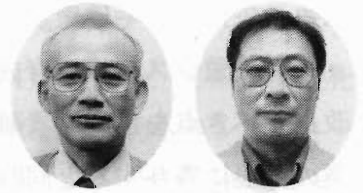


ゼロエミッション型魚類養殖システムの実用化 を目指した魚介類の品質評価 I -養殖および天然ブリの生体成分および健康度-



村田 寿・幡手英雄（農学部）

要旨

閉鎖循環式のゼロエミッション型養殖システムは、現在の水産養殖業に改革をもたらす新技術として注目されている。しかし、同システムで育成された魚介類の品質や健康度についてはまだ十分に検討されておらず、その実用化にあたっては対象魚介類の品質の良否を判定することが必要である。そこで本研究では、まず市販されている養殖ブリと天然ブリを用いて、それらの生体成分ならびに血液性状などを分析し、両者の品質や健康度を比較・検討した。その結果、両者の普通筋の水分含量、脂質含量ならびに一部の生体アミノ酸組成に差異が認められた。また、血液性状などを分析したところ、養殖魚において生体内の過酸化反応が進行しやすいことが示唆された。これらの指標を用いることで、今後ゼロエミッション型養殖システムで育成された魚介類の品質評価が効率的に行えるものと思われる。

1. 緒言

水産養殖業は特定の海域で過密とも言える状況下で行われており、そのため給餌飼料の残渣や魚介類の排出物による海域の汚染や魚病が頻発している。また、赤潮の発生した海域では養殖魚が全滅するという水産業の基盤を揺るがしかねない重大な問題もしばしばおこっている。このような状況において宮崎大学の丸山グループは水源から隔離した条件で、魚介類を養殖できるゼロエミッション型養殖システムを構築した。同システムは閉鎖循環式であるために、水質汚染を引き起こすことや赤潮などの予期せぬ自然災害を受けることもない。また、多量の飼育水を必要としないことから、例えば海から離れた山間部での海水魚の養殖や砂漠など乾燥地帯のおいても魚介類の養殖が可能であり、今後多様な利用が期待されている。しかしながら、ゼロエミッション型養殖システムで育成された魚介類の品質や健康度についてはまだ十分に検討されていない。

水産養殖技術の進展にともない養殖対象種や養殖魚の水揚げ量は増大傾向にあるが、従来のようにただ単に魚を大きく（早く）育てるだけでなく、消費者のニーズにあう高品質で健康な養殖魚を育成することが必要になっている。そこで、3年間の本合同研究では、ゼロエミッション型養殖システムの実用化および将来に亘って水産養殖魚を発展させるうえで重要と思われる養殖魚介類の品質（美味しさ）や健康度に焦点を当てた研究を実施する。まず養

殖魚の生体成分や健康度を天然魚と比較・検討し、次にその結果を基盤にしてゼロエミッション型養殖システムで育成された魚介類の品質を評価し、問題点があれば明らかにし、その改良すべき点を水産増養殖学的観点から提示したい。これらの研究で、宮崎県の水産養殖産業の発展に寄与すると同時に、同システムの水産養殖分野での早期の実用化を目指したい。初年度にあたる平成 13 年度は養殖と天然ブリを用いて、それらの生体成分ならびに血液性状などから両者の品質や健康度の相違や類似点を比較・検討した。

2. 実験方法

供試魚

宮崎県沿岸で養殖または漁獲された養殖と天然ブリ、それぞれ 3 尾を用いた。供試魚は養殖ブリ（平均体重 3.56kg, 養殖海域および時期：庵川養殖場, 平成 13 年 1 月採取）、天然ブリ（平均体重 10.0kg, 漁獲海域および時期：浦城定置網, 平成 13 年 2 月採取）である。取り上げられたブリは個体別に体重を測定し、尾部および動脈球から採血した後、肝臓、脾臓および生殖腺を摘出し重量を測定した。比肝重値、比脾重値および成熟指数は%で示した。

普通筋の調製

解体した魚肉の 4 部位（前部の背部、腹部普通筋、後部の背部、腹部）を切り取り、血合肉を除いた普通筋を用いた。各魚体の各部位をそれぞれホモジネートにし、今回の実験ではこれらを均等に混ぜ合わせることで、天然および養殖ブリの普通筋を代表する試料を作製した。すなわち、天然、養殖ブリについて各群 3 魚体の 4 部位を等量混合し、天然ブリと養殖ブリの普通筋の全体を代表する試料を調製した。

普通筋の成分分析

水分含量は 105°C の常圧乾燥法で行なった。全脂質をクロロホルムとメタノール混液を用いる Bligh-Dyer 法に準拠して抽出した。この脂質に含まれる構成脂肪酸をメチルエステル化した後、ガスクロマト法で分析した。また、普通筋から含水エタノールを用いて最終的なエタノール濃度が約 85% となるエキス成分を抽出した（以下 85% エタノール抽出エキスと呼ぶ）。その生体アミノ酸および有機酸をアミノ酸自動分析機（日本分光）および高速液体クロマトグラフ有機酸分析システムでそれぞれ分析した。

血液性状の評価

Kawatsu のシアンメトヘモグロビン法によりヘモグロビン量を測定した¹⁾。赤血球膜の抵抗性は、赤血球の溶血率より求めた。すなわち、血液をハンクス溶液（日水製薬（株）社製）で洗浄した血球を、純水および 0.1~0.8% の食塩水中に注入し、溶血させた。次いで、遠心分離によって得られた上澄み液の吸光度を 540nm の波長で測定した。得られた吸光値から、

50%溶血率を求め、その値を NaCl の%濃度で示した。血漿アスパテイトアミノトランスフェラーゼ (GOT) およびアラニンアミノトランスフェラーゼ (GPT) 活性を、ピルビン酸化酵素を用いて生成する過酸化水素の定量を利用する Iatron Laboratories 社製のトランスアミナーゼ測定用キットを用いて測定した。血漿の浸透圧は OSMOTORON-5 (オリオン理研 (株) 社製) を用いて測定した。

生体内脂質過酸化程度の測定

血漿、肝臓および筋肉のトリグリセリドヒドロペルオキシド (TGOOH) 含量を HPLC 法²⁾ を用いて測定し、過酸化脂質の分解で生じるマロンジアルデヒド (MDA) を Yamauchi et al. の水蒸気蒸留法に準じて測定した³⁾。

α -トコフェロール、アスコルビン酸およびデヒドロアスコルビン酸の測定

血漿、肝臓および筋肉の α -トコフェロールの定量は、Yamauchi et al. の HPLC 法⁴⁾ で、アスコルビン酸およびデヒドロアスコルビンの定量は、Ito et al. の HPLC 同時定量法⁵⁾ で、それぞれ行った。

3. 結果と考察

普通筋の脂質成分

今回の分析試料は天然と養殖ブリ普通筋の 2 検体であるが、試料調製法の項で述べたようにそれら試料は旬にある天然と養殖ブリ各 3 個体の可食部の普通筋を代表させた。

表 1 に示すように、天然ブリの水分含量は養殖ブリより少なかったが、脂質含量は多く含まれており、両者の成分量に有意差が認められた。また、脂肪酸組成を比較してみると、天然と養殖ブリともに多量の不飽和脂肪酸を含んでいるが、養殖ブリでは DHA 組成 (%) がやや高かった (表 2)。

大型のブリの筋肉脂質含量は、季節による変動は大きいですが、天然と養殖とでは大差ないことが報告されている。本実験では両者とも旬にある天然と養殖ブリであったが、脂質含量に明瞭な違いがあった。この主原因は両者の魚体サイズの違いによるものと思われる。この脂質含量の差は魚肉の旨味に影響を及ぼす可能性がある。また、摂餌した餌料に含まれる脂肪酸によって魚肉の脂肪酸組成が影響されることは知られており、天然と養殖ブリ普通肉の脂肪酸組成の差異はその影響を受けたものと思われる。しかし、脂質構成脂肪酸そのものに特有な味があるとは考えられず、この程度の脂肪酸組成の差異がブリ普通筋の旨味に影響を及ぼすことはない判断される。

表 1. 天然および養殖ブリ普通筋の水分および脂質含量

	天然	養殖
水分含量 (%)	65.1	68.4
脂質含量 (%)	12.0	7.7

表 2. 天然および養殖ブリ普通筋に含まれる脂質構成脂肪酸組成 (%)

脂肪酸	天然	養殖	脂肪酸	天然	養殖
14:0	3.4	2.7	19:0	0.1	0.1
14:1	tr.*	tr.	18:3n-4	0.1	0.3
15:0	tr.	tr.	18:3n-3	0.4	tr.
15:1	0.1	0.1	18:4n-3	0.3	0.2
15:2	0.5	0.5	18:4n-1	tr.	tr.
pristane	0.1	0.1	20:0	0.3	0.3
16:0	23.3	21.6	20:1n-9	1.3	1.2
16:1n-7	8.3	6.6	20:1n-7	0.3	0.3
7Me-16:0	0.1	0.1	20:2n-6	0.1	0.1
16:1n-5	0.4	0.4	20:3n-6	tr.	0.1
16:2n-6	0.2	0.1	20:4n-6	0.1	1.6
16:2n-4	0.7	0.6	20:3n-3	tr.	0.1
17:0	0.6	0.7	20:4n-3	0.1	0.3
16:3n-4	0.6	0.6	20:5n-3	4.9	3.8
16:3n-1	0.2	0.2	22:0	0.1	0.1
16:4n-3	0.1	tr.	22:1n-9	0.4	0.5
16:4n-1	0.1	tr.	22:1n-7	0.1	0.2
18:0	6.7	7.6	22:1n-5	tr.	tr.
18:1n-9	23.8	22.2	22:3n-6	tr.	tr.
18:1n-7	3.4	3.6	22:5n-6	0.4	0.6
18:1n-5	0.1	0.2	22:4n-3	0.5	tr.
18:2Δ5,11	0.2	0.1	22:5n-3	2.8	3.6
18:2n-6	0.7	0.7	22:6n-3	13.8	17.7
18:3n-6	0.2	0.2			

* tr.<0.1%

エキス成分

天然および養殖ブリ普通筋から抽出されたエキス成分に含まれる生体アミノ酸を分析し、その結果を表 3 に示している。天然、養殖ブリともに多種類の遊離アミノ酸を含んでおり、タウリン、アラニン、ヒスチジン、リジンなどのアミノ酸類が両者ともに多く含まれていた。特にヒスチジンは全アミノ酸量の約 80%を占めていた。また、一部のアミノ酸では天然と養殖ブリとで含有量に差異が認められた。特に、βアラニンとアンセリンは偏在しており、

β アラニンは養殖ブリで、アンセリンは天然ブリで多かった。一方、天然と養殖ブリの普通筋に含まれる有機酸のほとんどが乳酸で、その含有量にも差はなく、両者の普通筋に含まれる有機酸量や組成に大差は認められなかった。この実験結果からは筋肉中の有機酸が天然と養殖ブリの旨味に決定的な違いを与える主要因ではないと判断された（データは未表示）。

運動量の多い多脂魚では筋肉エキスに多量のヒスチジンが含まれており、それが高速遊泳中の嫌気的狀態で生体内に発生するプロトンの緩衝剤として機能し、pHの低下を防ぐ作用を果たしていることが最近明らかにされている。 β アラニンの結合したヒスチジン関連化合

表3. 天然および養殖ブリ普通筋に含まれる遊離アミノ酸

アミノ酸類	天然		養殖	
	mg/100	Wt%	mg/100	Wt%
	g		g	
o-Phosphoserine	13.8	1.6	7.9	0.8
Taurine	22.4	2.6	16.4	1.6
o-Phosphoethanolamine	0.0	0.0	2.4	0.2
Urea	18.1	2.1	22.0	2.2
L-Threonine	2.8	0.3	2.5	0.2
L-Serine	2.7	0.3	2.7	0.3
L-Glutamic acid	4.9	0.6	6.6	0.7
L-Glutamine	1.2	0.1	2.9	0.3
L- α -Aminoadipic acid	3.3	0.4	2.3	0.2
Glycine	3.8	0.4	3.8	0.4
L-Alanine	17.8	2.1	12.6	1.2
L-Citrulline	1.5	0.2	0.4	0.0
DL- α -Amino-n-butyric acid	0.2	0.0	0.3	0.0
L-Valine	2.1	0.2	2.0	0.2
L-Methionine	1.4	0.2	1.2	0.1
L-Cystathionine	0.4	0.0	0.2	0.0
L-Isoleucine	1.7	0.2	1.5	0.1
L-Leucine	2.8	0.3	2.4	0.2
L-Tyrosine	3.4	0.4	2.0	0.2
β -Alanine	0.8	0.1	20.9	2.1
L-Phenylalanine	1.7	0.2	1.0	0.1
Ammonium	9.2	1.1	8.7	0.9
L-Ornithine	0.6	0.1	2.2	0.2
L-Histidine	653.3	76.9	852.2	84.2
L-Lysine	14.5	1.7	21.7	2.1
L-3-Methylhistidine	4.1	0.5	2.0	0.2
L-Anserine	57.5	6.8	8.6	0.9
L-Arginine	3.2	0.4	2.2	0.2
Total (mg/100g)	849.4		1011.6	

物であるアンセリン (β アラニル-3-メチルーヒスチジン) も同様な機能を持つことが指摘されている。したがって両者の含有量の差異が単に摂餌成分の影響によるものではなく、生息環境や生理状態の両者の相違を反映している可能性はある。現時点ではその差異が生じた明確な要因は明らかではないが、旨味への関与も推察される。

血液性状と生体内過酸化

天然および養殖ブリの血液性状および血漿の生化学的性状を表 4 に示す。養殖ブリの血液ヘモグロビン含量およびその 50%溶血率は、いずれも天然ブリと比べ、有意に低かった。また養殖ブリの血漿 GOT 活性は、有意な差ではなかったが、天然魚と比べ、低かった。血漿の浸透圧には養殖ブリと天然ブリとの間に明らかな差はなかった。また赤血球の膜抵抗性についても、天然魚と比べ、劣るとはいえなかった。養殖ブリの血液性状および血漿性状に及ぼす原因については、給与された餌の品質、飼育環境、魚の取扱い等にとどまらず、種々な要因が考えられる。今回試料としたブリの体重および GSI から推測すると、天然ブリは 3 才魚であるのに対し、養殖魚は 2 才魚であること、天然ブリの成熟がより進んでいたこと等が原因として挙げられる。

表 4. 天然および養殖ブリの血液性状

		天然魚	養殖魚
体重	(kg)	10.0 \pm 0.8 ^a	3.56 \pm 0.13 ^b
GSI	(%)	2.7 \pm 1.1 ^a	0.2 \pm 0.2 ^b
血液			
Hb	(g/100ml)	18.4 \pm 1.6 ^a	13.5 \pm 1.0 ^b
50%溶血率(%NaCl)		0.53 \pm 0.09 ^a	0.36 \pm 0.03 ^b
血漿			
GOT	(KU)	72.9 \pm 45.3	43.2 \pm 14.9
GPT	(KU)	5.3 \pm 4.2	9.5 \pm 5.1
浸透圧(mOsmol/kg)		360 \pm 55	381 \pm 10
平均値 \pm 標準偏差 (n=3)			

天然および養殖ブリの生体内脂質過酸化レベルと抗酸化活性を表 5 に示す。血漿および筋肉の酸化一次生成物(TGOOH)含量は、いずれも天然魚に比べ、養殖魚が高かった。また筋肉の酸化二次生成物(TBARS 値)も有意な差ではなかったが、天然魚と比べ、養殖魚で高かった。すなわち、これまで報告されている結果⁶⁾と同様に、養殖魚の生体内脂質過酸化レベルの高いことが認められた。他方、肝臓および筋肉の α -トコフェロール(α -Toc)並びに筋肉の総アスコルビン酸(Total-AsA)含量は、天然魚と比べ、養殖魚が有意に低かった。これら抗酸化剤の養殖魚体内含量は、給与される餌中の含量と強く関係し、このことが速やかに生体内脂質

過酸化レベルを変動する。したがって、過酸化脂質レベルの低い健康な養殖魚をつくるためには、餌中の α -Toc や Total-AsA 等の抗酸化剤の含量、特に餌料中の脂質成分を把握することが極めて重要となる。

表 5. 天然および養殖ブリの生体内脂質過酸化レベルと抗酸化活性

	血漿		肝臓		筋肉	
	天然魚	養殖魚	天然魚	養殖魚	天然魚	養殖魚
TGOOH (nmolAO/g)	1.6±0.5 ^a	4.4±2.1 ^b	14.6±3.6	18.6±1.4	36.3±2.0 ^a	53.±8.3 ^b
TBARS 値 (μ g/g)	-	-	0.4±0.2	0.3±0.1	0.49±0.1	0.6±0.1
α -Toc (μ g/g)	82.2±35.7	58.1±18.8	434±48.9 ^a	267±64.5 ^b	40.0±1.5 ^a	20.±1.5 ^b
Total-AsA (μ g/g)	5.7±3.3	7.2±0.7	24.5±10.5	17.6±3.8	28.±10.7 ^a	4.6±2.4 ^b

平均値±標準偏差 (n=3)

4. 文献

- 1) H. Kawatsu: Studies on the anemia of fish-III. an example of macrocytic anemia found in brook trout, *salvelinus fontinalis*. *Bull.Freshwater Res. Lab.*, **19**, 161-167 (1969).
- 2) 伊東尚史, 毛良明夫, 村田 寿, 吉田照豊, 境 正, 山内 清, 山崎義弘, 山口登喜夫, 宇川正治: ブリにおける実験的細菌性溶血性黄疸と酸化ストレス. *日水誌*, **66**, 50-54 (2000).
- 3) K. Yamauchi, H. Murata, and Ohashi: Quantitative relationship between alpha-tocopherol and polyunsaturated fatty acids and its connection to development of oxidative rancidity in porcine skeletal muscle. *Agric. Biol. Chem.*, **44**, 1061-1067 (1980).
- 4) K. Yamauchi, H. Murata, T. Ohashi, H. Katayama, A. M. Pearson, T.Okada, and T. Yamakura: Effect of dietary α -tocopherol supplementation on the molar ratio of polyunsaturated fatty acids / α -tocopherol in broiler skeletal muscles and subcellular membranes and its relationship to oxidative stability. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **38**, 545-552 (1991).
- 5) T. Ito, H. Murata, Y. Yasui, M. Matsui, T. Sakai, and K. Yamauchi: Simultaneous determination of ascorbic acid and dehydroascorbic acid in fish tissues by high-performance liquid chromatography. *J. Chromatogr.*, **667**, 355-357 (1995).
- 6) H. Murata, T. Sakai, K. Yamauchi, T. Ito, T. Tsuda, T. Yoshida, and M. Fukudome: *In vivo* lipid peroxidation levels and antioxidantactivities of cultured and wild fish. *Fisheries Sci.*, **62**, 64-68 (1996).

参考書

魚介類の微量成分 その生化学と食品化学：池田静徳編、恒星社厚生閣、東京、初版、1981年

水産食品学：須山三千三・鷹巣章二編、恒星社厚生閣、東京、初版、1987年

魚介類のエキス成分：坂口守彦編、恒星社厚生閣、東京、初版、1989年

本年度の研究成果

本研究では魚の品質（旨味）や健康度にかかわる数種類の生体成分に焦点を当てて分析し、養殖と天然ブリの相違や類似点を検討した。その結果、両者の間で水分、脂質含量ならびに一部のアミノ酸の含量に有意差が認められた。また、生体内過酸化の進行度にも差異が認められた。これらの項目が、今後ゼロエミッション型魚類養殖システムの実用化を推進するうえで重要な魚介類の品質評価指標になるものと判断された。

次年度の研究計画

今回の天然ブリ普通筋には養殖ブリのそれよりも多量の脂質が含まれていたが、両者の魚体サイズには差があり、その影響などを考慮する必要がある。したがって、今回得られた天然魚の脂質含量をそのまま養殖魚の目標値に設定することには問題がある。同時に消費者は天然物に対して潜在的に好印象をもっており、その先入観の味覚への影響も軽視できない。消費者の嗜好を考慮した最適な脂質含量を把握しておくことが必要である。そのため養殖魚の脂質含量の制御法を給餌飼料などに関連させて検討したい。さらに、ゼロエミッション型魚類養殖システムで飼育された魚類の生体成分、特に平成13年度の研究成果をもとに脂質成分や筋肉エキスのアミノ酸含有量に注目して分析し、同システムの実用化を推進できるような提案を行う。