質含量は対照飼料に比較し、夏期飼料、秋期飼料ともに試験区で高く、それぞれ 41.5%と 42.3%であった。また、粗脂肪含量も試験飼料で高く、夏期飼料では 16%、秋期飼料では 17.5%であった。

表イ 1-2 マダイ用飼料の一般組成 (% , 2019)

	対照区	夏期用	秋期用
粗タンパク質 (%)	41.5	42.3	42.3
粗脂肪 (%)	16.0	17.6	17.3
P (mg/g)	11.3	14.4	14.4

(2) マダイの消化吸収率：

試験飼料のタンパク質含量は 45.3%、粗脂肪は 19.1%、リンは 14.0mg/g であった。マダイの消化吸収率に及ぼす魚粉の配合率と水温との影響を検討するために、体重 62.4g のマダイを水温 26℃、20.8℃、19.5℃で飼育し、パームオイルを配合した試験飼料を給餌した。採集した糞は、凍結乾燥し粉碎した後に分析し、タンパク質と脂肪の消化吸収率を求め、魚粉の配合率と水温による影響を検討した。

表イ 1-3. 消化吸収率測定用マダイ低魚粉飼料の組成(%、2019)

原料	夏期用
アンチョビミール	15.0
濃縮大豆タンパク質	4.5
大豆油粕	16.0
コーングルテンミール	19.0
チキンミール	10.0
フェザーミール	3.0
小麦粉	7.0
脱脂米糠	0.0
タピオカデンプン	7.0
魚油	8.0
パーム油	4.0
ビタミン混合	2.0
無機質混合	1.0
アミプラス Zn	+
リン酸カルシウム	1.5
アミノ酸 (リシン 1, メチオニン 0.5, トレオニン 0.5, トリプトファン 0.2)	1.0
タウリン (合成)	1.0
カツオペプチド	0.5
SSF 酵素混合 (麹発酵物) 液	0.2
アスタキサンチン (ppm)	40.0

消化吸収試験の結果、タンパク質は、水温の低下による影響は見られず、高い消化率を示した。一方、脂肪の消化率は、温度が低下すると低下した。また、リンの吸収率は水温が低くなると高くなる傾向が見られた。以上のことから、温度が低くなるとパーム魚を配合した飼料では脂肪の消化率に及ぼす影響は見られた。

表イ 1-4 マダイの消化吸収率（％、2019）

水温	26.1℃	20.8℃	19.5℃
粗タンパク質	93.4	93.9	93.2
粗脂肪	89.9	86.8	84.2
P	50.6	59.7	59.3

【参考文献】

- ・ 渡邊 武編、改訂魚類の栄養と飼料、恒星社厚生閣、2009

【事業推進上の問題点】

特になし

【成果の公表】

- ・ 事業終了後に低魚粉飼料の普及に向けたマニュアル作成の予定

2) 大型養殖場におけるマダイ実証試験と飼育魚の健全性によるコストの比較

実施機関・担当者名：

愛媛県農林水産研究所水産研究センター 養殖推進室・佐々木進一、中島兼太郎、眞鍋諒太郎、山下浩史

【背景・目的】

わが国の主要な養殖魚種であるマダイは種苗生産技術が確立され、種苗の池入れから出荷まで配合飼料を用いた給餌養殖が普及している。マダイ養殖業者が負担する飼料コストは全体経費の 6 割以上にもなり、低コスト化が期待されている。こうした状況のなか、配合飼料の安定供給をはかり、飼料価格の高騰による経費の増大に対処するため、これまでに多くの魚種で魚粉に代わる安価な原料の利用に関する研究が実施され、各種の動・植物性原料を有効に利用できることが明らかにされている。

これまでの研究成果をもとに、さらに魚粉配合率を 15%まで低下させた低魚粉飼料を使用し、マダイ 1 歳魚を用いて、商品サイズとなる約 1kg までの飼育試験を行う。当課題では、養殖業者の生産実態に即したデータを収集するため、愛媛県海域のマダイ養殖で実際に用いられる縦 11m×横 11m×深さ 8m の生簀で実施する。給餌量や方法、飼育密度の精度を向上させて綿密な試験とするため、優良な養殖業者を選定して行い、試験終了時に飼育成績（増重率、増肉係数、死亡率）の算出し、従来の飼育方法（対照区）との比較により、生産コストの削減効果を評価する。

【方法】

試験飼料は、表イ 1-1 に示す配合組成に従い作製し、2019 年 10 月 10 日から 12 月 19 日まで夏期用を、それ以降は秋期用を給餌した。対照区には市販の DP 飼料（タイ HF かぐや P-6, 8：日清丸紅飼料㈱製、魚粉配合率 40%）を試験開始から終了まで給餌した。試験魚の由来は昨年度（平成 30 年）に愛媛県水産研究センターで生産したマダイ（低魚粉適応家系 F4 マダイ）であり、愛媛県宇和島市吉田町地先の養殖業者が保有する縦 11m×横 11m×深さ 8m の金網生簀 2 台（試験区 12,000 尾、対照区 12,000 尾）に養成されていた 1 歳魚を用いた。それぞれの生簀に 2019 年 10 月 10 日から翌 2 月 13 日まで 127 日間、試験飼料と対照飼料を給餌し、定期的に魚体測定を行いながら飼育した。測定は、試験開始時（10 月 10 日）、11 月 12 日、12 月 19 日、1 月 22 日および 2 月 13 日に各生簀から無作為に 50 尾ずつを取上げ、個体ごとに尾叉長および魚体重を計測した。両区の試験魚を取り上げて計測した魚体重の値について、 t 検定により有意差の有無を検定した。

試験生簀の魚病発生状況について、飼育を担当する養殖業者から適宜、聞き取り調査を実施するとともに、同海域の周辺の魚病発生状況についても調査した。

12 月 19 日に両区から各 5 尾をサンプリングし、外部所見及び解剖所見を得るとともに、血液凝固防止剤として 100mM の EDTA-2Na 溶液を 0.1mL 含むシリンジを用いて、魚体の尾丙部より 1 サンプル当たり 1.5mL の採血をおこない、血液検査を実施した。また、サンプリングした試験魚から得た分析値について、 t 検定により有意差の有無を検定した。

試験終了時に飼育成績（増重率、増肉係数、死亡率）の算出を行い、従来の飼育方法（対照区）と比較し、飼料価格を試験飼料は対照飼料よりも 10%低いものとし、次式からコスト削減率を試算した。

$$\text{コスト削減率} = 100 - (\text{試験区の増肉係数} \times 0.9) / \text{対照区の増肉係数}$$

【結果および考察】

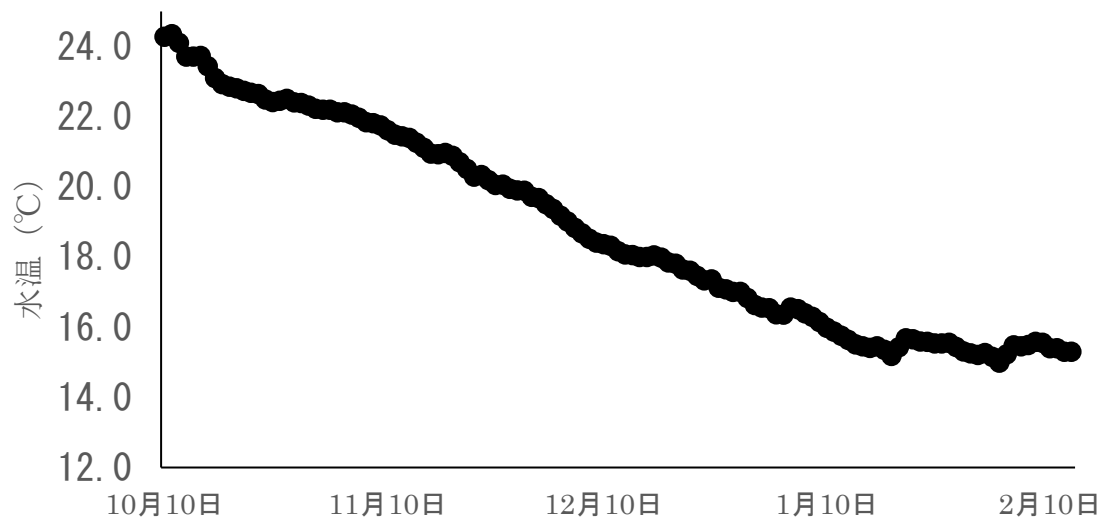
養殖場 3m 層の水温は、試験開始時の 10 月 10 日の 24.3℃から翌 2 月 13 日の 15.3℃にかけて徐々に低下し、推移した（図イ 2-1）。低水温期は例年よりも少し高い値であった。試験開始時の平均魚体重は試験区が 751g、対照区は 713g であり、11 月 12 日の測定では試験区が対照区に比べ有意に高かった（ $p < 0.05$ ）。試験終了時の平均魚体重は試験区が 1133g、対照区が 1153g であった（図イ 2-2）。平均尾叉長は有意な差は見られなかった（図イ 2-3）が、肥満度では 11 月 12 日の測定時に試験区が有意に高かった（図イ 2-4）。試験終了時の両区の平均魚体重の差は 20 g と小さく、尾叉長および肥満度の差も小さかったため、試験魚成長は両区で同等であったと考えられる。試験区の平均増重量は対照区の方が 50 g 高く、増肉係数は試験区が 1.66、対照区が 1.58 であり、対照区の方が 0.8 低い結果となった（表イ 2-1）。本試験では低魚粉飼料の夏期用および秋期用を低水温期となる 12 月 20 日から切り替え給餌しており、試験開始から 12 月 19 日までの平均魚体重は試験区の方が高く、秋期用に切り替えてからの成長が逆転していることから、低水温期における摂餌量が少なかったため、試験期間全体では対照区に比べ増重が低くなったと考えられる。

試験期間中の累積死亡率は試験区および対照区ともに少なく、同海域の他の養殖生簀の死亡率と比較しても特に問題ないと考えられた。死亡原因は主にエドワジエラ症であったが、魚粉削減が起因する魚病発生とは関連がないと考えられた。

また、血液性状及び血漿性化学性状に関しては、血漿中の総コレステロール量やトリグリセリドの値が試験区で低い結果となったが、有意な差は認められなかった。青木ら (2017) は低魚粉飼料を給餌したマダイの血漿中総コレステロール量は魚粉主体の飼料を給餌したものよりも低くなる傾向があることを報告している。本試験も同様に低魚粉飼料で長期間飼育したことで、対照区に比べ低くなったと考えられた。死亡率も 0.1%以下であり、両区の試験魚の健康状態は良好であったと考えられた。

12 月 19 日にサンプリングした個体の筋肉の成分分析の結果を表イ 2-4 に示す。水分、灰分および粗タンパク質に関しては試験区と対照区で差はなく、粗脂肪に関しては試験区が対照区に比べ有意に高かった（ $p < 0.05$ ）。

コスト削減率を試算した結果を表イ 2-5 に示す。本試験における試験区のコスト削減効果は対照区に比べ 5.32 ポイントとなった。水温期別にコスト削減率を算出すると、高水温期のコスト削減効果は高く 9.99 ポイントであり、低水温期は-3.26 ポイントとなった。本試験で使用した試験飼料は実際の養殖現場の高水温期において普及できる可能性が高いことから、今後は魚粉配合率 15%の低魚粉飼料の低水温期の低魚粉飼料の成長改善等を検討したい。



図イ 2-1 マダイ養殖実証試験漁場の水温の推移 (2019、宇和島市)

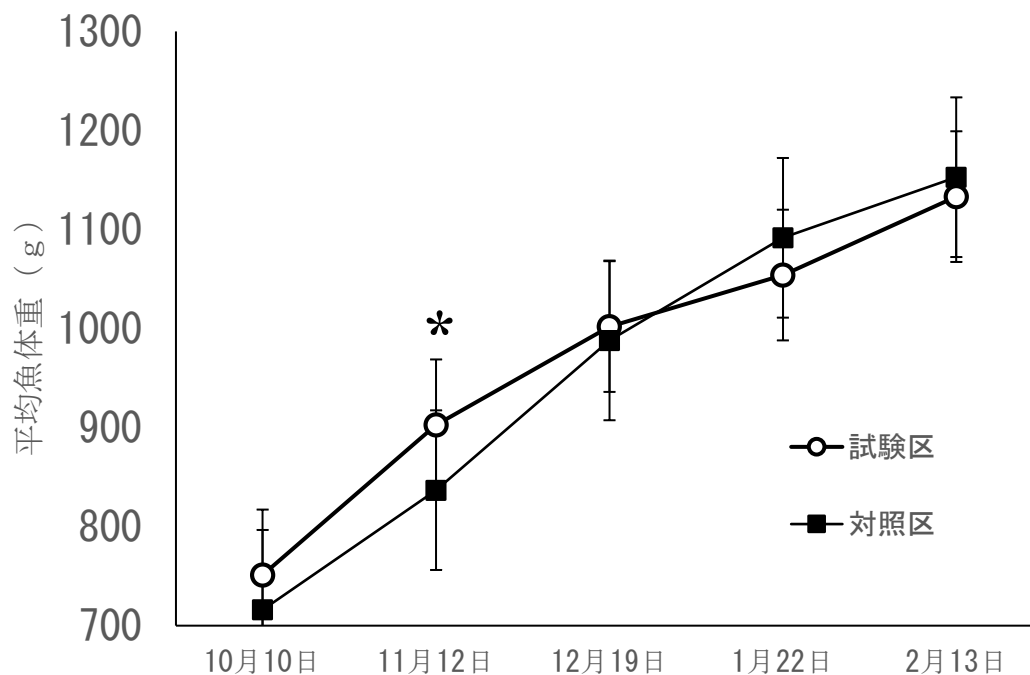


図 イ 2-2 マダイ養殖実証試験の平均魚体重の推移 (2019、宇和島市)

*は有意差あり (t -test, $P < 0.05$)。n=50。

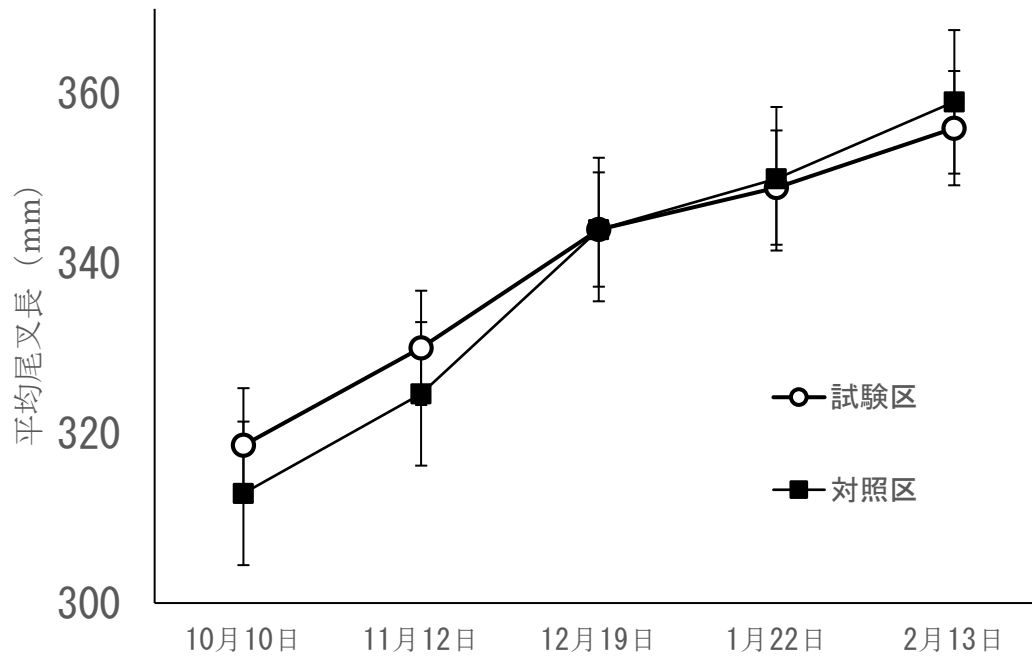


図 イ 2-3 マダイ養殖実証試験の平均尾叉長の推移 (2019、宇和島市)

*は有意差あり (t -test, $P < 0.05$)。n=50。

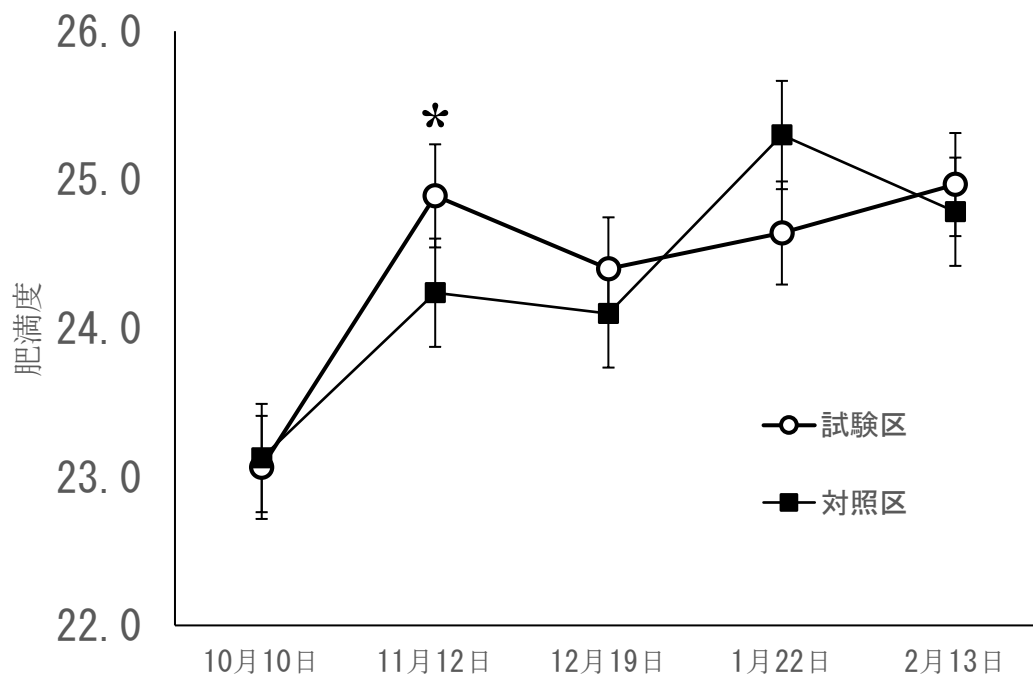


図 イ 2-4 マダイ養殖実証試験の肥満度の推移 (2019、宇和島市)

*は有意差あり (t -test, $P < 0.05$)。n=50。

表イ 2-1 マダイ実証試験における飼育成績(2019/10/10～2020/2/13) (2019、宇和島)

区	尾数	平均魚体重（g）		増重量 （g）	増肉係数	日間摂餌率	死亡率
		開始時	終了時			（％）	（％）
（通期）							
試験区（FM15％）	12,000	751±113	1,133±170	382	1.66	0.53	0.0
対照区（FM40％）	12,000	716±128	1,153±156	437	1.58	0.59	0.0
（高水温期）、10/10～12/19							
試験区（FM15％）		751±113	1,002±135	251	1.74	0.71	0.0
対照区（FM40％）		716±128	988±141	272	1.74	0.78	0.0
（低水温期）12/20～2/13							
試験区（FM15％）		1,002±135	1,133±170	131	1.57	0.32	0.0
対照区（FM40％）		988±141	1,153±156	165	1.37	0.37	0.0

表イ 2-2 マダイ実証試験における試験終了時の血液性状および比肝臓重量 (2019、宇和島)

区	赤血球数 ($\times 10^4 / \mu\text{L}$)	ヘモグロビン含量 (g/100mL)	ヘマトクリット値 (%)	比肝臓重量 (%)
試験区 (FM15%)	263.6±38.3	7.7±1.3	32.5±6.3	1.4±0.3
対照区 (FM40%)	231.4±11.9	6.7±0.3	26.1±2.2	1.3±0.3
平均値±標準偏差 (N=5)				

表イ 2-3 12/19におけるマダイ養殖実証試験の血漿性化学性状 (2019、宇和島マダイ)

区	総タンパク (g/100mL)	グルコース (mg/100mL)	カルシウム (mg/100mL)	総コレステ ロール (mg/100mL)	トリグリセ リド (mg/100mL)	総ビルビリ ン (mg/100mL)
試験区 (FM15)	3.20±0.3	60.6±17.6	14.52±0.8	208.2±27.8	325.6±122.8	0.36±0.2
対照区 (FM40)	2.96±0.5	43.8±7.4	14.16±1.5	262.0±29.0*	365.8±143.2	0.32±0.4
平均値±標準偏差 (N=5)						

表イ 2-4 各試験魚の身質の成分分析値 (2019、愛媛水研)

組成成分 (%)	低魚粉系統	
	試験飼料区	対照区
水分	72.4±1.97	73.4±0.63
粗灰分	1.5±0.07	1.5±0.03
粗タンパク質	21.0±0.83	22.0±0.52
粗脂肪	4.7±1.46*	2.6±0.65
平均値±標準偏差 (N=5)		

表イ 2-5 2019 愛媛県における実証試験のコスト削減効果

試験期間	コスト削減率
高水温期	9.99
低水温期	-3.26
通期	5.32

※20℃以上を高水温期、それ以下を低水温期とした

【参考文献】

- ・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（2017）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，65（3），221－230.

【事業推進上の問題点】

実証試験を行ったマダイ養殖業者の生簀ではエドワジエラ症が発生し、投薬期間があり、試験開始が遅延した。

【成果の公表】

- ・令和元年度 愛媛県農林水産研究所水産研究センター試験研究成果情報交換会にて成果報告
- ・愛媛県農林水産研究所 水産研究センター・栽培資源研究所「水研センターだより」第12号に記載予定
- ・事業終了後に低魚粉飼料の普及に向けたマニュアル作成の予定

3) マダイ試験魚の肉質によるコストの評価

実施機関・担当者名：

国立研究開発法人水産研究・教育機構中央水産研究所 水産物応用開発研究センター・大村裕治、石田典子、東畑頭

【背景・目的】

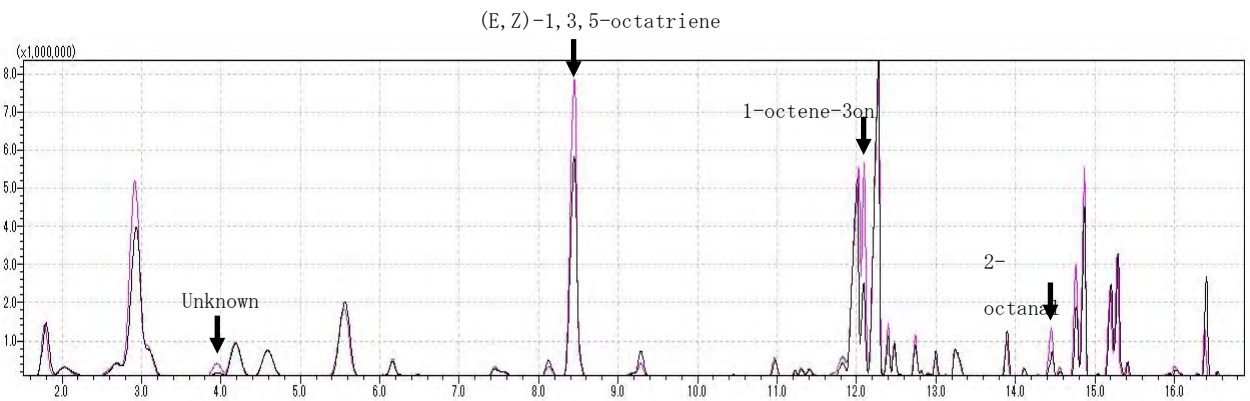
宇和島市の養殖業者より、マダイの屠殺する際の処理条件により品質が大きく異なり、これを数値化できないかとの要望が出された。すなわち、低魚粉飼料を給餌しこれまでより良い品質の養殖魚を作出しても、屠殺処理を誤れば品質を損なう可能性がある。特に魚を苦悶させた場合には品質が著しく損なわれることが知られていること、並びに苦悶死させたマダイでは、特にマダイ特有の不快な匂いがすることが知られていることから、苦悶死がマダイの品質、特に匂いに与える影響を数値化することを目的とした。

【方法】

マダイの体表粘液中の揮発成分に対する屠殺方法の影響を調べた。中央水産研究所において飼育されている小型マダイを即殺もしくは空中で5分間苦悶させ、体表の粘液をペーパータオルで集めた。そのペーパータオルをカッターナイフで切れ目を入れたにおい袋に入れ、切れ目をニトフロン粘着テープで張り合わせた。高純度窒素を充填後(約3L)、定温乾燥機内で40℃、30分間静置し、生じた揮発成分をサンプルバッグ2KFに移した後、調製した揮発成分1.5LをTenax製捕集管に吸着させ、加熱脱着装置を付したガスクロマトグラフ質量分析計(株式会社島津製作所、GCMS-QP2020)を用いて網羅的に分析した。物質の同定は、GCMSに付属しているアプリケーションを用いてNISTライブラリに対して行ったシミラリティ検索と、Kovats Indexを用いて行った。

【結果および考察】

即殺したマダイと苦悶したマダイ体表粘液中の揮発成分のクロマトグラムを比較したところ、1-octene-3onや同定できなかった物質一つが苦悶したマダイで顕著に増加していることが分かった(図イ3-1)。また、(E,Z)-1,3,5-octatrieneや2-octanalも増加していたことから、これらが苦悶ストレスにより体表粘液中に放出されることが示唆された。1-octene-3onは強い金属臭やマッシュルーム様臭、2-octanalは脂肪臭やマッシュルーム様臭を有することが知られており、これらの量が増えたことから苦悶したマダイの表皮からは強い異臭が発せられるものと思われた。



図イ 3-1. 即殺もしくは苦悶したマダイ表皮粘液中の揮発成分の GC-MS 分析.
黒線：即殺. 赤線：苦悶

【参考文献】

特になし

【事業推進上の問題点】

これまでの試験によりマダイの場合は低魚粉飼料を給餌することにより、その品質を変化させることができることが明らかとなった。また、ブリなどでは養殖業者から低魚粉飼料を給餌した魚のほうが好まれるという情報を得ており、低魚粉飼料を給餌したマダイもより好ましい品質になっているものと推測される。しかし、高い品質の養殖魚を生産しても、屠殺方法を誤れば著しく品質が損なわれる可能性があることが明白となった。

【成果の公表】

- ・ 東畑 顕：「ノリ等水産物の味覚認識装置による品質評価」第 54 回水産物エキス研究会にて講演（平成 30 年度日本水産学会春季大会）
- ・ 事業終了後に低魚粉飼料の普及に向けたマニュアル作成の予定

ウ 低魚粉適応品種の作出に向けた養殖試験

1) ブリ 0 歳魚における低魚粉飼料経験試験

実施機関・担当者名：

長崎県総合水産試験場 養殖技術科・宮原治郎

【背景・目的】

平成 30 年度試験において、ブリ 0 歳魚へ魚粉 30%飼料を給餌し、魚粉 50%飼料に近い成長を示したことから、今年度は、更に魚粉を削減した魚粉 25%飼料による試験を行った。

ブリ 0 歳魚に魚粉 25%飼料を 12 週間給餌し、魚粉 50%飼料と成長や内臓重量等を比較する。生け簀の大きさは縦 3 m×横 3 m×深さ 3 mを用いる。試験終了時に飼育成績を取りまとめ、従来の飼育方法（対照区）との比較により、生産コストの削減効果を評価する。

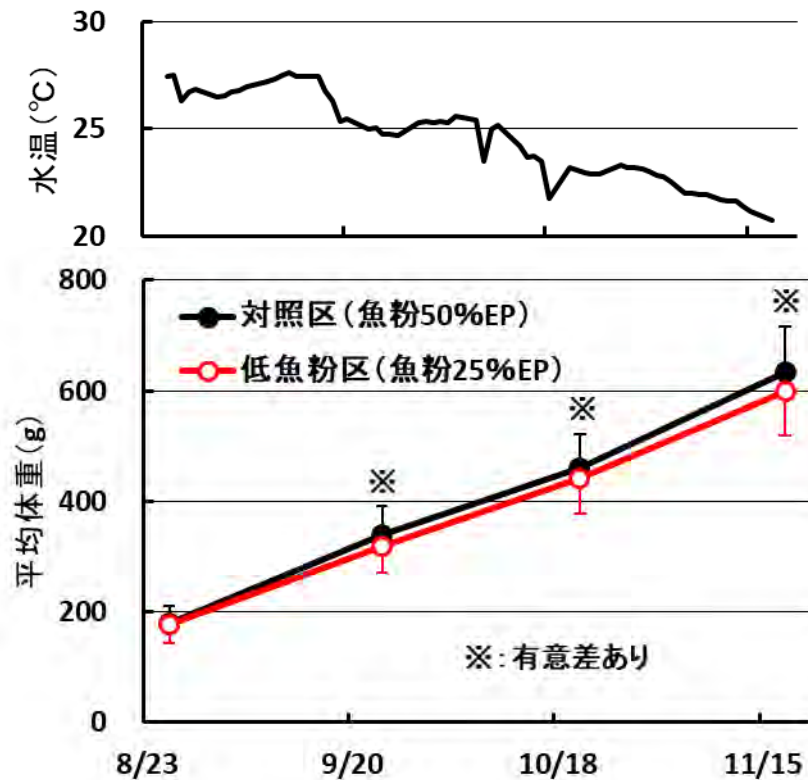
【方法】

低魚粉飼料試験用飼料は、表ア 1-1 に示す配合組成に従い作製し、対照区夏期及び試験区夏期を給餌し、令和元年 8 月 26 日から 11 月 18 日まで 12 週間の飼育試験を行った。試験区は、対照区（魚粉 50%EP）及び低魚粉区（魚粉 25%EP）の 2 区を設定して各 300 尾で試験を開始し、成長に伴い、10 月 21 日に各区 2 網へ分養した。給餌方法は、手撒きによる 1 日 1 回飽食給餌で、週 5 日（月曜日～金曜日）給餌とした。

尾叉長及び体重の測定は、試験開始時（8 月 26 日）、9 月 24 日、10 月 21 日、試験終了時（11 月 18 日）の計 4 回、全数で行い、体重及び肥満度については t 検定 ($p < 0.05$) で有意差の確認を行った。血液性状 (Ht 値、Hb) 及び血漿成分 (TCHO、TG、TP、GOT、GPT、GLU、TBIL) の分析、並びに内臓重量、肝臓重量及び腸長の測定は、試験開始時が 5 尾、試験終了時が各区 10 尾（5 尾/網）で行い、試験終了時については t 検定 ($p < 0.05$) で有意差の確認を行った。腸の組織切片は、令和 2 年 1 月 24 日に各区 5 尾の腸を速やかに 20%ホルマリン液で固定して中央水産研究所へ送付した。

【結果および考察】

試験開始時から試験終了時までにおける水温及び平均体重の推移を図ウ 1-1 に、通算の飼育成績及び増肉コストを表ウ 1-1 に示す。2 m 層水温は 20.8～27.6℃で推移した。平均体重は、試験終了時の対照区 (633.5 g) が低魚粉区 (599.7 g) より有意に高く、肥満度は、試験開始時の対照区 (15.28) が低魚粉区 (15.08) より、試験終了時の対照区 (18.10) が低魚粉区 (17.64) より有意に高かった。試験終了時の増重率及び増肉係数は、対照区 (353%・1.90) が低魚粉区 (338%・1.98) より若干良い傾向であった。試験終了時の日間給餌率は、対照区 (2.49%) が低魚粉区 (2.56%) より若干低かった。生残率は、ハダムシ寄生によるへい死が見られ、対照区 (95.7%) が低魚粉区 (99.0%) よりやや低かった。増肉コストは、対照区を 100 とした場合、低魚粉区では 89.0 と試算された。



図ウ 1-1 水温及びブリの平均体重の推移(2019、長崎水試)

表ウ1-1 ブリ飼育成績(2019/8/26～11/18、長崎水試)

	平均体重(g)		肥満度(尾叉長)		増重率(%)
	開始時 (8/26)	終了時 (11/18)	開始時 (8/26)	終了時 (11/18)	
対照区 (魚粉50%EP)	179.5±31.99	633.5±81.83	15.28±0.66	18.10±0.82	353
低魚粉区 (魚粉25%EP)	177.5±33.65	599.7±81.28 *	15.08±0.69 *	17.64±0.78 *	338
	日間給餌率 (%)	増肉 係数	増肉 コスト	生残率 (%)	
対照区 (魚粉50%EP)	2.49	1.90	100	95.7	
低魚粉区 (魚粉25%EP)	2.56	1.98	89.0	99.0	

* は有意差あり($p < 0.05$)

試験開始時の血液性状、血漿成分及び内臓重量比等の分析結果を表ウ 1-2 に、試験終了時の各試験区における血液性状、血漿成分及び内臓重量比等の分析結果を表ウ 1-3 に、試験終了後における腸の組織切片写真を図ウ 1-2 に示す。試験終了時でみると、低魚粉区の Ht 値、Hb 及び GLU が対照区より有意に高く、その他の項目では有意差がみられなかった。Ht 値及び Hb について、低魚粉区が対照区より高かったのは、ハダムシ寄生によるへい死やスレが少なめであったからと考えられた。腸長比は、対照区が低魚粉区より若干高かったことから、12 週間の飼育では低魚粉飼料に適応して腸長比が高くなり、腸の微絨毛の状態については、特に差がみられなかったことから、約 21 週間の飼育では微絨毛が発達する等の変化がみられないものと考えられた。低魚粉区の生残率が高いことも踏まえて、魚粉 25%EP でもブリの健康状態に異常はなかったと推察された。

これらのことから、魚粉 25%飼料は、成長面が若干劣ったものの、血液性状等に問題はなく、増肉コストが 11%低い結果が得られ、水温 20℃以上においては、実用的なレベルに近いと考えられた。

表ウ1-2 ブリ試験開始時の血液性状、血漿成分及び内臓重量比等の分析結果(2019/8/26、長崎水試)

Ht値(%)	Hb(g/dl)	TCHO(mg/dl)	TG(mg/dl)	TP(g/dl)	GOT(U/l)	GPT(U/l)
49.2±2.6	14.3±1.6	300.0±50.7	84.6±20.4	4.2±0.4	30.3±14.8	8.0±1.6
GLU(mg/dl)	TBIL(mg/dl)	内臓重量比(%)	肝臓重量比(%)	腸長比(%)		
285.2±59.0	0.1±0.0	5.5±0.2	0.7±0.1	62.2±4.7		

$n=5$ 。GOTは異常値を除く($n=4$)。

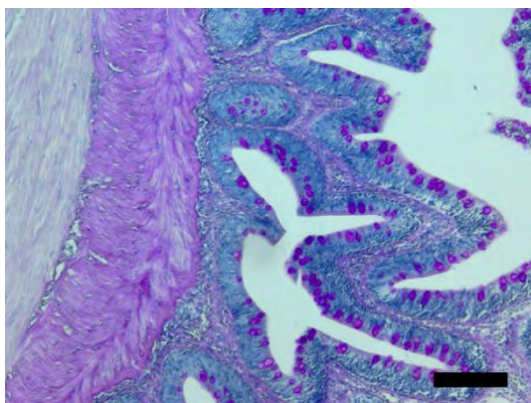
内臓重量比＝内臓重量÷体重×100。肝臓重量比＝肝臓重量÷体重×100

腸長比＝腸長÷尾叉長×100

表ウ1-3 プリ試験終了時の血液性状、血漿成分及び内臓重量比等の分析結果(2019/11/18、長崎水試)

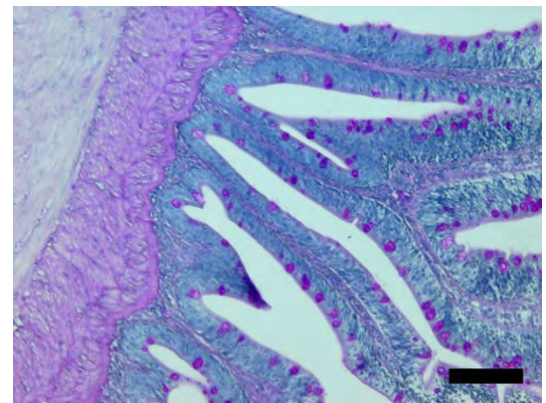
	対照区(魚粉50%EP)	低魚粉区(魚粉25%EP)
Ht値(%)	48.8±3.5	54.2±3.6 *
Hb(g/dl)	14.4±1.0	15.4±0.9 *
TCHO(mg/dl)	313.0±16.6	298.4±37.8
TG(mg/dl)	139.8±48.7	143.8±49.9
TP(g/dl)	4.5±0.1	4.3±0.3
GOT(U/l)	27.9±10.8	29.6±10.4
GPT(U/l)	7.7±1.3	9.7±3.1
GLU(mg/dl)	193.7±33.1	229.7±29.2 *
TBIL(mg/dl)	0.1±0.0	0.1±0.0
内臓重量比(%)	8.5±0.8	7.8±0.8
肝臓重量比(%)	1.9±0.2	1.8±0.1
腸長比(%)	59.8±5.6	58.7±2.8

$n=10$ 。* は有意差あり($p<0.05$)。



対照区

Bar=100 μm



低魚粉区

図ウ 1-2 試験終了後における腸の組織切片 (2020/1/24、長崎水試)

【参考文献】

特になし

【事業推進上の問題点】

特になし

【成果の公表】

- ・長崎県水産試験場研究報告に論文掲載を検討中
- ・事業終了後に低魚粉飼料の普及に向けたマニュアル作成の予定

2) ブリ選抜試験によるコストの比較

実施機関・担当者名：

愛媛県農林水産研究所水産研究センター 養殖推進室・佐々木進一、中島兼太郎、眞鍋諒太郎、山下浩史

【背景・目的】

主要な養殖魚種であるブリは魚粉を主原料とする配合飼料を用いた養殖が普及しており、近年の魚粉価格の高騰により飼料経費の低コスト化が求められている。ブリ養殖ではマダイ養殖とは異なり、ほとんどが天然種苗に依存しているため、低・無魚粉飼料でも高成長である系統の人工種苗を用いることで、さらなる低コスト化を目指す。

昨年度（平成 30）の飼育試験では、天然種苗を当歳魚の段階でサイズ選抜し、サイズが大きい群が高成長であった。そのため、平成 29 年度に実施した無魚粉飼料を用いたブリ飼育試験において、高成長を示した個体を選抜し、それらを親として種苗生産した F 1（低魚粉成長選抜群、以下、低魚粉選抜）および通常飼料（F M50%）の給餌で高成長を示した個体を選抜し、同様に種苗生産した F 1（通常飼料高成長選抜群、以下、通常選抜）を用いて、低魚粉飼料の給餌試験を行い、選抜の有効性を検討する。

【方法】

飼育試験は愛媛県水産研究センター地先の 3m×3m×3m の海面小割生簀 8 面に、2 系統（低魚粉選抜、通常選抜）のブリ 0 歳魚を 50 尾ずつ収容し、それぞれの小割に 2019 年 9 月 25 日から 12 月 17 日まで試験飼料および対照飼料をそれぞれ 1 日 1 回、週 6 日飽食給餌し、定期的に体重測定を試験開始時（9 月 25 日）、11 月 1 日、12 月 3 日および 12 月 18 日の計 4 回行った。試験区として、低魚粉選抜—試験飼料、低魚粉選抜—対照飼料、通常選抜—試験飼料および通常選抜—対照飼料の 4 区を設定し、二重反復とした。試験飼料および対照飼料は、表ア 1-1 に示す配合組成に従い作製し、試験飼料区には試験区夏期および試験区秋期の飼料を給餌した。試験区夏期は 9 月 25 日から 11 月 30 日まで、それ以降は試験区秋期を給餌した。対照飼料区には対照飼料を試験開始から終了まで給餌した。

12 月 18 日にすべての小割より各 3 尾をサンプリングし、すべての区の外部所見及び解剖所見を得るとともに、各小割から取上げた 3 尾の半身の筋肉を試験区ごとにプールし、-20℃で保存した後、成分分析を定法により行った。併せて、血液凝固防止剤として 100mM の EDTA-2Na 溶液を 0.1mL 含むシリンジを用いて、魚体の尾丙部より 1 サンプル当たり 1.5mL の採血をおこない、血液検査を実施した。測定およびサンプリングにより算出された値を試験区ごとに Bonferroni 法で多重比較検定をおこなった。

【結果および考察】

海面小割生簀周辺 3m 層における水温は、試験開始時の 9 月 25 日の 25.8℃から 12 月 17 日の 18.3℃にかけて徐々に低下した（図ウ 3-1）。

試験開始時の平均魚体重は低魚粉選抜—試験飼料区は 269 g、低魚粉選抜—対照飼料 268 g、通常選抜—試験飼料 257 g および通常選抜—対照飼料 257 g であった。試験終了時の平均魚体重は、低魚粉選抜—試験飼料区は 790 g、低魚粉選抜—対照飼料 800 g、通常選抜—試験飼料 777 g および通常選抜—対照飼料 797 g であった（図ウ 2-2）。0 歳魚においては低魚粉飼料を給餌した区は対照飼料を給餌した区に比べ、成長が劣っていた。

試験開始時から試験終了時までの飼育成績の概要を表ウ 2-1 に示す。飼料の違いに着目すると、低魚粉飼料を給餌した区では対照飼料区に比較して増肉係数が 0.1 ポイントほど

高かった。低魚粉選抜、通常選抜ともにこの差はあるが、0 歳魚においては飼料の違いによる成長および摂餌量の差は小さいと考えられる。また、系統間においては低魚粉選抜、通常選抜は同等に成長し、魚体重では有意な違いが見られなかった。今後 1 歳魚期における成長で各系統間に差が現れるか検討したい。昨年度の結果では当歳魚でサイズ選抜したブリで選抜時にサイズが大きかった群がより増重し、最終的な平均魚体重が大きく、増肉係数も他群に比べ低い値を示した。本試験で使用した試験魚も同様に成長し、低魚粉飼料を給餌した場合のコスト削減効果が天然種苗より大きくなることが考えられる。

また、試験期間中には飼料中の魚粉削減が起因する成育異常個体は見られず、死亡個体もいなかった。また血液検査および血漿性化学性状に有意な違いは見られなかったことから（表ウ 2-2、2-3）、健康状態は良好であったと考えられた。試験終了時の各試験区の外観所見及び解剖所見に差異は見られなかった。

魚粉削減飼料による飼育において散見される肝臓の緑化（ヘム代謝異常に起因する緑肝症状）も観察されなかった。各試験区で有意な差はなく、0 歳魚では同等の身質成分であると判断された（表ウ 2-4）。

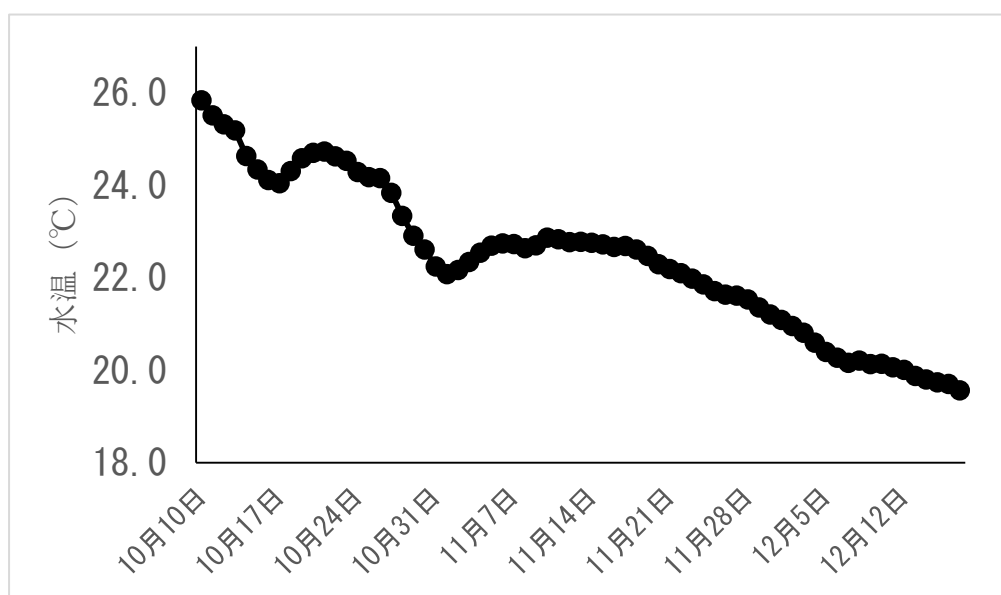


図 ウ 2-1 ブリ飼育試験における地先水温の推移（2019、愛媛水研）

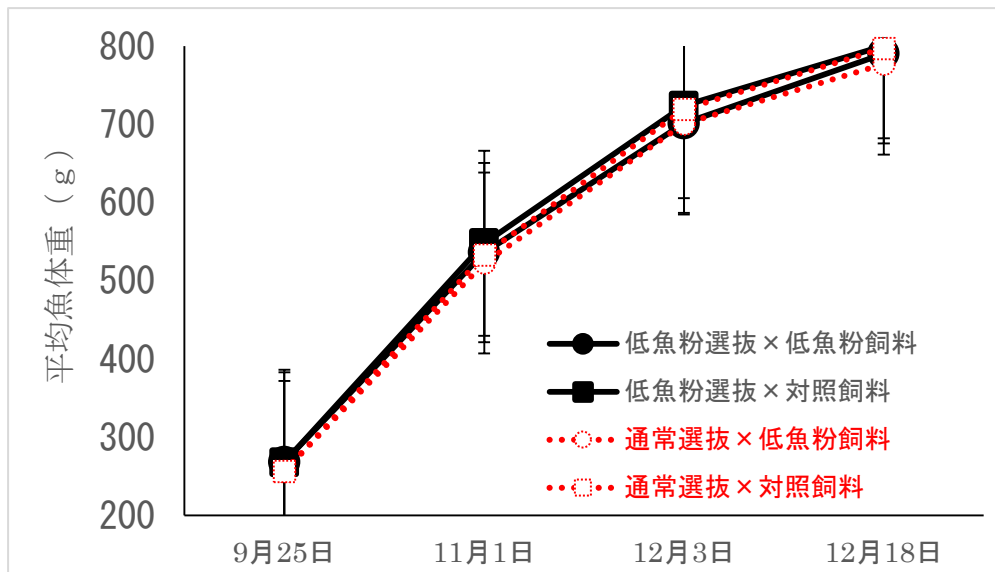


図 ウ 2-2 ブリ飼育試験における平均魚体重の推移 (2019、愛媛水研)

表ウ 2-1 ブリ飼育試験における飼育成績 (2019 9/25~12/17) (2019、宇和島)

系統	飼料	尾数	平均魚体重 (g)		増重量 (g)	増肉係数	日間摂餌率 (%)	死亡率 (%)
			開始時	終了時				
低魚粉選抜	試験飼料	50	268.5 ± 1.5	790.3 ± 3.1	522	1.89	2.26	0.0
	対照飼料	50	268.0 ± 1.0	800.6 ± 6.9	533	1.79	2.16	0.0
通常選抜	試験飼料	50	256.5 ± 0.5	777.1 ± 5.0	521	1.89	2.32	0.0
	対照飼料	50	256.5 ± 0.5	797.5 ± 8.1	541	1.75	2.17	0.0

表ウ 2-2 試験魚の血液性状および比肝臓重量 (2019、愛媛水研)

系統	飼料	赤血球数	ヘモグロビン含量	ヘマトクリット値	比肝臓重量
		($\times 10^4 / \text{mm}^3$)	(g/100mL)	(%)	(%)
低魚粉選抜	試験飼料	360 ± 124	12.5 ± 4.5	45.2 ± 16	13.9 ± 1.7
	対照飼料	396 ± 103	13.9 ± 3.8	50.1 ± 13	10.6 ± 1.3
通常選抜	試験飼料	420 ± 104	15.1 ± 4.0	53.2 ± 13	11.8 ± 1.5
	対照飼料	458 ± 19	16.8 ± 0.8	58.4 ± 2	11.0 ± 0.9

表ウ 2-3 12/17 におけるブリ飼育試験の血漿性化学性状 (2019、愛媛水研)

系統	飼料	総タンパク (g/100mL)	グルコース (mg/100mL)	総コレステ ロール (mg/100mL)	トリグリセ リド (mg/100mL)	総ビルビリ ン (mg/100mL)
低魚粉選抜	試験飼料	3.5±0.1	114±16	372±24	77±36	0.38±0.01
	対照飼料	3.7±0.2	158±12	384±17	103±19	0.50±0.19
通常選抜	試験飼料	3.4±0.2	141±10	346±31	100±33	0.46±0.18
	対照飼料	3.6±0.2	172±13	370±26	99±30	0.45±0.16
平均値±標準偏差 (N=6)						

表ウ 2-4 各試験魚の身質の成分分析値 (2019、愛媛水研)

組成分 (%)	低魚粉選抜系統		通常選抜系統	
	試験飼料区	対照飼料区	試験飼料区	対照飼料区
水分	65.6±0.49	67.7±0.03	65.7±0.41	66.7±0.45
粗灰分	1.7±0.02	1.6±0.04	1.5±0.07	1.5±0.00
粗タンパク質	17.4±0.03	19.3±1.86	19.5±1.00	19.9±0.18
粗脂肪	14.5±0.17	10.9±0.59	13.3±0.65	12.4±1.21
平均値±標準誤差 (N=2)				

【参考文献】

特になし

【事業推進上の問題点】

特になし

【成果の公表】

- ・事業終了後に低魚粉飼料の普及に向けたマニュアル作成の予定

3) マダイ選抜試験によるコストの比較

実施機関・担当者名：

愛媛県農林水産研究所水産研究センター 養殖推進室・佐々木進一、中島兼太郎、眞鍋諒太郎、山下浩史

【背景・目的】

わが国の主要な養殖魚種であるマダイは種苗生産技術が確立され、マダイ養殖業者は種苗の池入れから出荷まで配合飼料を用いた給餌養殖が普及している。マダイ養殖業者がかかる飼料コストは全体経費の6割以上にもなり、低コスト化が期待されている。前年度（平成30）に生産した低魚粉適応家系（愛媛F4）マダイを用いて、新たに設計した低魚粉飼料（FM15%）の有用性と適切な夏期・秋期飼料切り替えのタイミングを確認する。低魚粉飼料を用いて飼育試験をおこない、体重、尾叉長および肥満度の推移を把握し、飼育成績を算出する。また、生理的な変化を把握するために、血液性状、比肝臓重量、血漿生化学的性状、一般成分分析を行う。

【方法】

飼育試験は愛媛県水産研究センター地先の3m×3m×3mの海面小割生簀6面に、由来が同一の低魚粉適応家系マダイ1歳魚を45尾ずつ収容し、それぞれの小割に9月25日から翌1月29日まで試験飼料および対照飼料をそれぞれ1日1回、週6日飽食給餌し、定期的に体重測定を行いながら飼育した。試験区として、試験飼料区①（11月切替え）、試験飼料②（1月切替え）および対照飼料区の3区を設定し、二重反復とした。

試験飼料および対照飼料は、表イ1-1に示す配合組成に従い作製し、試験飼料区①および②には試験区夏期および試験区秋季の飼料を給餌した。試験飼料区①では試験区夏期は9月25日から1月5日まで、それ以降は試験区秋期を給餌した。試験飼料区②では試験区夏期は9月25日から11月30日まで、それ以降は試験区秋期を給餌した。対照飼料区には対照飼料を試験開始から終了まで給餌した。

12月18日にすべての小割より各3尾をサンプリングし、各試験区の外部所見及び解剖所見を得るとともに、サンプルの半身の筋肉の成分分析を定法により行った。併せて、血液凝固防止剤として100mMのEDTA-2Na溶液を0.1mL含むシリンジを用いて、魚体の尾丙部より1サンプル当たり1.5mLの採血をおこない、血液検査を実施した。

試験終了時に飼育成績（増重率、増肉係数、死亡率）の算出を行い、従来の飼育方法（対照区）と比較し、試験飼料は対照飼料よりも10%コストカットになると仮定し、次式からコスト削減率を試算した。

コスト削減率＝100－（試験区の増肉係数×0.9）/対照区の増肉係数

【結果および考察】

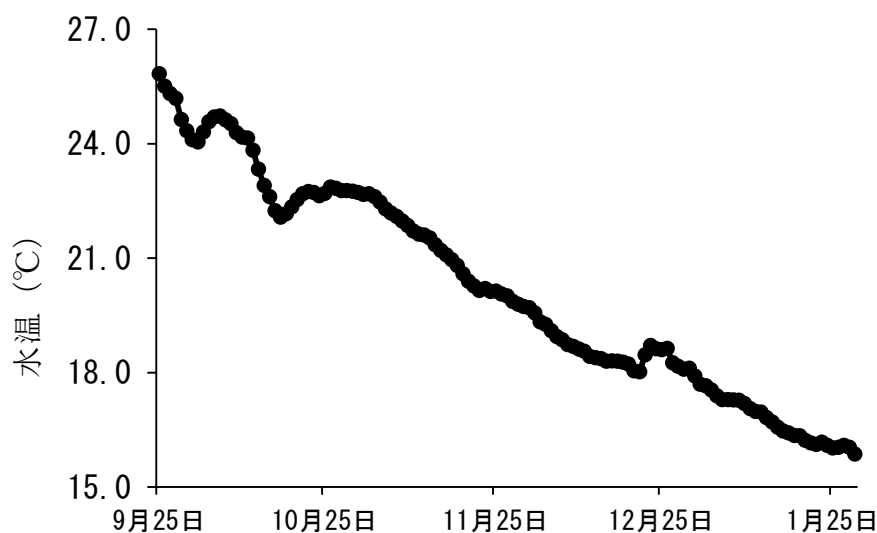
地先 3m 層における水温は、飼育開始時の 25.8℃から試験終了時には 15.9℃に低下した（図ウ 3-1）。試験開始時の平均魚体重は試験飼料区①が 652g、試験飼料区②が 665g、対照飼料区が 661g であった。試験終了時の平均魚体重は試験飼料区①が 1141.1g、試験飼料区②が 1189.2g、対照飼料区が 1180.2g であった（図ウ 3-2）。試験開始時の平均魚尾叉長は試験飼料区①が 311mm、試験飼料区②が 312mm、対照飼料区が 312mm であった。試験終了時の平均尾叉長は試験飼料区①が 360mm、試験飼料区②が 361mm、対照飼料区が 363mm であった（図ウ 3-3）。平均魚体重および尾叉長は各試験区ともに同等の成長を示し、肥満度はほぼ同じであった（図ウ 3-4）。

試験開始時から試験終了時までの飼育成績の概要を表ウ 4-1 に示す。増肉係数は試験飼料区②が 2.16 と最も低く、試験飼料区①と比べ、早く秋期用に切り替えた方が本試験期間ではコストが抑えられると考えられる。

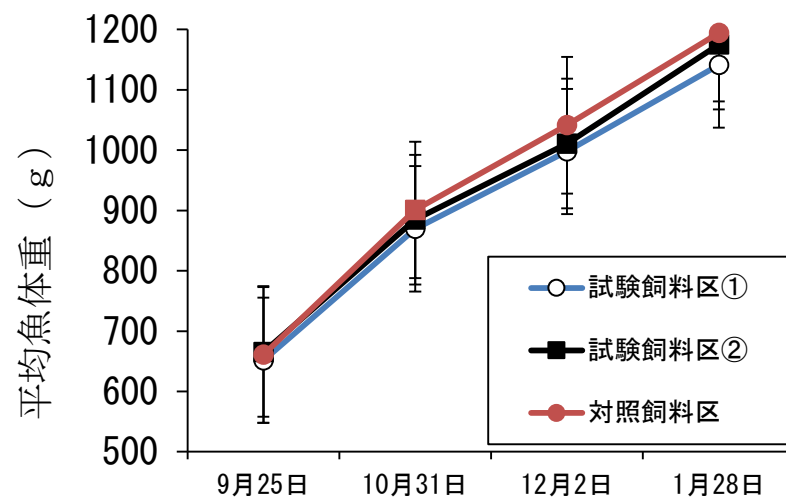
血液検査および血漿性化学性状に有意な違いは見られなかったことから（表ウ 3-2、3-3）、健康状態は良好であったと考えられた。試験期間中にみられた試験魚の死亡原因は主にエドワジエラ症であったが、魚粉削減が起因する魚病発生とは関連がないと考えられた。

身質成分では、粗脂肪に関して試験飼料区で少し高く、試験飼料区①では低い結果となり、他の成分は同等であった（表ウ 3-4）。飼料切り替えにより効率よく脂肪成分の吸収ができ、体内へ蓄積したと考えられる。

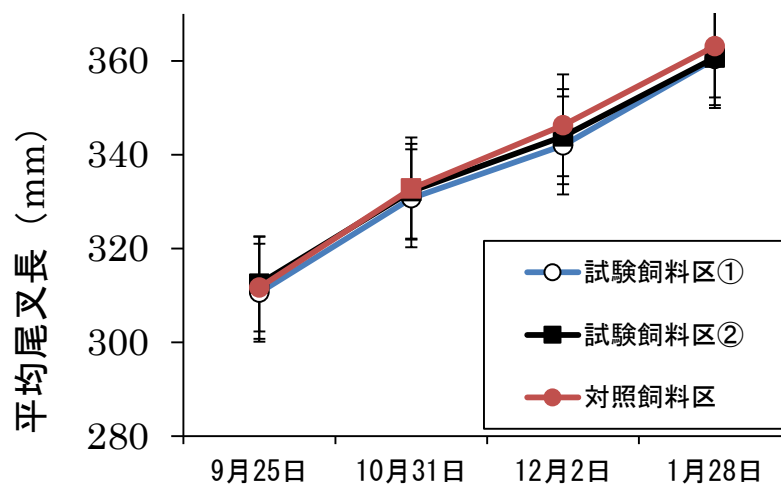
各試験区の増肉係数からコスト削減効果を試算したところ、試験飼料区①では 10.20、試験飼料区②では 15.28 と試験飼料②の方が 5 ポイントほど高くなることが明らかとなった。前述の実証試験では高水温期のコスト削減効果が高く、今回の結果から、コスト削減効果は 11 月に切り替えた方が高まったことが明らかとなった。



図ウ 3-1 2019 マダイ飼育試験における地先水温の推移（愛媛水研）

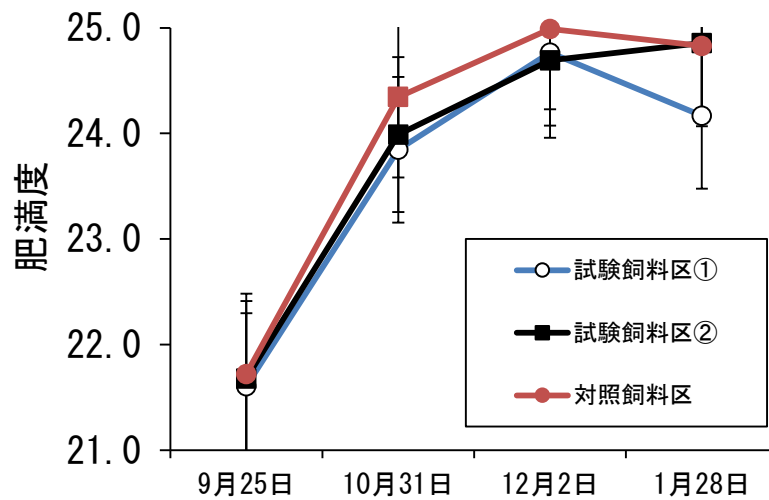


図ウ 3-2 マダイ飼育試験における平均魚体重の推移 (2019、愛媛水研)



図ウ 3-3 マダイ飼育試験における平均魚尾叉長の推移 (2019、愛媛水研)

試験飼料区①：11 月に対照飼料に切替え、試験飼料区②1 月に対照飼料に切替え



図ウ 3-4 マダイ飼育試験における肥満度の推移 (2019、愛媛水研)

試験飼料区①：11月に対照飼料に切替え、試験飼料区②1月に対照飼料に切替え

表ウ 3-1 マダイ飼育試験における飼育成績 (2019 9/25~1/29) (2019、愛媛水研)

区	尾数	平均魚体重 (g)		増重量 (g)	増肉係数	日間摂餌率 (%)	死亡率 (%)
		開始時	終了時				
試験飼料区①	45	651±0.33	1,141±9.18	490	2.29	0.85	3.3
試験飼料区②	45	665±11.33	1,175±2.84	510	2.16	0.78	4.4
対照飼料区	45	662±7.11	1,194±6.18	532	2.29	0.91	0.0

試験飼料区①：11月に対照飼料に切替え、試験飼料区②1月に対照飼料に切替え

表ウ 3-2 試験魚の血液性状および比肝臓重量 (2019、愛媛水研)

区	赤血球数 ($\times 10^4/\text{mm}^3$)	ヘモグロビン含量 (g/100mL)	ヘマトクリット値 (%)	比肝臓重量 (%)
試験飼料区①	360±124	12.5±4.5	45.2±16	13.9±1.7
試験飼料区②	396±103	13.9±3.8	50.1±13	10.6±1.3
対照飼料区	420±104	15.1±4.0	53.2±13	11.8±1.5

平均値±標準偏差 (N=6)

試験飼料区①：11月に対照飼料に切替え、試験飼料区②1月に対照飼料に切替え

表ウ 3-3 試験魚の血液性状および比肝臓重量 (2019、愛媛水研)

区	グルコース (mg/100mL)	総タンパク (g/100mL)	総コレステロール (mg/100mL)	トリグリセリド (mg/100mL)	総ビリルビン (mg/100mL)
試験飼料区①	52.5±11.5	3.4±0.4	212±30.5	295±133.9	0.5±0.13
試験飼料区②	51.3±15.2	3.5±0.6	194±45.6	280±148.3	0.5±0.27
対照飼料区	51.3±10.2	3.1±0.6	228±45.5	337±13.5	0.3±0.06

平均値±標準偏差 (N=6)

試験飼料区①：11月に対照飼料に切替え、試験飼料区②1月に対照飼料に切替え

表ウ 3-4 各試験魚の身質の成分分析値 (2019、愛媛水研)

組成分 (%)	試験飼料区①	試験飼料区②	対照飼料区
水分	70.0±1.12	71.1±0.16	72.1±0.45
粗灰分	1.7±0.02	1.4±0.01	1.4±0.00
粗タンパク質	17.0±0.15	16.7±0.47	17.0±0.86
粗脂肪	6.4±0.64	9.7±0.66	7.2±0.43

平均値±標準誤差 (N=2)

試験飼料区①：11月に対照飼料に切替え、試験飼料区②1月に対照飼料に切替え

表ウ 3-5 2019 愛媛県における実証試験のコスト削減効果

区	増肉係数 (通期)	コスト削減率
試験飼料区①	2.29	10.20
試験飼料区②	2.16	15.28
対照飼料区	2.29	

試験飼料区①：11月に対照飼料に切替え、試験飼料区②1月に対照飼料に切替え

【参考文献】

特になし

【事業推進上の問題点】

特になし

【成果の公表】

- ・令和元年度 愛媛県農林水産研究所水産研究センター試験研究成果情報交換会にて成果報告
- ・愛媛県農林水産研究所 水産研究センター・栽培資源研究所「水研センターだより」第 12 号に記載予定
- ・事業終了後に低魚粉飼料の普及に向けたマニュアル作成の予定

4) 作出された低魚粉適応家系マダイの遺伝的特性

実施機関・担当者名：

国立研究開発法人水産研究・教育機構中央水産研究所 水産生命情報研究センター・柳本卓

【背景・目的】

近年、魚粉高騰のため養殖魚の餌として低魚粉に適応した系統作成が重要である。その対策として、愛媛県水産試験場では、マダイを低魚粉で飼育して F4 まで継代飼育している。本研究では、この F4 の遺伝的特性を明らかにすることを最終目的とする。

昨年度、愛媛県水産試験場で低魚粉適応マダイについて、mtDNA と MS-DNA 分析で多様性がなかった。今年度は、まず、これが手法の問題であるかを検討するため、天然魚の収集を行い、mtDNA 分析を行い、天然マダイと継代飼育のマダイと比較した。また、核 DNA 網羅的に調べる方法の GRAS-Di 分析を行った。

【方法】

愛媛県水産試験場が低魚粉化で継代飼育したマダイ F3 と F4、養殖場から購入したマダイを用いた。また、対象として、神奈川県横浜市の柴漁港で漁獲された天然マダイを用いた。それぞれ個体ごとに鱗の一部を摘出し、エタノール固定した。これらの一部を QuickGene (WAKO) によって DNA を抽出した。mtDNA の COI 領域を増幅するユニバーサルプライマーとして、L5956 (5' -cacaaagacattggcaccct-3') と H6558 (5' -cctcctgcagggtcaaagaa-3') を用いた (Palumbi, 1991)。また、D-Loop 領域を増幅するユニバーサルプライマーとして、L15924 (5' -agctcagcgccagagcgccggtcttgtaaa-3') と H16498 (5' -cctgaagtaggaaccagatg-3') を用いた (Tabata and Taniguchi, 2000)。

サーマルサイクラーとして ABI9700 (Applied Biosystems) を用いた。PCR 反応は、最初に 94℃2 分加熱し、その後、94℃30 秒、55℃30 秒、72℃2 分を 35 サイクル行い、最後に 72℃で 7 分加熱した。PCR 反応溶液は、粗 DNA 溶液 1 μ l、2.5mM dNTP 溶液 2.5 μ l、10×Buffer (TaKaRa) 2.5 μ l、50 μ M の各プライマー 0.5 μ l、TaKaRa Ex HS Taq Polymerase 0.125U、総量が 25 μ l になるように超純水を加えたものである。PCR 産物を 1.5%アガロースゲル (NuSieve3:1、TaKaRa) で電気泳動し、エチジウムブロマイド染色によって増幅産物の確認をした。増幅産物を ExoSAP-IT (GE-Healthcare) により精製した。それぞれの領域について、精製した増幅産物をテンプレートとして、BigDyeTerminatorKitVer3.1 (Applied Biosystems) によりシーケンス反応を行った。シーケンス反応には、PCR で用いたのと同じプライマーを用いた。シーケンス反応物をエタノール沈殿で精製した後、ABI PRISM 3730XL Genetic Analyzer (Applied Biosystems) で電気泳動して塩基配列を決定した。

また、核 DNA 分析として GRAS-Di 分析を行った。ライブラリ調整を行った後、HiSeq4000 (illumina) で分析を行った。

【結果および考察】

天然マダイについて mtDNA の COI 領域の塩基配列分析を行った結果、全部で 115 個体の 454 塩基を決定した。天然マダイでは、ハプロタイプが 8 個出現し、ハプロタイプ多様度は 0.662 であった。また、平均塩基置換数は 0.963 で塩基多様度は 0.002 であった。昨年度、分析した低魚粉適応マダイ F3 と F4 はすべて同じ塩基配列になり多様性はなく、また民間由来のマダイの塩基配列は二つのハプロタイプが出現したのみで、天然マダイは高い多様性があった。(表ウ 5-1)。ペアワイズ FST 分析を行ったところ、継代飼育している F3 と F4 と民間と東京では遺伝的異質性はなかったが、他の組み合わせでは遺伝的な異質性があった(表ウ 5-2)。mtDNA COI 領域を分析したマダイの系統樹を作成したところ、継代飼育のマダイは民間のマダイのハプロタイプの一つであり、民間マダイから低魚粉にて継代飼育したことが再確認できた。また、低魚粉マダイは東京湾の天然マダイとは大きく離れていた(図ウ 5-1)。

mtDNA D-Loop 領域の塩基配列分析の結果では、全部で 83 個体の約 626 塩基を決定した。出現ハプロタイプ数は天然で 24、民間で 5、F4 で 2 であった。ハプロタイプ多様度は天然で 0.991、民間で 0.690、F4 で 0.060 であった。平均塩基多様度は天然で 13.319、民間で 6.56、F4 で 0.060 であった。塩基多様度は天然で 0.021、民間で 0.010、F4 で 0.0001 あった。多様性は天然、民間、F4 の順に高かった(表ウ 5-3)。ペアワイズ FST 分析を行ったところ、すべての組み合わせで遺伝的な異質性があった(表ウ 5-4)。mtDNA D-Loop 領域を分析したマダイの系統樹を作成したところ、継代飼育のマダイは民間のマダイのハプロタイプから派生していることが明らかで、民間マダイから低魚粉にて継代飼育したことが再確認できた。また、低魚粉マダイは東京湾の天然マダイとは大きく離れていた(図ウ 5-2)。Gras-Di 分析の結果については、現在解析中である。

mtDNA 分析の結果、天然マダイに比べて、民間、継代飼育で多様性が減少していることが明らかになった。低魚粉に特化した遺伝的な特性が固定されている可能性がある。今後、核 DNA 分析の結果から、継代飼育群の遺伝的な特徴が明らかになっていく可能性がある。

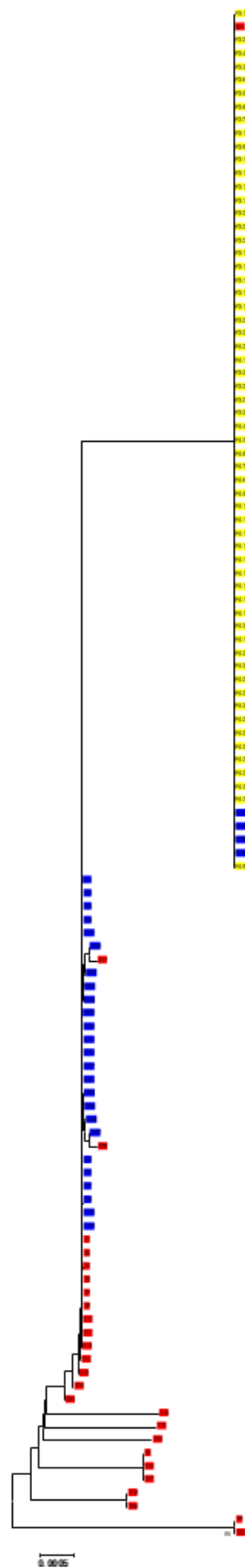
表ウ 4-1 マダイの 4 系統の mtDNA COI 領域の塩基配列分析結果 (2019)

ハプロタイプ	民間	養殖魚 低魚粉適応魚系		天然
		F3	F4	東京
1	25	0	0	15
2	4	28	32	1
3	0	0	0	2
4	0	0	0	1
5	0	0	0	1
6	0	0	0	1
7	0	0	0	3
8	0	0	0	2
合計	29	28	32	26
ハプロタイプ数	2	1	1	8
ハプロタイプ多様度	0.246	0	0	0.662
平均塩基置換数	0.246	0	0	0.963
塩基多様度	0.001	0	0	0.002

表ウ 4-2 マダイの 4 系統の mtDNA COI 領域の塩基配列によるペアワイズ F_{ST} 分析

	民間	東京	F4	F3
民間		0.009±0.009	0.000±0.000	0.000±0.000
東京	0.040		0.000±0.000	0.000±0.000
F4	0.863	0.687		0.991±0.003
F3	0.855	0.671	0	

上は P 値、下は F_{ST} 値を示す。



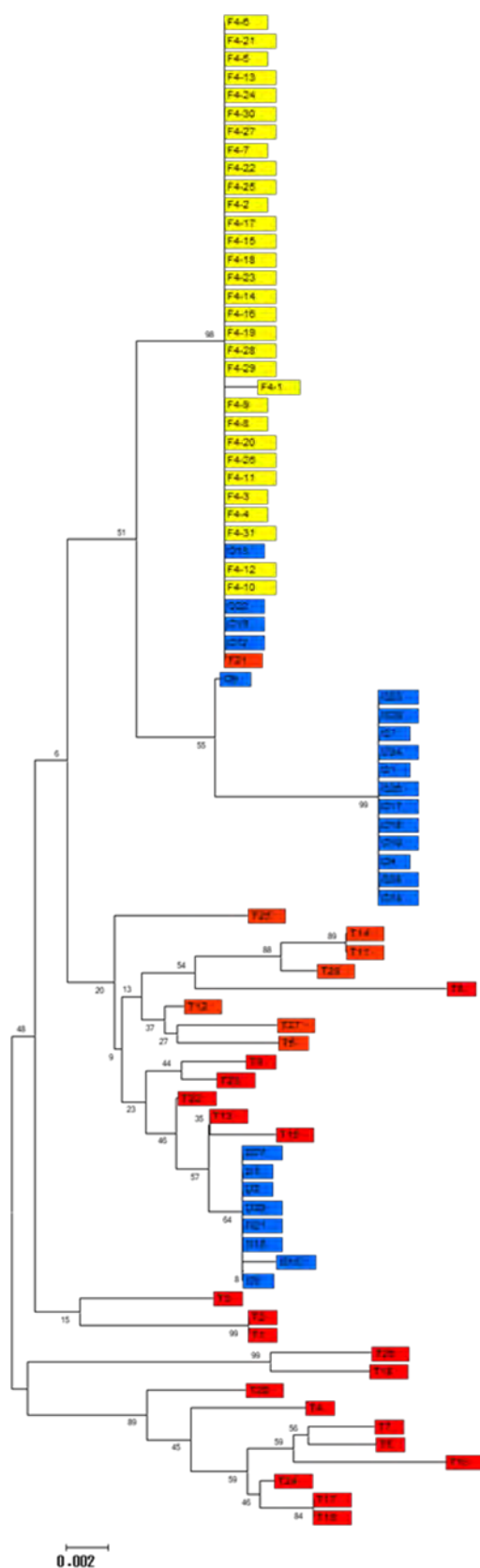
図ウ 4-1 低魚粉適応マダイ F3、F4、民間、東京湾天然マダイの mtDNA C0I 領域の塩基配列を用いた NJ 系統樹、黄色は継代飼育 F3 と F4、青は民間、赤は東京湾を示す。

表ウ 4-3 マダイの 3 系統の mtDNA D-Loop 領域の塩基分析結果 (2019)

ハプロタイプ	養殖		天然 東京
	民間	F4	
1	7	0	0
2	0	0	1
3	12	0	0
4	4	10	1
5	0	0	1
6	0	0	1
7	0	0	1
8	0	0	2
9	0	0	1
10	0	0	1
11	1	0	0
12	0	0	1
13	0	0	1
14	0	0	1
15	0	0	1
16	0	0	1
17	0	0	2
18	0	0	1
19	0	0	1
20	0	0	1
21	0	0	1
22	1	0	0
23	0	0	1
24	0	0	1
25	0	0	2
26	0	1	0
27	0	0	1
28	0	0	1
29	0	0	1
合計	25	11	27
ハプロタイプ数	5	2	24
ハプロタイプ多様度	0.690	0.182	0.991
平均塩基置換数	6.560	0.182	13.319
塩基多様度	0.010	0.000	0.021

表ウ 4-4 マダイの 3 系統の mtDNA D-Loop 領域の塩基配列によるペアワイズ F_{ST} 分析結果

	民間	F4	東京湾
民間		0.60677	0.22219
F4	0.000 ± 0.000		0.43701
東京湾	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	0



図ウ 4-2 低魚粉適応マダイ F4、民間、東京湾天然マダイの mtDNA D-Loop 領域の塩基配列を用いた NJ 系統樹、黄色は継代飼育 F4、青は民間、赤は東京湾を示す。

【参考文献】

- ・ Palumbi S. et al., 1991. Simple fool's guide to PCR、 Ver2.0. Department of Zoology, Kewlo Marine Laboratory, University of Hawaii, Honolulu.
- ・ Tabata K. Taniguchi N. 2000. Differences between Pagrus major and Pagrus auratus through mainly mtDNA control region analysis. Fisheries Science. 66: 9-18.

【事業推進上の問題点】

特になし

【成果の公表】

- ・ 水産学会で発表予定
- ・ 事業終了後に低魚粉飼料の普及に向けたマニュアル作成の予定

エ 技術開発検討会の設置

検討会等は、以下のように開催した。

○第1回技術開発検討会（設計会議）

日 時：令和元年5月8日（水）

場 所：愛媛県農林水産研究所水産研究センター栽培資源研究所

開催概要：今年度事業計画を確認した。

出席者：評価委員（秋山、越塩）、水産研究・教育機構：本部（藤原）、：中央水産研究所（鈴木、石田、小林、柳本、相馬）、：増養殖研究所（浜野）、東京海洋大学（佐藤）、東町漁業協同組合（上野）、長崎県総合水産試験場（宮原）、愛媛県農林水産研究所（佐々木）、日清丸紅飼料（株）（興石）

○中間報告会

日 時：令和2年1月10日（金）

場 所：中央水産研究所

開催概要：中間結果の報告と、報告書の中間とりまとめを行った。

出席者：水産研究・教育機構：本部（桑原、尾島）、：中央水産研究所（鈴木、大村、石田、柳本）、：増養殖研究所（坂見）、東京海洋大学（佐藤）東町漁業協同組合（浦）、長崎県総合水産試験場（宮原）、愛媛県農林水産研究所（中島、佐々木）、日清丸紅飼料（株）（興石）

○第2回技術開発検討会年（度末報告会）

日 時：令和2年2月26日（水）

場 所：中央水産研究所

開催概要：本年度の結果報告と、報告書のとりまとめを行った。欠席の越塩評価委員からのコメントは事前に入手済み。

出席者：評価委員（秋山）、水産庁栽培養殖課（武部）、水産研究・教育機構中央水産研究所（鈴木、大村、石田、東畑、柳本）、東京海洋大学（佐藤）、東町漁業協同組合（浦）、長崎県総合水産試験場（桑原、宮原）、愛媛県農林水産研究所（中島、佐々木）、日清丸紅飼料（株）（興石）