ブリ（当歳魚）の成長と脂質代謝における 色落ちノリ添加飼料の効果

深田 陽久,* 田所 大二, 古谷 尚大,
好井 覚大, 森岡 克司, 益本 俊郎

(2008年7月9日受付, 2008年9月22日受理)

高知大学農学部

Effect of discolored *Porphyra* meal supplemented-diet on growth performance
and lipid metabolism in yearling yellowtail (*Seriola quinqueradiata*)

HARUHISA FUKADA,* DAIJI TADOKORO, TAKAHIRO FURUTANI,
KAKUTA YOSHII, KATSUJI MORIOKA AND TOSHIRO MASUMOTO

Faculty of Agriculture, Kochi University, Nankoku, Kochi 783-8502, Japan

For the beneficial use of discolored *Porphyra yezoensis* (purple laver), we investigated the effects of adding *Porphyra* meal to diet on the growth performance and lipid metabolism in yearling yellowtail *Seriola quinqueradiata*. Yearling yellowtails were fed extruded pellets containing 0, 2, or 4% of *Porphyra* meal for 40 days. The growth performance (i.e., feed efficiency, protein efficiency ratio, and specific growth rate) did not differ significantly among the dietary groups; however, the performance was slightly higher in the 2% *Porphyra* meal-supplemented diet group and slightly lower in the 4% *Porphyra* meal-supplemented diet group. In the liver, the lipogenic enzyme activity increased in the 4% *Porphyra* meal-supplemented diet group and the hepatic gluconeogenic enzyme activity significantly increased in all the *Porphyra* meal-supplemented diet groups. In the 2% *Porphyra* meal-supplemented diet group, enzyme activity related to fatty acid oxidation was slightly higher in the liver and significantly higher in the dark muscle. These results indicated that the addition of *Porphyra* meal to fish feed affects lipid metabolism in yearling yellowtail.

キーワード：色落ちノリ，脂質代謝，飼料，成長，代謝酵素，ブリ

ノリ *Porphyra yezoensis* は日本の食生活において重要な食品であるが，近年，日本各地で多量の「色落ちノリ」と呼ばれる低品質のノリが発生し，深刻な問題となっている。色落ちノリは外見上，通常のノリと比較して黒みが乏しく，タンパク質含量やアミノ酸含量が低く食用に適さない。そのため買い手がつかず，落札されないまま破棄されてしまう。今後も色落ちノリは発生し続けると考えられるため，色落ちノリの有効利用の検討が必要である。

これまで，魚類において藻類や藻類抽出物の養魚飼料への添加効果が確認されており，抗病性の増大，¹⁾ ストレス耐性，²⁻⁵⁾ タンパク質効率の向上，⁴⁻⁶⁾ 絶食期間中の体重減少の抑制，^{2,3)} さらに脂質代謝において脂質蓄積の調整や脂質のエネルギーへの転換能の向上^{2,3)} が認めら

れている。これらのことから，色落ちノリの有効利用方法の一つとして養魚飼料への添加があげられる。

ブリ *Seriola quinqueradiata* を用いた研究でも，コンブ粉末や不稔性アオサ等の藻類を飼料に添加することにより，飼料効率やタンパク質効率の改善，脂質蓄積の増大または抑制，脂質のエネルギー転換能の改善等が観察されている。⁷⁻⁹⁾ これらの効果には，脂質の代謝が深く関わっていると考えられる。魚類の中でもブリの様な魚食性の魚は，その生命活動のエネルギー源としてタンパク質または脂質を利用している。¹⁰⁾ そのため，ブリの配合飼料は魚粉と魚油を主成分として製造されている。¹⁰⁾ 主タンパク源である魚粉は比較的高価であり，またタンパク質がエネルギー源として用いられた場合，窒素排泄物が増加し環境負荷を増大させてしまう。そのため，タ

* Tel and Fax : 81-88-864-5156. Email : fukaharu@kochi-u.ac.jp

ンパク源が不必要にエネルギー源として利用されることは好ましくない。¹¹⁾ 脂質をエネルギー源として利用することによって、飼料効率やタンパク質効率の改善等が可能となり、養魚の成長を促すことが可能になると思われる。脂質の利用性には、脂質代謝系酵素が深く関わっている。魚類における脂質(脂肪酸)合成系酵素として、ペントースリン酸回路の phosphogluconate dehydrogenase (PGDH) および glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PDH) が知られている。これらの酵素は飼料の脂質含量や糖質添加によって影響を受けることがブリにおいて報告されている。¹²⁻¹⁴⁾ 脂質(脂肪酸)分解系酵素としては、ミトコンドリアのマトリクス内に存在する carnitine palmitoyltransferase (CPT) や carnitine palmitoyltransferase II (CPTII) が脂肪酸の β -酸化に関わっており、^{15,16)} 魚類の palmitoyl-L-carnitine や遊離脂肪酸の β -酸化活性は肝臓より血合筋で高いことが大西洋サケ *Salmo salar*,¹⁶⁾ ニジマス *Oncorhynchus mykiss*¹⁷⁾ および大西洋サバ *Scomber scombrus*¹⁸⁾ で確認されている。

そこで、本研究では飼料への色落ちノリ添加が肝臓の脂肪酸合成系酵素 (G6PDH および PGDH) と肝臓と血合筋における脂肪酸分解系酵素 (CPTII) の活性に与える影響に着目した。また、脂質からエネルギーが産生されていることを確認するため、脂質代謝系酵素に加えて糖代謝系酵素とアミノ酸系代謝酵素についても併せて測定を行い、色落ちノリ添加飼料がブリ当歳魚の成長と脂質代謝へ与える影響を観察することを目的として試験を行った。

材料および試験方法

試験飼料 各試験飼料の配合組成および一般成分を Table 1 に示す。本研究では、沿岸魚粉を主タンパク質源とし、小麦粉、デンプン、大豆油粕、コーングルテンミールおよび魚油等からなる飼料を基本飼料とした。色落ちノリ(乾燥ササビノリ *Porphyra yezoensis* 粉末)は、外割りで 0, 2, および 4 % で添加した。各飼料(直径 6 mm, 長さ 5 mm)は日本農産工業㈱(横浜)にて、二軸エクストルーダー(形式 DNDG-62 型, ビューラー社, スイス)を用いて成型した。

全試験飼料の水分、灰分および粗タンパク質含量は AOAC 法(AOAC 1995)¹⁹⁾ で、粗脂肪含量は、メタノール・クロロホルム抽出法²⁰⁾ によって測定した。粗タンパク質含量は約 41%, 粗脂肪含量は約 21%, 粗灰分含量は約 9 % と類似していた。

供試魚および飼育方法 供試魚には、2007 年に高知県土佐湾沖で採捕され、試験開始まで市販の EP 飼料で予備飼育したブリ当歳魚を用いた。その中から選抜した平均体重 243 g のブリを 6 つの 1 トン容 FRP 製円形水

Table 1 Ingredients and proximate composition of the experimental diets

Ingredients (%)	Control	<i>Porphyra</i> 2%	<i>Porphyra</i> 4%
Fish meal	51.1	51.1	51.1
<i>Porphyra</i> meal	—	2.0	4.0
Fish oil	19.0	19.0	19.0
Wheat flour	12.0	12.0	12.0
Soybean meal	5.0	5.0	5.0
Corn gluten meal	5.0	5.0	5.0
α -starch	5.0	5.0	5.0
Vitamin mix	1.6	1.6	1.6
Mineral mix	1.3	1.3	1.3
Total	100.0	102.0	104.0
Composition (%)			
Crude protein	41.3	42.6	39.4
Crude lipid	21.1	20.5	22.7
Moisture	8.4	7.1	11.0
Ash	9.2	9.7	9.0

Vitamin mix and mineral mix were added according to the instructions of NOSAN Corp.

槽に 18 尾ずつ収容した。色落ちノリを 0, 2 および 4 % 添加した飼料を給餌する試験区をそれぞれ対照区、色落ちノリ添加 2 % 区および色落ちノリ添加 4 % 区とした。飼育試験は二重試験区で行った。

試験期間中、供試魚には各試験飼料を 1 日 1 回、総魚体重に対して 3 % の量で給与した。給餌量は、10 日ごとの魚体重測定の結果に基づいて調整した。試験期間中の水温および溶存酸素量はそれぞれ、23.6~26.6°C および 4.66~6.20 mg L⁻¹ で推移した。以上の飼育試験はすべて、高知県香南市赤岡町のヒラメ養殖施設にて行った。

試料の採取 開始時、10, 20, 30 および終了時の 40 日目に、各試験区の総魚体重を測定した。試験開始 20 日目および 40 日目には各試験水槽から 5 尾ずつ無作為に取り出し、血液を得た。採血後、その 5 尾よりフィレー(左半身)および肝臓を採取し、一般成分分析に供した。酵素活性分析のために、右半身の血合筋と先に採取した肝臓から肝臓片を得た。一般成分分析用試料と酵素活性用試料は、分析時までそれぞれ -20°C と -80°C で保存した。

成長成績および飼料効率 魚体重および給餌量に基づいて試験終了時の生存率、飼料効率、日間給餌率、日間成長率、タンパク質効率、肥満度および比肝重値を算出した。

血清成分 血清成分として総タンパク質、グルコース、総コレステロールおよびトリグリセリド濃度を、DRI-CHEM3500V(富士フィルム㈱, 東京)で測定し

た。

フィレー, 肝臓および飼料の一般成分 フィレーおよび肝臓は, 各試験水槽から採取した5尾分をホモジナイズし, プールしたものを1試料として一般成分分析に供した。フィレーおよび肝臓における水分, 粗タンパク質, 粗脂肪および粗灰分含量は AOAC 法 (AOAC 1995) により測定した。¹⁹⁾

代謝酵素活性の測定

1. 酵素液の調整

脂質分解系酵素 (CPTII) 測定用 肝臓または血合筋を量りとり, 9 倍量のホモジナイズ用緩衝液 (0.25 M sucrose, 1 mM EDTA, 3 mM Tris-HCl, pH 7.2) を加えた後にホモジナイズした。その後, 4°C, 500 × g で 15 分間遠心した。上清 500 μL を 1.5 mL マイクロチューブにとり, ホモジナイズ用緩衝液を 1000 μL 加えて攪拌し, 4°C, 14000 × g で 10 分間遠心分離した。遠心後, 上清を捨て, ホモジナイズ用緩衝液を 1000 μL 追加して攪拌し, 4°C, 14000 × g で 10 分間遠心分離した。上清を捨てた後に沈澱を 500 μL のホモジナイズ用緩衝液を加えて, 攪拌し, これを CPTII 活性測定用粗酵素液とした。粗酵素溶液のタンパク質濃度は, ウシ血清アルブミンをスタンダードとして BCA protein assay kit (Pierce, USA) を用いて決定した。

脂質分解系 (CPTII) 以外の酵素活性測定用 サンプルを試験管に量りとり, 9 倍量のホモジナイズ用緩衝液でホモジナイズし, その後 15000 × g で 20 分間遠心分離をした。上清を回収し, これを粗酵素液とした。粗酵素溶液のタンパク質濃度は, 上述の方法で測定した。

2. 各酵素の測定方法

Carnitine palmitoyltransferase II (CPTII, EC 2.3.1.21), Phosphofructokinase (PFK, EC 2.7.1.11), Fructose-1,6-bisphosphate (FBPase, EC 3.1.3.11), Glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PDH, EC 1.1.1.49) および 6-phosphogluconate dehydrogenase (PGDH, EC 1.1.1.44) は既報の方法²¹⁻²³⁾に従って測定した。吸光度の測定には UV-1600 (株式会社島津製作所, 京都) を使用した。酵素活性は, nmol min⁻¹ mg protein⁻¹ で表した。

Aspartate aminotransferase (AST, EC 2.6.1.1) および Alanine aminotransferase (ALT, EC 2.6.1.2) AST および ALT の活性は市販の臨床検査用キット (トランスアミナーゼ CII-テストワコー, 和光純薬工業株式会社 (大阪)) を用いて測定した。酵素活性は測定条件下で 1 分間における基質または補酵素の変化量を nmol で表し, タンパク質 1 mg あたりの活性として表した。

統計処理 得られた値は全て GraphPad Prism ver.4.0 (Graphpad software, Inc., CA, USA) を用いて, 一元配

置の分散分析に引き続き, チューキーの多重比較検定を行い, 危険率 5 % における有意差を判定した。

結 果

成長成績および飼料効率 試験終了時の成長成績を Table 2 に示した。全試験区で弊死魚は無かった。平均体重, 飼料効率, タンパク質効率, 日間成長率および日間給餌率に関して, 試験区間で有意差はみられなかったが, 色落ちノリ 2 % 添加区が最も高値を示し, 色落ちノリ 4 % 添加区が最も低値であった。比肝重値は全ての試験区間で有意差は無かったが, 色落ちノリ 2 % 添加区が他の試験区より低い値を示した。肥満度は全ての試験区間で有意差は無かった。

フィレーおよび肝臓の一般成分 試験終了時のフィレーおよび肝臓の一般成分を Table 3 に示した。フィレーおよび肝臓の一般成分に有意な差はなかったが, 他の試験区と比較して, 色落ちノリ 2 % 添加区で粗脂肪含量が低かった。

血清成分 試験開始 20 日目の測定結果は各試験区間で有意な差がみられなかったため, 試験終了時の血清成分の濃度のみを Table 4 に示した。総タンパク質濃度およびトリグリセライド濃度は, 全ての試験区間で有意な差は無かった。グルコース濃度は, 有意差は認められなかったものの, 色落ちノリ添加によって増加する傾向が

Table 2 Growth performance and feed efficiency of yearling yellowtail fed the experimental diets

	Dietary group		
	Control	Porphyra 2%	Porphyra 4%
Initial body weight (g)	244.7 ± 5.6	243.5 ± 5.8	241.1 ± 4.6
Final body weight (g)	373.6 ± 6.6	380.7 ± 2.6	359.1 ± 4.6
Feed efficiency (%) ^{*1}	72.3 ± 4.7	75.2 ± 0.9	70.0 ± 0.5
Protein efficiency ratio ^{*2}	1.60 ± 0.10	1.69 ± 0.03	1.58 ± 0.01
Specific growth rate (% day ⁻¹) ^{*3}	1.06 ± 0.05	1.12 ± 0.02	1.00 ± 0.00
Daily feed intake (% bw day ⁻¹) ^{*4}	1.60 ± 0.04	1.62 ± 0.01	1.56 ± 0.01
Hepatosomatic index (%) ^{*5}	1.20 ± 0.07	1.10 ± 0.05	1.20 ± 0.08
Condition factor ^{*6}	1.73 ± 0.02	1.78 ± 0.03	1.71 ± 0.04
Survival rate ^{*7}	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00

Values are mean ± SE of duplicate tanks (feed efficiency, protein efficiency ratio, daily feeding rate and survival rate), 10 fish (hepatosomatic index and condition factor) or 18 fish (final body weight).

^{*1} g wet weight gain/g feed intake × 100.

^{*2} g wet weight gain/g protein intake.

^{*3} [ln (g final average body weight) - ln (g initial average body weight)]/days.

^{*4} 100 × g feed intake / [(initial fish number + final fish number) / 2 × (g initial average body weight + g final average body weight) / 2] / feeding days.

^{*5} g individual liver weight/g individual body weight.

^{*6} 100 × [g individual body weight / (cm individual fork length)³].

^{*7} 100 × (final fish number / initial fish number).

Table 3 Proximate composition of filet and liver of yearling yellowtail fed the experimental diets

	Dietary group		
	Control	<i>Porphyra</i> 2%	<i>Porphyra</i> 4%
<i>Filet</i> (%)			
Moisture	68.1±0.1	69.1±0.0	69.1±0.3
Protein	21.5±0.0	22.3±0.1	22.2±0.4
Lipid	9.80±0.22	9.05±0.16	9.72±0.63
Ash	1.62±0.00	1.51±0.03	1.64±0.11
<i>Liver</i> (%)			
Moisture	57.1±3.4	58.7±0.4	57.3±3.3
Protein	11.2±0.0	12.1±0.0	10.7±0.4
Lipid	25.1±1.7	22.8±2.5	26.0±0.72
Ash	1.72±0.02	1.56±0.06	1.48±0.44

Values are mean±SE of duplicate tanks.

Table 4 Serum total protein, glucose, triglyceride and total cholesterol levels of yearling yellowtail fed the experimental diets

	Dietary group		
	Control	<i>Porphyra</i> 2%	<i>Porphyra</i> 4%
Total protein (g 100 mL ⁻¹)	3.50±0.15	3.30±0.25	3.84±0.13
Glucose (mg 100 mL ⁻¹)	125.2±10.6	134.1±11.1	159.0±11.3
Triglyceride (mg 100 mL ⁻¹)	122.3±6.1	115.7±7.2	129.9±11.6
Total cholesterol (mg 100 mL ⁻¹)	242.0±8.9 ^a	238.3±15.3 ^a	286.2±8.1 ^b

Values (mean±SE of 10 fish) in the same line not sharing a common superscript letter are significantly different ($P<0.05$).

みられた。総コレステロール量は、色落ちノリ添加4%区で他の試験区に対して有意な高値を示した。

代謝酵素活性 試験開始20日目の測定結果は各試験区間で有意な差がみられなかったため、試験終了時(40日目)の代謝酵素活性のみをTable 5に示した。

1. 解糖系および糖新生系 肝臓 PFK 活性は、色落ちノリ添加区で対照区より高値を示したが、有意差はなかった。肝臓 FBPase 活性は、両色落ちノリ添加区で対照区より有意に高い値を示した。

2. 脂質合成系酵素 肝臓の PGDH 活性は、ノリ添加割合とともに増加し、色落ちノリ添加4%区は対照区に対して有意に高かった。G6PDH 活性は、PGDH 活性と同様にノリ添加割合の増加によって上昇し、色落ちノリ添加4%区では対照区と色落ちノリ添加2%区に対して有意な高値を示した。

3. 脂質分解系酵素 肝臓 CPTII 活性は、全試験区間で有意な差は見られなかったが、色落ちノリ添加2%区で最も高値を示した。血筋筋 CPTII 活性では、色

Table 5 Metabolic enzyme activities of yearling yellow-tail fed the experimental diets

Enzyme activity (nmol min ⁻¹ mg protein ⁻¹)	Dietary group		
	Control	<i>Porphyra</i> 2%	<i>Porphyra</i> 4%
PFK	5.17±0.34	6.08±0.55	5.90±0.74
FBPase	28.6±1.6 ^a	37.7±2.1 ^b	39.6±2.1 ^b
PGDH	38.2±5.7 ^a	44.7±3.8 ^{ab}	58.3±5.3 ^b
G6PDH	32.8±8.6 ^a	43.8±6.4 ^a	84.7±14.4 ^b
CPTII (liver)	0.706±0.145	1.070±0.240	0.696±0.070
CPTII (dark muscle)	4.45±0.49 ^{ab}	5.22±0.81 ^b	2.22±0.42 ^a
AST	1093±107	1076±125	921±86
ALT	751±43	776±71	716±48

The enzyme activity of phosphofructokinase (PFK), fructose-1,6-bisphosphate (FBPase), phosphogluconate dehydrogenase (PGDH), glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PDH), aspartate aminotransferase (AST), and alanine aminotransferase (ALT) in liver, and carnitine palmitoyltransferase II (CPTII) in liver and muscle. Values (mean±SE of 8–10 fish) in the same line not sharing a common superscript letter are significantly different ($P<0.05$).

落ちノリ添加2%区の活性が、色落ちノリ添加4%区より有意に高くなった。

4. アミノ基転移酵素 肝臓の AST 活性と ALT 活性は、全試験区間で有意な差は認められなかったが、色落ちノリ添加4%区では、他の試験区に比べて低い値を示した。

考 察

本試験では、色落ちノリ添加飼料を与えたブリ（当歳魚）の成長、体成分および代謝酵素の変化を調べた。色落ちノリ添加2%では、平均体重、増重率、飼料効率およびタンパク質効率が対照区に比べてわずかに改善される傾向が見られたが、色落ちノリ添加4%区では逆に低下が認められた。藻類添加量の増加による成長への影響は、不稔性アオサを用いたブリ当歳魚の飼育試験においても観察されている。⁸⁾ 不稔性アオサ添加3%では、増重、飼料効率およびタンパク質効率は対照区に対して高くなった。しかしながら、不稔性アオサ6%以上の添加では、それらの項目は摂餌率とともに著しく低下した。藻類の添加割合に関して、同様の結果がアオサ粉末を用いたクロダイ *Acanthopagrus schlegelii* での飼料効率やタンパク質効率でも観察されており、至適添加量は2.5～5%とされている。³⁾ ブリにおける飼料への藻類添加による摂餌率および成長の低下は、クロレラ抽出物(1%)やコンブ粉末(0.5%)の添加でもみられている。⁷⁾ これらのことから、藻類の飼料への過剰な添加は摂餌率の低下を引き起こし、その結果として成長が低下すると考えられている。しかしながら、本研究では一定量で給餌を行ったにもかかわらず成長が低下したことから、色落ちノリ添加による飼料の消化・吸収率の低下や代謝の変化等の摂餌性以外の要因があると思われる。

これまでブリ当歳魚と1歳魚において、海藻類を飼料に添加することによって筋肉中の脂肪含量が影響を受けることが観察されている。⁷⁻⁹⁾ コンプ粉末 (0.5%) の添加では脂質含量が増加し,⁷⁾ 不稔性アオサ (3%) の添加では減少した。^{8,9)} また、不稔性アオサの添加では、脂質の蓄積が抑えられているにもかかわらず、飼料効率が高くなった。これらのことから、海藻類がブリの脂質代謝に影響を与えていると考えられてきた。本研究の色落ちノリ添加2%区では、フィレーと肝臓の一般成分分析で粗脂肪含量の低下が認められ、飼料効率は他の2試験区より高かった。一方、色落ちノリ4%添加区でのフィレーおよび肝臓の粗脂肪含量は、対照区と同等であったが、飼料効率は他の2試験区より低くなった。代謝酵素に着目してみると、脂肪酸合成酵素であるPGDH および G6PDH が色落ちノリ添加4%区で対照区に対して有意に高い値を示していた。これらのことから、色落ちノリ添加4%区では、他の2試験区に比べて脂肪酸の分解よりも脂肪酸合成 (脂質合成) が盛んであると考えられる。血中の総コレステロール量が色落ちノリ添加4%区で上昇していることも脂質合成の活性化を支持するものである。脂肪酸分解酵素である肝臓のCPTII活性は、色落ちノリ添加2%区では対照区に比べてやや高値を示し、血合筋のCPTII活性でも、色落ちノリ添加2%区で高くなった。これらのことから、色落ちノリ添加2%区では、脂肪酸の分解が促進されていると考えられる。このような藻類による脂質代謝への影響はマダイ *Pagrus major* で観察されており、飼料中への藻類の一種であるスピルリナ添加 (3%) によって、G6PDH活性がやや上昇し、CPT活性が増加することが確認されている。¹⁵⁾ その酵素活性の上昇要因として、スピルリナに含まれるビタミンCの効果が示唆されている。スサビノリにもビタミンCが含まれているため、²⁴⁾ 本試験の色落ちノリ2%添加区でも同様の効果が得られたと考えられる。しかしながら、色落ちノリ4%添加区では、CPTIIの活性が低下していることから、ブリにおける色落ちノリによる代謝酵素活性の変化の要因についてはさらなる研究が必要である。上記の組織中の粗脂肪含量と脂質代謝酵素活性を併せて考慮すると、色落ちノリはブリ当歳魚の脂質代謝に影響を与えることが明らかとなり、その作用は添加割合によって異なると思われる。

これまでの研究において、飼料への藻類添加によって飼料効率やタンパク質効率が改善する原因として、脂質がエネルギー源として有効に使われていることが考えられている。²⁻⁵⁾ 脂肪酸からエネルギーを産生するために必要な経路である β -酸化に深く関わっているCPTII¹⁶⁾の活性測定では、肝臓と血合筋ともに色落ちノリ添加2%区が他の2試験区よりも高値を示していた。グル

コースを生成する糖新生反応の律速酵素であるFBPaseの活性は、色落ちノリ添加区で有意に高値を示していた。Metonら²⁵⁾の報告に従い、糖新生系酵素 (FBPase) 活性と解糖系酵素 (PFK) 活性比 (FBPase/PFK) を求めると、対照区、ノリ添加2%区およびノリ添加4%区でそれぞれ、5.53, 6.20, 6.71となった。このことから、飼料中への色落ちノリ添加によって糖新生 (グルコース生成) の流れが強くなることが示された。このことは、血中のグルコース量が色落ちノリ添加割合に依存して増加する傾向を示していることから明らかである。また、アミノ基転移酵素であるASTとALTの肝臓での活性は、色落ちノリ添加2%区では対照区とほぼ同一の値であったが、色落ちノリ添加4%区は対照区より低い値を示した。ASTとALTは、飼料中のタンパク質含量に依存して活性が上昇し、窒素の排泄量も伴って増加することが報告されている。¹¹⁾ このことからアミノ基転移酵素活性の上昇は、タンパク質からのエネルギー産生を意味するものと考えられる。色落ちノリ添加の割合が2%ではアミノ酸 (タンパク質) の利用はほとんど影響を受けないが、4%ではやや低下することが示された。しかしながら、色落ちノリ添加4%区のタンパク質効率は対照区と差異が無かった。これは、タンパク質効率を求める式の特長から、必ずしもタンパク質の利用効率を反映しないためだと考えられた。脂質分解系酵素活性と糖新生系酵素活性の上昇と組織中の脂肪含量の減少から、適量のノリ添加 (2%) によって脂質のエネルギー源または糖質源としての利用が向上したと考えられる。しかしながら、成長成績には栄養素利用の変化が有意な差となって表れなかったため、今後、より長期にわたる試験や飽食条件での検討が必要と思われる。過剰の色落ちノリ添加 (4%) では、タンパク質の分解がやや抑制されているが、脂質の分解よりも糖質や脂質の合成が盛んになり、利用されず血中にグルコースやコレステロールとして滞留してしまうことが示された。

以上、本研究の結果からブリ当歳魚において、色落ちノリを飼料に添加することによって、過剰量の添加 (4%) では成長の低下が認められ、代謝では脂質代謝系酵素 (合成・分解)、糖新生系酵素およびアミノ基転移酵素が影響を受けることが分かった。また、色落ちノリのブリにおける代謝系への作用は、添加割合によって異なり、添加2%では脂質分解と糖新生が促され、添加4%では脂質合成と糖新生が促進されることが確認された。

謝 辞

本研究は、JF 全国漁業協同組合連合会による養殖水産物有効利用推進事業の一部として行われた。飼料の作製は、日本農産工業株式会社三津幸氏と比留間聡氏に行っ

て頂いた。また、本研究に関して中川平介名誉教授には数々の有益なコメントを頂いた。この場をお借りして皆様にお礼申し上げます。

文 献

- 1) 中川平介, 笠原正五郎, 宇野悦央, 見奈美輝彦, 明楽公男. 養殖アユの抗病性に及ぼすクロレラ添加飼料の効果. 水産増殖 1981; **29**: 109-116.
- 2) Nakagawa H, Kasahara S, Tsujimura A, Akira K. Changes body composition during starvation in *Chlorella*-extract fed ayu. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 1984; **50**: 665-671.
- 3) 中川平介, 笠原正五郎, 杉山英之, 和田 功. クロダイに対するアオサ添加飼料の効果. 水産増殖 1981; **32**: 20-27.
- 4) 中川平介, 熊井英水, 中村元二, 笠原正五郎. 養殖ハマチに及ぼすクロレラエキス添加飼料の効果—II 血液性状からみた負荷（空气中放置）抵抗力への効果. 水産増殖 1982; **30**: 76-83.
- 5) 中川平介, 笠原正五郎, 宇野悦央, 見奈美輝彦, 明楽公男. 養殖アユの血液性状, 体成分に及ぼすクロレラエキス添加飼料の効果. 水産増殖 1983; **30**: 192-201.
- 6) Kalla A, Yoshimatsu T, Araki T, Zhang DM, Yamamoto T, Sakamoto S. Use of *Porphyra* speroplasts as feed additive for red sea bream. *Fish. Sci.* 2008; **74**: 104-108.
- 7) 中川平介, 熊井英水, 中村元二, 笠原正五郎. 養殖ハマチの血液・体成分に及ぼす藻類添加飼料の効果. 日水誌 1985; **51**: 279-286.
- 8) 浜渦敬三, 山中弘雄. ブリに対する不稔性アオサ添加飼料の効果. 水産増殖 1997; **45**: 357-363.
- 9) 浜渦敬三, 森岡克司, 高木雅成, 小島 渥. ブリの体色と肉質に及ぼす不稔性アオサ添加飼料の影響. 水産増殖 1997; **47**: 89-95.
- 10) Watanebe T. Strategies for further development of aquaculture feeds. *Fish. Sci.* 2002; **68**: 242-252.
- 11) Sá R, Pousão-Ferreira P, Olivia-Teles A. Effect of dietary protein and lipid levels on growth and feed utilization of white sea bream (*Diplodus sargus*) juveniles. *Aquaculture Nutr.* 2006; **12**: 310-321.
- 12) 示野貞男, 細川秀毅, 竹田正彦, 高山三圭, 福井章夫, 佐々木広治. 飼料脂質に対するハマチ肝臓酵素の適応. 日水誌 1981; **47**: 63-69.
- 13) Shimeno S, Kheyyali D, Takeda M. Metabolic adaptation to prolonged starvation in carp. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1990; **56**: 35-41.
- 14) 示野貞男, 竹田正彦, 高山三圭, 福井章夫, 佐々木広治, 梶山英俊. 飼料炭水化物に対するコイ肝臓の適応. 日水誌 1981; **47**: 71-77.
- 15) Nakagawa H, Mustafa MG, Takii K, Umino T, Kumai H. Effect of dietary catechin and *Spirulina* on vitamin C metabolism in red sea bream. *Fish. Sci.* 2000; **66**: 321-326.
- 16) Frøylund L, Madsen L, Eckhiff KM, Lie Ø, Berge RK. Carnitine palmitoyltransferase I, carnitine palmitoyltransferase II, and Acyl-CoA oxidase activities in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Lipids* 1998; **33**: 923-930.
- 17) Bilinski E, Jonas REE. Effects of coenzyme A and carnitine on fatty acid oxidation by rainbow trout mitochondria. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 1970; **27**: 857-864.
- 18) Fjermestad A, Hemre GI, Holm JC, Totland GK, Frøylund L. Effects of different dietary fat levels in caged Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). *Eur. J. Lipid. Sci. Technol.* 2000; **102**: 282-286.
- 19) Official methods of analysis of the association of official chemists (ed. by Helrick, K.), 15th edn, published by the association of the official analytical chemists, Inc., Arlington, Virginia, USA 1995.
- 20) Bligh EG, Dyer WJ. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 1959; **37**: 911-917.
- 21) Hashimoto T, Miyazawa S, Gunarso D, Furuta S. α -Amanitin inhibits the oxidation of long chain fatty acids in mouse liver. *J. Biochem.* 1981; **90**: 415-421.
- 22) Moon T, Johnston IA. Starvation and the activities of glycolytic and gluconeogenic enzymes in skeletal muscle and liver of the plaice (*Pleuronectes platessa*). *J. Comp. Physiol.* 1980; **136**: 31-38.
- 23) Glock GE, Mclean P. Further studies on the properties and assay of glucose 6-phosphate dehydrogenase and 6-phosphogluconate dehydrogenase of rat liver. *Biochem. J.* 1953; **55**: 400-408.
- 24) 荻野浩志. 海苔成分の機能性の開発. 「水産資源の先進的有効利用法」(坂口守彦, 平田孝 監修) エスティーエス, 東京. 2005; 169-181.
- 25) Méton I, Fernández F, Baanate IV. Short- and long-term effects of refeeding on key enzyme activities in glycolysis-gluconeogenesis in the liver of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture* 2003; **225**: 99-107.