

赤潮の早期検知と海水からの病原体検出技術の開発

Ⅱ 赤潮発生時における餌止めが養殖マダイに及ぼす影響

増養殖環境課 山下 樹徹

1 目的

赤潮発生時における養殖魚の死亡を防ぐ一般的かつ簡便な方策の一つとして餌止め（給餌休止）があげられる。しかし、養殖業者が、餌止めによる魚体重減少や品質低下による経済的損失を危惧し、赤潮発生時でも給餌を継続したために養殖魚を死亡させてしまった、という事例が散見される。

一方、魚類では一定期間の絶食後に給餌を再開すると、給餌を続けた個体よりも高成長を示す「補償成長」と呼ばれる現象が知られている（黒原・渡辺 2014）。ここで、赤潮被害防止策としての餌止めによる養殖魚の成長停滞あるいは体重減少に関して、補償成長の効果によってその後回復できることを示すことができれば、養殖業者が餌止めに敬遠することがなくなると考えた。

そこで、マダイ *Pagrus major* を海面小割生簀と陸上水槽で飼育し、赤潮発生時又はそれを想定した餌止めを行って成長や品質に及ぼす影響を調べた。

2 材料及び方法

(1) 海面小割生簀での実際の赤潮発生時における餌止め試験

供試魚には、2020（令和2）年4月30日に県内の種苗生産事業者から導入し、平均体重538gまで予備飼育した人工種苗マダイを用いた。飼育試験は2021（令和3）年4月28日から10月27日までの187日間行った。浦ノ内湾にある当試験場の海面小割生簀（3.3×3.3×3.3m）3面に供試魚を350尾ずつ収容し、試験区Ⅰ、Ⅱ及びⅢとした。給餌は、週5日1日1回の飽食給餌を基本とし、試験区Ⅱ及びⅢでは表1のとおり餌止めを実施した。小割網の交換は2週間に1回の頻度で行い、その際に各区30尾ずつ無作為に抽出し、魚類・甲殻類用麻酔剤（DSファーマアニマルヘルス株式会社製、FA100）によって麻酔を施して個体ごとの体重を測定した。体重測定の当日と前日は無給餌とした。

予備飼育と試験には市販のマダイ用EP飼料（日清丸紅飼料株式会社製、マダイEPスーパー）を用いた。当該飼料の魚粉配合割合は50%であり、分量は、粗たんぱく質47.0%以上、粗脂肪13.0%以上、粗繊維3.0%以下、粗灰分15.0%以下、カルシウム1.70%以上、りん1.20%以上であった。

表1 海面小割生簀での試験区

試験区	内容
Ⅰ	通常給餌（週5日1日1回の飽食給餌）
Ⅱ	小割生簀付近で赤潮観測時に餌止め
Ⅲ	Ⅱに加え、同湾内の遠方（湾奥部）で赤潮観測時にも餌止め

※体重測定の当日と前日は無給餌とした。

(2) 陸上水槽での赤潮発生を想定した任意期間の餌止め試験

1) 飼育試験

供試魚には、(1) と同一ロットの人工種苗を予備飼育し、平均体重 877g まで成長したマダイを用いた。飼育試験は 2021 (令和 3) 年 8 月 11 日から 11 月 17 日までの 99 日間行った。長さ 6.0m×幅 1.5m×深さ 0.7m の FRP 製水槽 4 基に供試魚を 40 尾ずつ収容し、試験区 A、B、C 及び D とした。飼育水には紫外線殺菌したろ過海水を用い、注水量がいずれも同量になるように調整した (12 回転/日)。給餌は、土日を除く週 5 日 1 日 1 回の飽食給餌を基本とし、餌止め期間は高水温期である 8~9 月に設定した (表 2 参照)。2 週間に 1 度の頻度で全個体に (1) と同じ魚類・甲殻類用麻酔剤で麻酔を施し、個体ごとの体重を測定した。この測定の当日と前日は無給餌とした。予備飼育と試験には (1) と同じ EP 飼料を用いた。

表 2 陸上水槽での試験区

試験区	内容
A	通常給餌 (週 5 日 1 日 1 回の飽食給餌)
B	2 週間絶食後、通常給餌
C	3 週間絶食後、通常給餌
D	2 週間絶食、2 週間給餌、2 週間絶食の後、通常給餌

※¹ 体重測定の当日と前日は無給餌とした。

※² 試験区 B~D の絶食開始日は 8 月 19 日。

2) 破断強度の測定

鮮度低下に伴う筋肉の物性変化を評価するために、破断強度を測定した。試験終了後の 11 月 22 日に、各試験区から無作為に 6 尾ずつ抽出した供試魚を即殺後、海水氷内で 1 時間冷却してからスキンレスロインまで解体し、各個体の左側背節を試料とした。試料は 2℃ に設定した恒温恒湿庫で保管し、即殺からそれぞれ 6、24、48、72 及び 96 時間後に筋繊維の方向と垂直に幅 1cm に切断して測定に供した。測定に際しては、レオメーター (株式会社サン科学製、CR-500DX) に φ 3mm の円柱型プランジャーを取付け、測定速度 60mm/分、最大荷重 2kg で筋隔膜を避けてプランジャーが進入するようにし、同一試料についてそれぞれ 5 回測定したうえで最高と最低値を除いた 3 つの値の平均値を当該試料の値とした。

3) 可食部の一般化学成分分析

破断強度の測定で解体したスキンレスロインのうち、各個体の右側背節を冷凍し、試料とした。試料は、県工業技術センターにおいてホモジナイズするとともに、粗タンパク質はケルダール法で、粗脂肪はソックスレー抽出法で分析した。水分及び灰分の分析は水産試験場において、それぞれ常圧加熱乾燥法及び直接灰化法で分析した。

4) 食味試験

11 月 29 日に各試験区から供試魚を 3 尾ずつ取り上げて即殺し、24 時間氷蔵した後にスキンレスロインまで解体し、そのうちの背節を刺身調理して食味試験に供した。評価項目は、①外観 (色、つや)、②脂ののり具合、③旨味、④歯ごたえ及び⑤総合評価の 5 項目とし、ア

ンケート形式で19名（県水産関係職員17名及び民間企業職員2名、男女比＝13:6）の参加者それぞれが5段階評価で採点した結果を集計した。

3 結果

(1) 海面小割生簀での実際の赤潮発生時における餌止め試験

表3に飼育成績を、図1に試験期間中における平均体重の推移を示す。試験期間中の水温（正午、深度2m）は、19.1～30.7℃の範囲で推移した（図2）。

試験区Ⅱは、5月7日、6月28日から7月5日及び7月9日の赤潮観測に伴う餌止めによって体重が減少し、7月7日及び7月21日の測定で試験区Ⅰとの間に有意差があったものの、8月4日における測定の平均値では試験区Ⅰを僅かに上回り、それ以降の測定でも体重に有意差は無かった。

試験区Ⅲは、5月7日、6月15日から6月17日、6月24日から7月15日、8月19日から8月30日及び9月9日から10日の6期間に赤潮観測に伴う絶食を行った。7月7日の体重測定で試験区Ⅰとの間に有意差が認められ、7月21日の測定では試験区Ⅱとの間にも有意差があった。その後は給餌再開で回復傾向にあったものの、8月19日からの絶食によって再び体重が減少し、試験終了まで試験区Ⅰ及びⅡとの間に有意差が認められた。また、餌止めが長期化すると、体表の所々で鱗が剥離しているような症状を呈する個体が散見されるようになった。

表3 海面小割生簀での飼育成績

項目\試験区		I (96日給餌)	II (88日給餌)	III (66日給餌)
尾数	開始時	350	350	350
	終了時	317	313	325
生残率(%)		91	89	93
平均体重(g) ※	開始時	552 ± 46	575 ± 64	555 ± 67
	終了時	1,417 ± 156	1,378 ± 163	1,231 ± 117
総給餌量(kg)		583	577	481

※ 平均値 ± 標準偏差

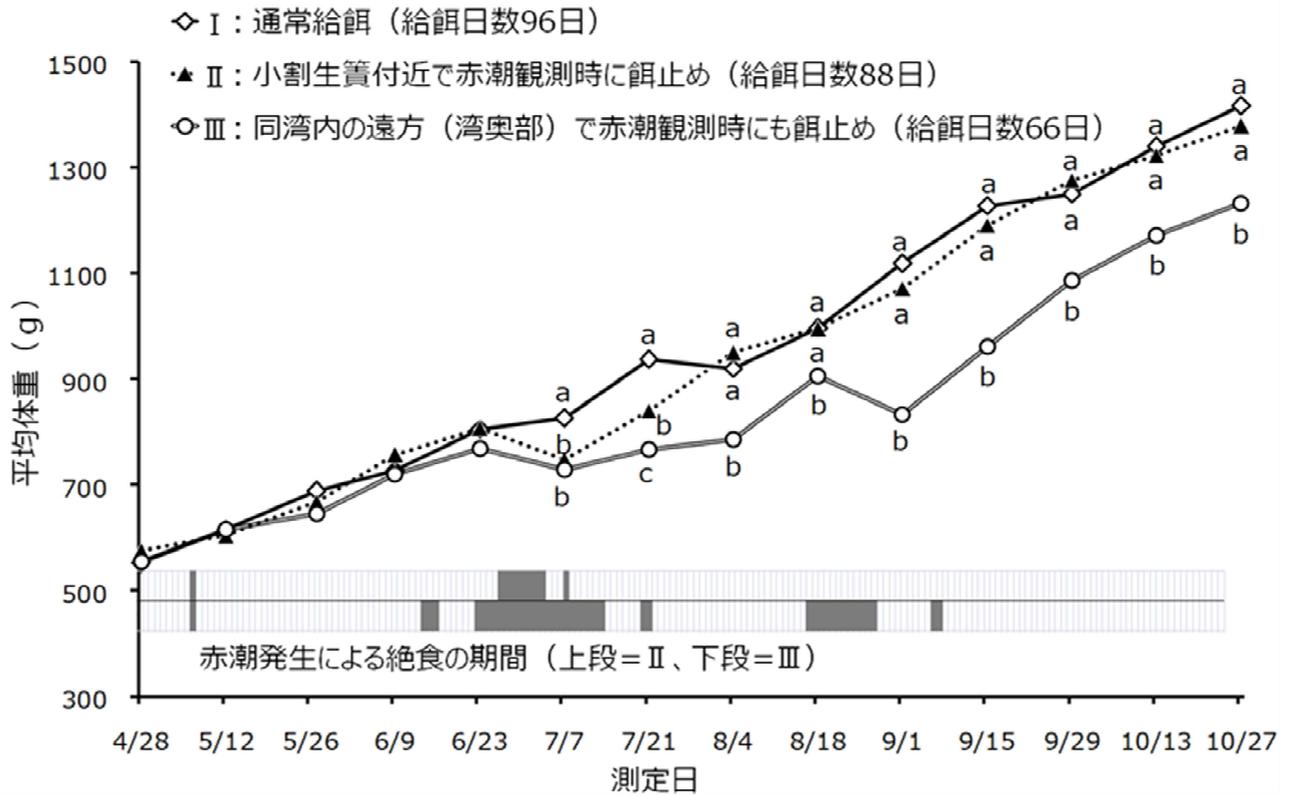


図1 海面小割生簀における各試験区の平均体重の推移

※同一測定日の試験区間において、アルファベットが異なるときは有意差があることを示す (Tukey-Kramer 法、 $p < 0.05$ 、 $n = 30$)

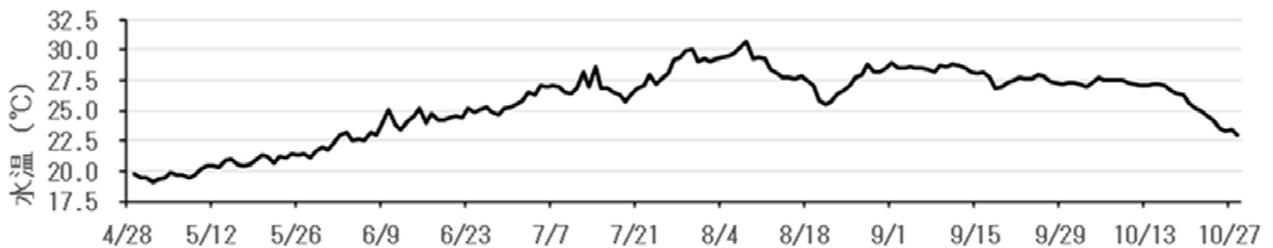


図2 試験期間中における海面小割生簀水温 (-2m: 正午) の推移

(2) 陸上水槽での赤潮発生を想定した任意期間の餌止め試験

1) 飼育試験

表4に飼育成績を、図3に試験期間中における平均体重の推移を示す。試験期間中の水温は、 $21.0 \sim 28.7^\circ\text{C}$ の範囲で推移した (図4)。

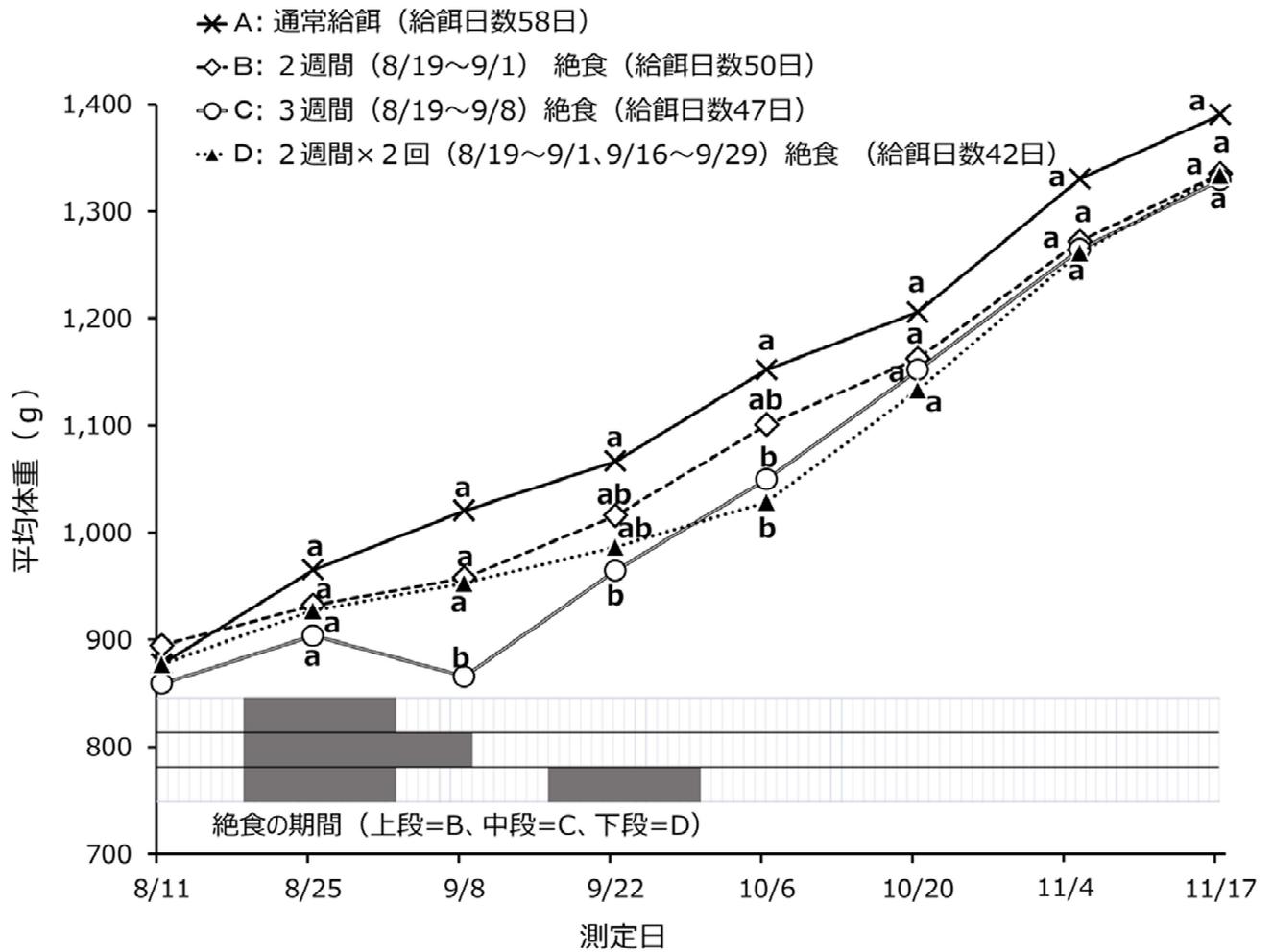


図3 陸上水槽における各試験区の平均体重の推移

※同一測定日の試験区間において、アルファベットが異なるときは有意差があることを示す (Tukey-Kramer 法、 $p < 0.05$ 、 $n = 40 \sim 38$)

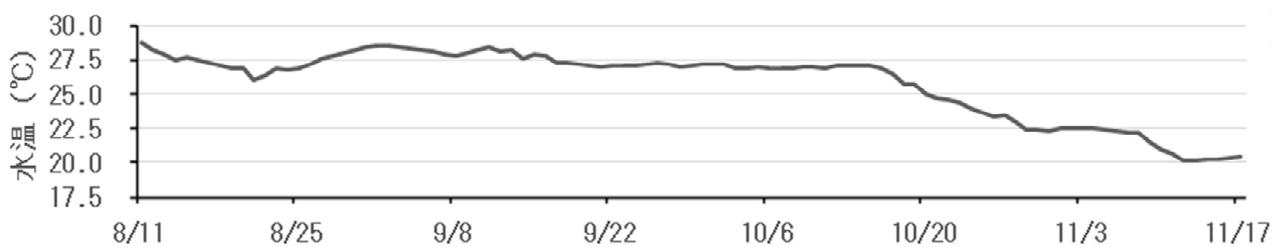


図4 試験期間中における陸上水槽水温 (正午) の推移

表4 陸上水槽での飼育成績

項目\試験区		A (通常給餌)	B (2週間餌止め)	C (3週間餌止め)	D (2週間×2餌止め)
尾数	開始時	40	40	40	40
	終了時	38	39	40	39
生残率 (%)		95.0	97.5	100.0	97.5
平均体重 (g) ※ ¹	開始時	877 ± 105	895 ± 106	859 ± 111	877 ± 141
	終了時	1,390 ± 179	1,335 ± 178	1,329 ± 199	1,334 ± 254
総重量 (kg)	開始時	35.1	35.8	34.4	35.1
	終了時	52.8	52.1	53.2	52.0
総給餌量 (kg)		28.9	25.8	26.3	24.2
飼料効率 (%) ※ ²		68.4	68.2	71.4	73.5

※¹ 平均値 ± 標準偏差

※² (終了時総重量 - 開始時総重量 + 死亡魚の総重量) / 総給餌量

試験区Bは2週間の絶食によって成長が停滞したものの、試験開始から終了までのいずれの測定においても試験区Aとの間に有意差はなかった。

試験区Cは、3週間の絶食によって体重が減少し、9月8日の測定で他の3区との間に有意差があったが、その後の給餌再開によって回復し、10月20日の測定時には他の試験区との間に有意差はなくなった。

試験区Dは2週間毎の絶食・給餌・絶食によって成長が停滞し、10月6日の測定で試験区Aとの間に有意差があったが、10月20日の測定時には有意差はなくなった。

試験期間中の飼料効率は、合計の絶食期間が最も長かった試験区D(2週間×2回餌止め)が73.5%と最も良好であり、それについて3週間絶食したC区の71.4%がそれに次いで高く、2週間絶食したB区と通常給餌のA区はほぼ同じであった。

2) 破断強度の測定

図5に破断強度の測定結果を示す。すべての経過時間において有意差は認められなかった(Kruskal-Wallis検定、 $p > 0.05$, $n=6$)。

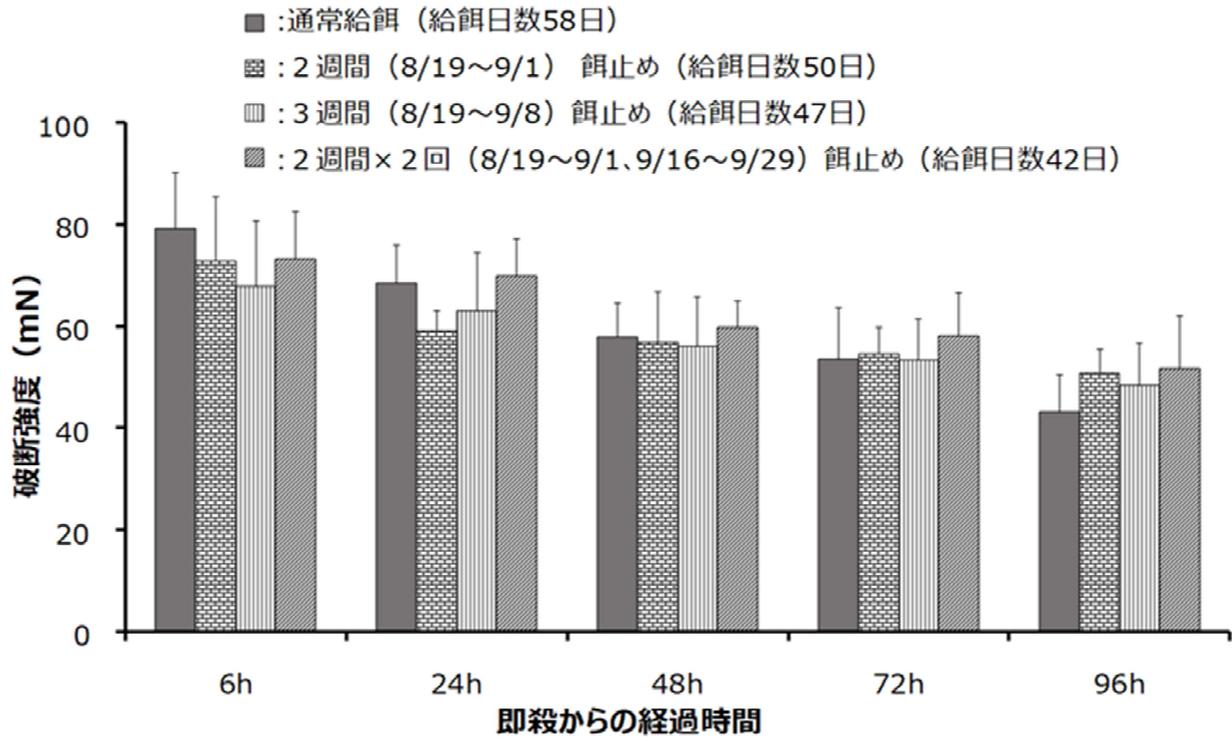


図5 各試験区における破断強度の推移（エラーバーは標準偏差）
 すべての経過時間において試験区間に有意差は認められなかった（Kruskal-Wallis 検定、 $p>0.05$ 、 $n=6$ ）

3) 可食部の一般化学成分分析

表5に一般化学成分の分析結果を示す。すべての項目において試験区間で有意差はなかった（Kruskal-Wallis 検定、 $p>0.05$ 、 $n=6$ ）。

表5 試験魚可食部（右側背節）の一般化学成分（%）

項目\試験区	通常給餌	2週間餌止め	3週間餌止め	2週間×2回餌止め
水分	70.9 ± 1.3	72.5 ± 1.0	71.2 ± 1.5	71.8 ± 0.7
粗タンパク質	21.8 ± 0.5	22.5 ± 0.4	22.3 ± 0.4	22.5 ± 0.5
粗脂肪	6.1 ± 1.5	4.4 ± 1.1	5.1 ± 2.0	4.7 ± 0.8
粗灰分	1.4 ± 0.03	1.5 ± 0.01	1.4 ± 0.05	1.4 ± 0.02

※数値は平均±標準偏差

4) 食味試験

図6に食味試験の集計結果を示した。すべての項目において試験区間に有意差はなかった（Kruskal-Wallis 検定、 $p>0.05$ 、 $n=19$ ）。

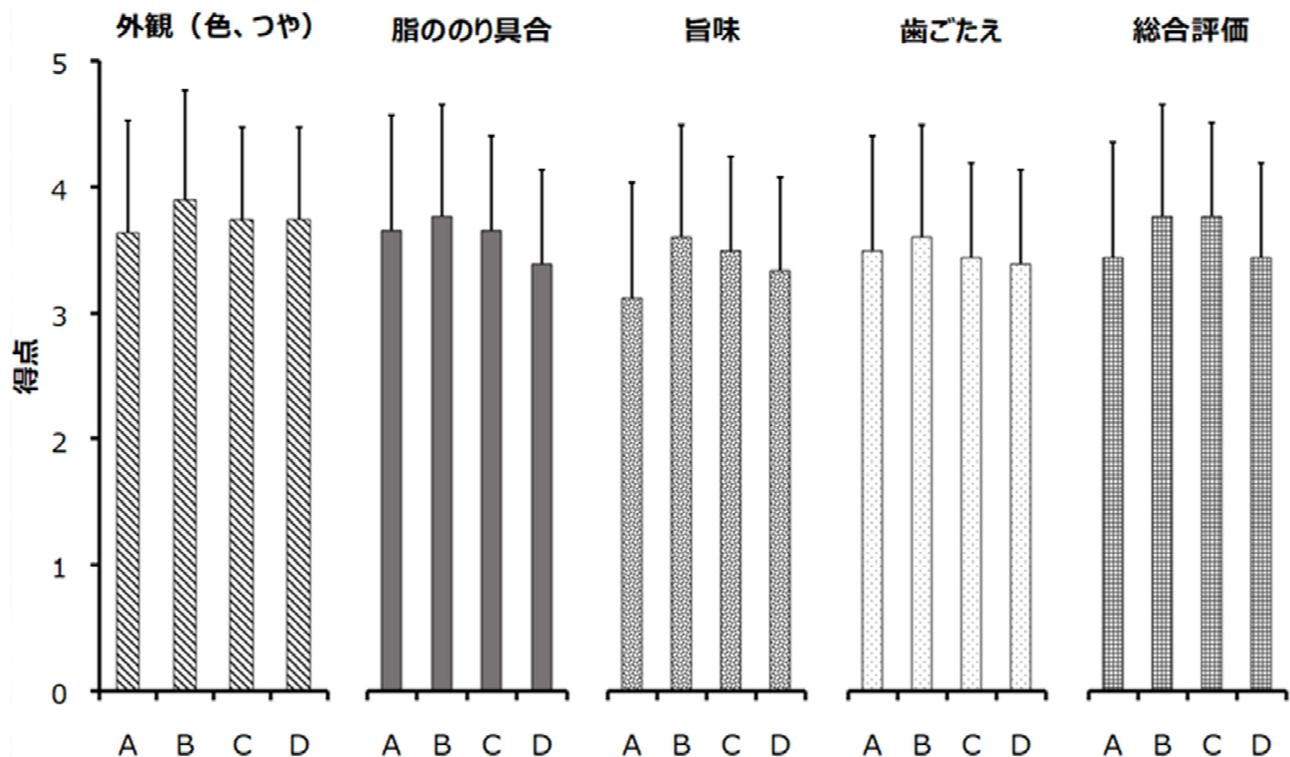


図6 食味試験の結果（エラーバーは標準偏差）

すべての項目において試験区間に有意差はなかった（Kruskal-Wallis 検定、 $p>0.05$ 、 $n=19$ ）

4 考察

本研究では、一定期間の餌止めにおける補償成長の効果を示すとともに、その限界や課題についても明らかにした。

小割生簀における飼育試験の結果から（図1）、3週間以上の長期絶食後、さらに絶食を重ねた場合は、補償成長の限度を超えることが示された。さらに、餌止めが長期化すると、体表の所々で鱗が剥離しているような症状を呈する個体が散見されるようになった。この原因については、地元養殖業者から噛み合いの可能性を指摘された。

また、同試験の結果から飼料効率を検証しようとしたものの、試験期間の後半でエドワジエラ症の発生によって供試魚が相次いで死亡し、終了時に確認した尾数と記録上の尾数に若干の誤差があったことから、正確な値を算出することができなかった。

陸上水槽における飼育試験の結果から（図3）、高水温期における2、3週間の絶食あるいは2週間2回の絶食を2週間の給餌を挟んで行ったとしても、補償成長によって給餌を続けた場合の成長に追い付くこと示された。当試験場で過去に行われた低水温期における0及び1歳魚のマダイを用いた検証で、4週間までの絶食であれば、補償成長の効果によって通常給餌区に成長が追い付き、場合によっては飼料の節約効果があったことが報告されており（黒原・渡辺 2014、黒原 2015）、今回の試験においても同様の結果となった（表4）。

また、破断強度（図5）、一般化学成分分析（表5）及び食味試験（図6）の結果でも、品

質に関する特段の影響は確認されなかった。

これらのことから、赤潮被害防止策としての餌止めによる養殖魚の減量は、限度はあるものの、給餌再開後の補償成長により回復が期待できるため、量的・質的な損失を懸念する必要は無く、場合によっては飼料節約効果も得られる可能性があることが示された。

5 謝辞

マダイ可食部の一般化学成分分析については、県工業技術センター食品開発課にご協力頂いた。記して感謝の意を表する。

6 引用文献

黒原健朗・渡辺貢（2014）養殖技術向上化試験．平成 24 年度高知県水産試験場事業報告書, 110, 122-148

黒原健朗（2015）養殖技術向上化試験．平成 23 年度高知県水産試験場事業報告書, 111, 144-161