

# マボヤ殻粉碎物添加餌料の投与が魚類の成長と生理に及ぼす影響

角田 出<sup>1,2,3</sup>・高瀬 清美<sup>4</sup>・油谷 弘毅<sup>5</sup>

## Effects of Oral Administration of Crushed Ascidian *Halocynthia roretzi* Tunic on Fish Growth and Physiological Conditions

Izuru KAKUTA<sup>1,2,3</sup>, Kiyomi TAKASE<sup>4</sup> and Hiroki ABURATANI<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Professor emeritus, Ishinomaki Senshu University, Ishinomaki, Miyagi 986-8580, Japan

<sup>2</sup>Research Center for Creative Partnerships, Ishinomaki Senshu University, Ishinomaki, Miyagi 986-8580, Japan

<sup>3</sup>Marine Eco-Bio Research Institute (The branch office in Ishinomaki Senshu University), Ishinomaki, Miyagi 986-8580, Japan

<sup>4</sup>Tohoku Seikatsu Bunka University Junior College, Sendai, Miyagi 981-8585, Japan

<sup>5</sup>Miyagi Prefecture Kesennuma Koyo High School, Kesennuma, Miyagi 988-0235, Japan

### Abstract

Goldfish *Carassius auratus*, coho salmon *Oncorhynchus kisutch*, red seabream *Pagrus major*, and Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* were fed a diet containing crushed dried ascidian *Halocynthia roretzi* tunics (shells) mixed with a commercial feed at a dry weight ratio of 20% (daily feeding amount: 2% of body weight) for 4 weeks to examine the effects of adding ascidian shells to the diet. For each fish species, there were no statistically significant differences in body weight or body length between the control group fed a standard diet and the group fed the ascidian shell-supplemented diet. However, the coefficient of variation for body weight (0.43) was large in coho salmon fed the ascidian shell supplemented diet, and condition factor, hepatic tissue weight, and hepatic tissue-to-body weight ratio were significantly reduced in red seabream fed the same diet, and hepatic tissue weight was significantly reduced in Japanese flounder fed the same diet. Next, goldfish and coho salmon juveniles were fed a diet containing crushed dried ascidian shells mixed with a commercial diet at dry weight ratios of 0 (control), 10, 20, or 50% (daily feeding amount: 2% of body weight) for 4 weeks. In both species, the addition of ascidian shells had no effect on hepatic tissue and spleen weights, red blood cell counts, plasma alanine aminotransferase (ALT) and alkaline phosphatase (ALP) and DPPH-anti-oxidant activities. However, in coho salmon, feeding ascidian shell diet significantly increased the coefficient of variation of body weight and hepatopancreas weight. Goldfish receiving 50% ascidian shell and coho salmon receiving 20% or more ascidian shells showed increased intestinal water retention and altered intestinal microflora. These results suggest that while adding crushed ascidian shells to diets can be effective in conserving fish meal in some fish species, excessive intake may have negative effects on energy storage and physiological activity in many carnivorous fish species.

Key words: goldfish, coho salmon, red seabream, Japanese flounder, growth, physiological state, ascidian tunic

### 1. 緒言

マボヤ *Halocynthia roretzi* は日本（九州北部、瀬戸内海、日本海、三河湾以北の太平洋側、北海

道）、朝鮮半島、中国黄海・渤海沿岸などに生息している。大韓民国はマボヤの仲間を多種食べる上に本種の消費量も多く、2016年のほや類の養殖量

<sup>1</sup>石巻専修大学名誉教授

<sup>2</sup>石巻専修大学共創研究センター

<sup>3</sup>一般社団法人マリンエコバイオ研究所(石巻専修大学内分室)

<sup>4</sup>東北生活文化大学短期大学部

<sup>5</sup>宮城県気仙沼向洋高等学校

は31,353トン、2021年は同16,903トンと報告されている<sup>(1,2)</sup>。日本ではもともとは青森県、三陸地域等で細々と食べられていたが、1900年代初めに宮城県で養殖が始まり、2010年のマボヤの国内生産量は10,272トンであった<sup>(3)</sup>。しかし、東日本大震災により宮城県、岩手県の養殖マボヤは壊滅状態となった。その後、マボヤ生産量は回復基調にあったが、消費先の7割を占めていた大韓民国の禁輸措置に加え、日本太平洋沿岸域の海水温の異常上昇や貧酸素水塊の発生等にマボヤの死滅や成長不良に陥る個体数が増え、宮城県における2024年の4~12月の出荷量は前年同期の出荷量(約4,900トン)の4割に満たない状況となっている<sup>(4)</sup>。

収穫されたマボヤは殻(被囊)付きあるいは剥き身で流通経路に乗るが、いずれの場合でも総重量の30~40%は殻等として廃棄され、一般可燃ゴミあるいは産業廃棄物としての処理工程に入ることになる。したがって、宮城県内だけでも年間約数百~2,000トン、国内だけでも2,500~4,000トンのマボヤの殻が廃棄物としての処理対象となる。韓国のはや類の養殖量を考慮すると、はや殻の資源化は待ったなしの状況にある。

マボヤ殻乾燥物には、炭水化物が40~47%(ツニシンと呼ばれるI $\beta$ 型の結晶構造を持つセルロース系物質がその中の65~70%を占める)、タンパク質が40%程度含まれているほか、ヨウ素、カルシウム、マグネシウム、ナトリウム等のミネラル類やカロテノイド・キサントフィル系色素等も含有されている<sup>(5-7)</sup>。食物繊維は、ヒト消化管において消化に抵抗性のある食品成分と定義されているが<sup>(8)</sup>、その源となる繊維の物理的・化学的性質によって、糖尿病予防、肥満軽減、高コレステロール血症の発症率低下等の生理学的に良好と考えられる効果を有することが報告されている<sup>(9)</sup>。すなわち、マボヤの殻は未利用バイオマス資源として利活用できる可能性が極めて高いと考えられる。

そのため、これまで廃棄あるいは焼却後に肥料として利用される程度であったマボヤ殻を、採卵鶏(ホヤ殻の添加率は3あるいは4%)<sup>(7)</sup>や通常飼育中の家禽(同添加率1~10%)<sup>(10)</sup>、豚(同添加率1%)<sup>(11)</sup>等の家畜・家禽用の餌としての直接的

に利用することに加え、スピーカーコーンとしての利用<sup>(12)</sup>、セルロース性ナノファイバー製フィルムの生産<sup>(13)</sup>、そして、ホヤ殻に含まれるセルロースナノファイバーの炭化と血液に含まれる鉄、窒素、リン等を複合化したナノ血炭を用いたレアメタルフリー電極の作製<sup>(14)</sup>等、マボヤ殻の資源化に資する試みが拡がりつつある。ただし現状では、ホヤ殻は自然界では容易には分解されないため廃棄処理に回される場合が多く、国内での処理委託費用は年間数百~数千万円と試算されている(湿重量1kgの殻の処理費用は数~50円程度と言われている<sup>(1)</sup>)。加えて、処理委託側から同請負側への運搬、後者における殻の焼却や埋め立て等にエネルギーが必要になるため、マボヤ殻の資源化は廃棄処理に係わるエネルギー・環境負荷の削減にもつながる。それゆえ、マボヤ殻の迅速かつ多面的な利用を進める必要がある。

そこで本報では、まず養殖魚用の一般飼料とマボヤ殻粉砕物の混合比を変えた(マボヤ殻の混合割合は乾重量で10~50%)試験飼料を作製し、それらの経口投与が魚類の成長と生理状態に及ぼす影響を調べた結果について述べる。

## 2. 材料および方法

### 2.1 供試魚、および、マボヤ被囊(殻)粉砕物投与試験

#### 2.1.1 実験I：マボヤ殻殻添加餌料の投与が魚類の成長に及ぼす影響

供試魚として体重約5.5gのキンギョ *Carassius auratus*、同60g前後のギンザケ *Oncorhynchus kisutch*、同約20gのマダイ *Pagrus major* 稚魚、同約5.0gのヒラメ *Paralichthys olivaceus* 稚魚、それぞれ、14~20尾を用いた。循環ろ過式恒温水槽内に上面を細目の網で覆った底および側面がメッシュ状のかご(キンギョおよびヒラメ用は510×360×H210mm、ギンザケおよびマダイ用には440×508×H402mm)を垂下し、その中に7~10尾の魚を収容して、ギンザケは16℃、その他の魚種は20℃で、それぞれ、2週間の予備飼育後、同水温下で4週間のマボヤ殻投与試験を行った。飼育水の溶存酸素濃度は常に8.0ppm以上を保持した。

予備飼育期間中はキンギョにはエンゼルフロー

ト（日本ペットフード社製、粗タンパク質 37%）、ギンザケにはます用配合飼料（株式会社フィードワン製、粗タンパク質 43%）を、マダイにはニュートラ（スクレッティング株式会社製、粗タンパク質 54%）を、ヒラメにはひらめ EP（株式会社フィードワン製、粗タンパク質 50%）を投与した。また、試験（マボヤ殻添加飼料給餌）群については、試験中は前述の市販飼料をベース餌としてそこに洗浄・乾燥後に 70℃ で 5 時間滅菌したマボヤ殻の粉碎物（ミキサーで粉碎後、金属製の篩で選別した、長径 1 mm 以下のものを使用）を乾燥重量で 20% 量になるように添加して、カルボキシメチルセルロース（富士フィルム和光社製）を 1% 量になるように加えた後、蒸留水を加えてよく混合し、最終的に粒状に再整形した試験飼料を、それぞれ、1 日当たり体重の 2% 量投与した。

**2.1.2 実験Ⅱ：マボヤ殻添加率の異なる餌料の投与がキンギョとギンザケの成長と生理状態に及ぼす影響**

供試魚として平均体重約 7.5 g のキンギョ、および、同体重 50 g 前後のギンザケ幼魚、各 32 尾を用いた。循環ろ過式恒温水槽内に上面を細目の網で覆った底および側面がメッシュ状のかご（キンギョ用は 510 × 360 × H 210 mm、ギンザケ用は 440 × 508 × H 402 mm）を垂下し、その中に各 8 尾の魚を収容して、前者は 20℃、後者は 16℃ で、それぞれ、2 週間の予備飼育後、同水温下で 4 週間のマボヤ殻投与試験を行った。飼育水の溶存酸素濃度は常に 8.0 ppm 以上を保持した。

両魚種ともに、予備飼育期間中はます用配合飼料（株式会社フィードワン製、粗タンパク質 43%）を、試験中は対照群には同飼料を、試験群には同飼料をベース餌としてそこに洗浄・乾燥後に 70℃ で 5 時間滅菌したマボヤ殻の粉碎物（ミキサーで粉碎後、金属製の篩で選別した、長径 1 mm 以下のものを使用）を乾燥重量で 10、20 および 50% 量になるように添加して、カルボキシメチルセルロース（富士フィルム和光社製）を 1% 量になるように加えた後、蒸留水を加えてよく混合し、最終的に粒状に再整形した試験飼料を、それぞれ、1 日当たり体重の 2% 量投与した。

## 2.2 成長および生理状態の把握

飼育試験後、各群の魚の総重量を測定すると

もに、魚を取り上げ、頭部打撃による不動化後、体重、体長の計測に加え、各種生理状態の調査に使用した。すなわち、ヘパリン（Na 塩）処理した注射器を用いて尾部血管より採血後、淡水魚用の生理食塩水で希釈操作を行い、血球計算版を用いて赤血球数を求めるとともに、血漿部分から 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) 抗酸化活性（同仁化学研究所製 DPPH Antioxidant Assay Kit）、グルタミン酸ピルビン酸トランスアミナーゼ（ALT：Cayman Chemical 社製アラニンアミノ基転移酵素（ALT）活性測定キット）とアルカリ性フォスファターゼ（ALP：富士フィルムワコーシバヤギ株式会社製ラボアッセイ（TM）ALP）活性の測定を行った。

採血を終えた一部個体から肝臓や脾臓を切り出して当該湿重量を計測するとともに、できるだけクリーンな状況下で腸中央部を全体の 1/3 長程度切り出し、滅菌環境下で腸内容物を搾り出して、各群 4 個体について、同内容物の菌組成（好気性および通性嫌気性細菌）を調べた。その際、株式会社テノクスルガ・ラボに解析を依頼して得られた細菌 DNA 塩基配列解析・分子系統解析（16S rDNA 分析）結果、および、トリプトソーヤ寒天培地上に形成された細菌コロニーを、BL 寒天培地（栄研化学）、TCBS 寒天培地（栄研化学）、TSI 寒天培地（栄研化学）、マッコンキー寒天培地（日本製薬）、Zobell2216E 寒天培地、ZA-II 寒天培地等に釣菌して生育状況を確認<sup>(15,16)</sup>すると共に、絵画と清水の簡易同定図式<sup>(17)</sup>に基づいて行った属あるいは科レベルでの同定結果、および、バクテロイデス検出用培地（日本製薬）を用いた嫌気培養の結果等を比較することにより、その存在が確定的な菌のみについてその属名・科名を表記し、未確定な細菌については others として記載することとした。

なお、飼育試験中の水中の細菌組成では、*Aeromonas* 属細菌が最も高頻度で検出され、その他としては、降順に *Pseudomonas* 属、*Vibrio* 属、Enterobacteriaceae 等の細菌が検出された（Table 1）。

## 2.3 統計処理

実験Ⅰで得られた結果はスチューデントの t 検定により、実験Ⅱで得られた結果は Dunnett の検

定により統計処理を行い、 $p < 0.05$  を有意の限界とした。また、本文中では特に記載しない限り、平均値 ± 標準偏差（実験Ⅰは  $n=7\sim 10$ 、実験Ⅱは成長指標が  $n=8$ 、細菌組成が  $n=3$ 、他の指標は  $n=4$ ）で表した。

### 3. 結果

#### 3.1 実験Ⅰ：マボヤ殻添加餌料の投与が魚類の成長に及ぼす影響

##### 3.1.1 摂餌状況、成長、餌料効率

マボヤ殻を 20% になるように混合した飼料の摂餌状況は良好であり、殻添加による違いは認められなかった。Table 2 に、通常飼料を給餌したキンギョ、ギンザケ、マダイ、ヒラメにおける、対照群とマボヤ殻添加餌料給餌群の体重、体長、肥満度、肝臓重量、比肝臓重量を示す。各魚種ともに通常飼料を給餌した対照群とマボヤ殻添加餌料給餌群の体重や体長の間に統計的な差はなかった。ただし、ホヤ殻添加飼料を投与したギンザケでは体重に大きな変動係数がみられたほか、マダ

イでは肥満度、肝臓重量、比肝臓重量、ヒラメでは肝臓重量に、有意な低値が認められた。

#### 3.2 実験Ⅱ：マボヤ殻添加率の異なる餌料の投与がキンギョとギンザケの成長と生理状態に及ぼす影響

##### 3.2.1 摂餌状況、成長、餌料効率

キンギョ、ギンザケともに、マボヤ殻を 10%、20%、50% になるように添加した飼料の摂餌状況は、全体的には対照群と変わらず良好であった。しかし、ギンザケではマボヤ殻の添加率の高い飼料ほど各個体の摂餌活性（摂餌量）に差が認められるようになった。

キンギョとギンザケの対照群および各試験群の成長指標として体重と肥満度、および、それらにみられる変動係数（標準偏差 / 平均値）を Table 3 に示す。キンギョの体重や肥満度については、対照群とマボヤ殻を 10、20、50% になるように添加した飼料を与えた試験群との間に統計的な有意差はなかった。対照群と各試験群（昇順）の餌料効率は、それぞれ、32.5%、27.5%、48.9%、32.3% となり、20% 添加群の値は大きめとなったが、大きな差は認められなかった。ギンザケでも、成長や肥満度において対照群と各試験群間で統計的な有意差は認められなかった。ただし、マボヤ殻を含む飼料を給餌した群における体重の変動係数は著しく大きかった。対照群と各試験群（昇順）の餌料効率は、それぞれ、69.5、66.9、72.9、50.3% となり、マボヤ殻 50% 添加群の値は低かった。

なお、キンギョ、ギンザケともに、マボヤ殻粉

Table 1 Bacterial composition in rearing water (%)

	Rearing water of goldfish	Rearing water of coho salmon
<i>Acinetobacter</i> spp.	3.1	2.6
<i>Aeromonas</i> spp.	41.9	37.4
<i>Bacillus</i> spp.	2.0	0.2
Enterobacteriaceae	4.6	4.2
<i>Flavobacterium</i> spp.	1.6	0.9
<i>Moraxella</i> spp.	1.7	0.4
<i>Pseudomonas</i> spp.	7.2	11.8
<i>Streptococcus</i> spp.	0.1	0.0
<i>Vibrio</i> spp.	5.6	6.8
Others	32.2	35.7

Data are given as mean value ( $n=3$ ).

Table 2 Body weight, body length, condition factor, hepatic tissue and spleen weights, and the relative weights of these organs to body weight (organ weight x 100/body weight) of various fish species fed diets containing 20% crushed crushed ascidian tunic (shell)

		Body weight (g)	Body length (mm)	CF	Hepatic tissue (g)	Relative weight of hepatic tissue
Goldfish	Control	5.9±1.45 [0.24]	55±3.6 [0.07]	34±5.0 [0.15]	0.096±0.226 [0.24]	1.65±0.420 [0.25]
	20% ascidian tunic	6.7±1.25 [0.19]	58±4.78 [0.08]	34±6.1 [0.18]	0.091±0.020 [0.22]	1.38±0.238 [0.17]
Coho salmon	Control	70.5±20.0 [0.28]	172±14.7 [0.09]	14±1.0 [0.08]	1.25±0.468 [0.38]	1.80±0.621 [0.35]
	20% ascidian tunic	64.2±27.7 [0.43]	170±17.9 [0.11]	13±1.2 [0.10]	0.86±0.31 [0.36]	1.39±0.321 [0.23]
Red seabream	Control	20.7±3.11 [0.15]	91±5.4 [0.06]	31±2.7 [0.09]	0.37±0.070 [0.19]	1.60±0.106 [0.07]
	20% ascidian tunic	23.1±4.06 [0.19]	91±6.3 [0.07]	28±3.7 [0.13]*	0.29±0.062 [0.22]*	1.42±0.241 [0.17]*
Japanese flounder	Control	5.9±0.97 [0.17]	79±4.5 [0.06]	12±0.4 [0.03]	0.048±0.007 [0.14]	0.83±0.082 [0.21]
	20% ascidian tunic	5.0±1.19 [0.24]	78±7.5 [0.10]	10±1.4 [0.14]	0.036±0.007 [0.20]*	0.72±0.124 [0.17]

Data are given as mean±S.D.,  $n=7$  (Japanese flounder), 8 (coho salmon) and 10 (goldfish and red seabream).

The numbers in parentheses represent the coefficient of variation.

\*: Significant difference from the control ( $p < 0.05$ )

Table 3 Body weight and condition factor of goldfish and coho salmon fed diets containing various contents of crushed ascidian tunic

		Body weight (g)	Condition factor
Goldfish	Control	9.1±0.83 [ 9.1]	27±1.0 [ 4.0]
	10% ascidian tunic	8.9±2.19 [24.6]	28±4.0 [14.3]
	20% ascidian tunic	9.9±1.45 [14.8]	31±4.1 [13.3]
	50% ascidian tunic	9.3±0.78 [ 8.4]	29±0.3 [ 1.1]
Coho salmon	Control	69.3±9.29 [13.4]	13.9±0.86 [ 6.1]
	10% ascidian tunic	68.5±28.9 [42.2]	11.8±3.14 [26.7]
	20% ascidian tunic	70.3±40.6 [57.7]	12.7±0.89 [ 7.0]
	50% ascidian tunic	63.6±48.6 [76.4]	10.7±2.06 [19.2]

Data are given as mean±S.D., n=8.  
The numbers in parentheses represent the coefficient of variation.

Table 4 Weights of hepatic tissue and spleen of goldfish and coho salmon fed diets containing various concentrations of crushed ascidian tunic, and the relative weights of these organs to the body (organ weight × 100/body weight)

		Hepatic tissue (g)	Relative weight of hepatic tissue (HSI)	Spleen (g)	Relative weight of spleen (SSI)
Goldfish	Control	0.101±0.0070 [0.07]	1.20±0.191 [0.16]	0.076±0.0146 [0.19]	0.82±0.090 [0.11]
	10% ascidian tunic	0.195±0.0816 [0.42]	2.26±0.941 [0.42]	0.040±0.0109 [0.27]	0.46±0.112 [0.24]*
	20% ascidian tunic	0.225±0.0816 [0.36]	1.84±0.343 [0.19]	0.067±0.0116 [0.17]	0.66±0.012 [0.02]*
	50% ascidian tunic	0.159±0.0064 [0.04]	1.64±0.102 [0.06]	0.089±0.0007 [0.09]	0.90±0.068 [0.08]
Coho salmon	Control	1.42±0.419 [0.30]	2.16±0.616 [0.29]	0.408±0.0260 [0.06]	0.63±0.074 [0.12]
	10% ascidian tunic	0.86±0.704 [0.82]	1.34±0.553 [0.41]	0.370±0.4432 [1.20]	1.26±1.884 [1.49]
	20% ascidian tunic	0.78±0.465 [0.59]	1.11±0.085 [0.08]*	0.255±0.2843 [1.18]	0.29±0.148 [0.50]*
	50% ascidian tunic	0.62±0.433 [0.70]	1.01±0.243 [0.24]*	0.191±0.1545 [0.81]	0.30±0.127 [0.42]*

Data are given as mean±S.D., n=4.  
The numbers in parentheses represent the coefficient of variation.  
\*: Significant difference from the control ( $p < 0.05$ )

碎物を含む餌を食べた個体の糞中には、おおまかにではあるが餌に添加したマボヤ殻粉砕物の量に応じて、同等あるいはやや小型化し、周りが少し丸くなった状態のマボヤ殻の薄片が認められた。

### 3.2.2 生理指標

両魚種の対照群および各試験群の比肝臓重量 (HSI: 肝臓重量 × 100/ 体重) と比脾臓重量 (SSI: 脾臓重量 × 100/ 体重) を Table 4 に示す。キンギョでは、対照群と各試験群間に肝臓湿重量や比肝臓重量には差はみられなかったものの、脾臓湿重量や SSI がマボヤ殻 10% および 20% 添加群で有意に低下した (同 50% 群では統計的有意差は認められなかった)。ギンザケでは、肝臓重量と脾臓重量はマボヤ殻添加量の増加とともに低下傾向にあり、HSI 値と SSI 値はともに対照群と比べてマボヤ殻 20% および 50% 添加群でそれぞれ有意に低下した。

両魚種の対照群および各試験群の赤血球数、血漿の DPPH 抗酸化活性、ALT および ALP の活性を Table 5 に示す。キンギョ、ギンザケの両魚種ともに、対照群と各試験群間の赤血球数、血漿の DPPH 抗酸化活性、ALT および ALP 活性に有意な差は認められなかった。

肉眼的観察では、マボヤ殻を 50% になるように添加した飼料を給餌したキンギョ、および、同 20% あるいは 50% 添加飼料を与えたギンザケでは、腸管内に滞留する漿液量が多くなった。マボヤ殻を添加した飼料の給餌がキンギョ (a) およびギンザケ (b) の腸内細菌組成に及ぼす影響を Fig. 1 に示す。キンギョおよびギンザケの腸内容物中からは、*Aeromonas* 属、*Vibrio* 属、*Flavobacterium* 属、*Acinetobacter* 属、*Pseudomonas* 属、*Moraxella* 属、*Streptococcus* 属、*Bacteroides* 属に加え、Enterobacteriaceae (腸内細菌科) 等の細

マボヤ殻粉砕物添加餌料の投与が魚類の成長と生理に及ぼす影響

Table 5 The number of red blood cells, plasma DPPH anti-oxidant activity, ALT and ALP activities of goldfish and coho salmon fed diets containing various contents of crushed ascidian tunic

		RBC ( $\times 10^4/\mu\text{L}$ )	Plasma DPPH anti-oxidant activity (Trolox nmol/L)	Plasma ALT activity (IU/L)	Plasma ALP activity (IU/L)
Goldfish	Control	90± 9.9 [0.11]	0.21±0.202 [0.96]	328±203.1 [0.62]	1.29±1.144 [0.88]
	10% ascidian tunic	96±11.0 [0.12]	0.28±0.079 [0.28]	444±118.9 [0.27]	0.99±0.207 [0.21]
	20% ascidian tunic	89±15.0 [0.17]	0.24±0.239 [1.01]	501±108.4 [0.22]	1.88±1.986 [1.06]
	50% ascidian tunic	89±14.2 [0.16]	0.12±0.052 [0.43]	422± 70.2 [0.17]	0.61±0.285 [0.46]
Coho salmon	Control	105±12.7 [0.12]	0.23±0.054 [0.24]	253± 93.4 [0.37]	0.49±0.382 [0.79]
	10% ascidian tunic	108±16.1 [0.15]	0.27±0.030 [0.11]	227± 64.5 [0.28]	0.43±0.411 [0.96]
	20% ascidian tunic	108±20.6 [0.19]	0.29±0.022 [0.08]	246± 56.3 [0.23]	0.28±0.227 [0.81]
	50% ascidian tunic	102± 8.7 [0.09]	0.21±0.028 [0.13]	467±256.0 [0.55]	0.34±0.287 [0.84]

Data are given as mean±S.D., n=4.

The numbers in parentheses represent the coefficient of variation..

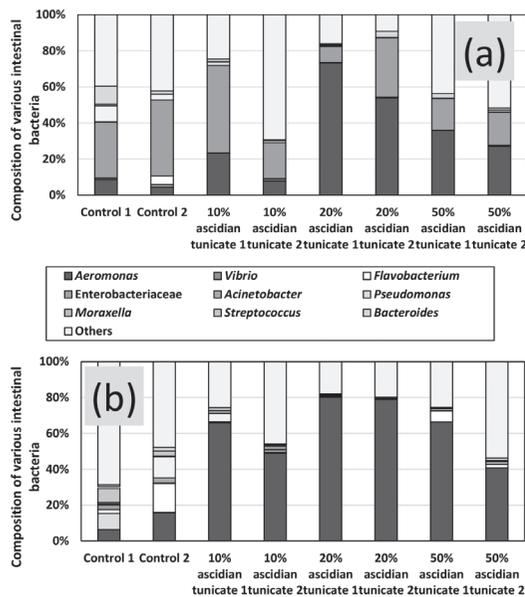


Fig. 1 Intestinal tract flora of goldfish (a) and coho salmon (b) fed diets containing various contents of crushed ascidian tunic

Data are presented as the mean value of three fish from each group.

菌類が検出された。また、キンギョの場合、マボヤ殻粉砕物添加量が20%以上で *Aeromonas* 属細菌の割合上昇と、*Pseudomonas* 属や *Enterobacteriaceae* 細菌の割合低下が認められるようになり、一方、ギンザケでは、マボヤ殻の添加率が10%を超えると *Aeromonas* 属細菌の割合上昇、*Flavobacterium* 属、*Pseudomonas* 属および *Streptococcus* 属細菌の割合の低下が認められた。なお、同図において Others として表記した部分については、16S rDNA 分析の結果、キンギョでは、対照群で *Cetobacterium* 属や *Anaeroglobus* 属細

菌、同マボヤ殻添加量の多い群では *Cetobacterium* 属に加えて、*Mycobacterium* 属、*Phocaicola* 属、*Longivirga* 属細菌等が、ギンザケでは、対照群で *Fusobacteriaceae* や *Hypomicrobiaceae*、マボヤ殻添加量の多い飼料投与群からは、*Fusobacteriaceae* に加えて、*Bacillaceae*、*Rhizobiaceae*、*Hypomicrobiaceae*、*Rhodobiaceae* 等の細菌類が高確率で検出された。

#### 4. 考察

マボヤ殻乾燥物には40~47%の炭水化物と約40%のタンパク質が含まれており、マボヤ殻は有望なバイオマス資源の一つと考えられる。資源利用の一つとして、マボヤ殻を家畜や家禽の飼料に混ぜて給餌し、その投与効果が調べられている。たとえば、マボヤ殻を1%量になるように豚の餌に混ぜて投与したところ、健康に特段の変化は認められなかったが、皮下脂肪層が薄くなった<sup>(11)</sup>。飼料米給餌採卵鶏にマボヤ殻を3あるいは4%添加して30日間の給餌試験を行ったところ、乳酸菌が増加するなど腸内菌叢に変化がみられ、卵黄色が改善した<sup>(7)</sup>。マボヤ殻を1~10%の割合で含む餌を投与された家禽は筋胃が増大し、飼料消化率および飼料効率が向上した<sup>(10)</sup>等の報告がなされている。

マボヤ殻の養殖魚用飼料への添加効果に関しては、マボヤ生産量の多い大韓民国での研究が幾つかある。ニジマスにマボヤ殻破砕物を混合した飼料(飼料への添加率10%)を1日に体重の1%に相当する量を3回の割合で給餌しつつ12週間飼育すると、成長率はマボヤ殻無添加の対照飼料で飼育した場合に比べて有意に低かったが、同粉砕

物を20時間のオートクレーブ(121℃)処理後に複合酵素を含む溶解処理剤と市販のセルラーゼ混合物によって複合分解処理したものを添加して作製した飼料(飼料への添加率は10%)の投与は市販飼料投与時と同程度の成長率であった<sup>(18)</sup>。ただし、溶解処理剤およびセルラーゼの飼料への添加が魚類の成長等に及ぼす効果に関する検討は行われておらず、上記処理によって生成された物質の種類や量に関する情報も記述がなされていない。また、マボヤ殻からアセトンやエチルアルコールによる溶媒抽出、あるいは、熱水抽出処理によって得られた色素や多糖類を含有する分画には健康補助や魚の色揚げに有効な成分が含まれている<sup>(18)</sup>。これらの報告は、マボヤ殻を単純に粉碎処理したものを10%含有する飼料を3ヶ月間給餌した場合には魚にはほとんど正の効果が認められなかったこと、および、酵素処理による難・不消化性成分の除去や特定成分の分解、あるいは、有効成分の抽出操作等を組み込むことによってマボヤ殻は飼料添加物としての有用性が高まる可能性のあることを示唆している。

ところで、魚類用飼料の公定規格では、粗タンパク質の最小含有率は、例えばコイで37~39%、ニジマスでは43~45%程度とされている<sup>(19)</sup>。キンギョについても、同30~50%が適正な数値として挙げられている<sup>(20)</sup>。マボヤ殻を飼料に10%の割合で添加した場合、飼料作製時に使用する魚粉の量も10%削減されることになるが、世界中で養殖魚の生産量拡大が求められている状況(2000年、2020年と2023年の世界の養殖生産量は4,302万トン、12,258万トンと13,615万トン)<sup>(21)</sup>下では、その程度の削減率では魚粉不足の解消には物足りない。

そこで本研究では、一般の養殖魚用飼料にマボヤ殻粉碎物を20%になるように添加した飼料を作製して異なる魚種に給餌し、摂餌行動や成長、肝臓や脾臓の重量等を指標としてマボヤ殻添加が魚に及ぼす影響に関するスクリーニング調査を行うとともに(実験Ⅰ)、種々の濃度になるように添加して作製した飼料の投与が雑食性のキンギョと肉食傾向の強いニジマスの摂餌行動や成長、生理指標に及ぼす影響を調べた(実験Ⅱ)。キンギョでは、飼育期間が4週間であれば、マボヤ殻置換量

を通常飼料の50%まで高めた場合でも、体重、肥満度、肝臓や脾臓の大きさやそれらと体重との比、赤血球数、肝臓や腎臓、腸等の機能を評価する指標である血漿中のALT活性やALP活性、体内の抗酸化指標の一つであるDPPH抗酸化活性にも、対照群と各種試験群間に差はなかった。ただし、今回の試験では、日間給餌量を体重の2%としているため、マボヤ殻置換量を50%とした場合、マボヤ殻に栄養的機能がないと仮定すると餌の有効日間投与量は体重の1%相当量となる。当該給餌量では、魚の成長は見込めず、生理的にも障害を生じかねない。それにも係わらず、キンギョは通常餌を投与した対照群と同等の成長を示しており、血液の生理指標にも異常は認められなかった。この結果は、キンギョの場合、1ヶ月間程度の飼育期間であれば、マボヤ殻に含まれるキンギョの成長や生理機能の維持に必要な、あるいは、関連する成分が魚体内に吸収・代謝され、利用されていることを示唆する。すなわち、飼料にマボヤ殻粉碎物を添加・混合することにより、飼料中の魚粉を含む魚にとって必要とされる各種成分を現在使用量の50%程度まで削減し得る可能性のあることを示す。たとえば、魚粉の場合、対照群に投与した飼料の魚粉含有率が37%であることから、マボヤ殻粉碎物の添加により、飼料中の魚粉含量を20%弱削減することが可能であると考えられる。

ただし、マボヤ殻粉碎物を50%添加した餌で1ヶ月間飼育したキンギョの腸管内には漿液の滞留が認められたほか、腸内容物の細菌組成を調べたところ、マボヤ殻粉碎物の添加量が20%以上で飼育水中からの検出率の高かった *Aeromonas* 属細菌の割合が上昇していることがわかった。一般に健康的な淡水魚は飲水行動をとらない<sup>(22)</sup>ため、腸内に漿液の貯留や外界水中から高頻度で検出される *Aeromonas* 属細菌の腸内細菌叢に占める割合が高くなることはない。しかし、ストレス負荷状態下では淡水魚も飲水行動を行う<sup>(23)</sup>ことが知られていることから、本結果はマボヤ殻を20%以上の割合、少なくとも50%の割合になるように添加した餌を食べたキンギョは軽度のストレス負荷状態を呈していた、すなわち未病の状態にあった可能性があることを暗示する。

一方、ギンザケ幼魚の場合、1ヶ月間程度の飼育試験では、上述指標値からマボヤ殻置換量が通常飼料の20%量程度であれば、その成長や健康指標に大きな影響を及ぼすことなく養殖が可能であること、すなわち、マボヤ殻粉砕物の添加により飼料中の魚粉等を20%程度削減可能であることがわかった。ただし、マボヤ殻を含んだ飼料に対する食いつき度（摂餌活性）に大きな個体差がみられたことから、当該添加量での飼育時には給餌のタイミングや回数に留意したり、アミノ酸、ヌクレオチド、グリシンペタイン、イノシン酸等の摂餌促進物質<sup>(24)</sup>を添加した餌を作製したりすることによって同一群中の全個体の摂餌活性を高めることで、群れ全体としての成長や健康度の維持を図ることに留意すべきであろう。

なお、マボヤ殻置換量が20%を超えると、ギンザケの比肝臓重量や比脾臓重量の低下が認められることから、少なくとも摂餌活性が大きく低下した個体についてはエネルギー蓄積量の低下や生体防御に関連する機能の低下等が生じており、環境変異や摂餌条件の悪化による影響を被り易い状態にあったものと推察される。また、餌へのマボヤ殻の添加量が10%以上の割合、少なくとも20%以上になると、腸管内への漿液の滞留や、腸内容物中の *Aeromonas* 属細菌の割合が上昇するなど、軽度のストレス負荷を被った際にみられる反応に類似した変化がみられたことから、一部個体は既に未病状態への移行期にあったものと推察された。

肉食性の強いマダイやヒラメの場合、通常飼料にマボヤ殻を20%の割合で混合した餌で1ヶ月間飼育すると、肥満度や比脾臓重量（マダイ）、肝臓重量（両魚種）に有意な低値が認められた。この結果は、少なくとも当該魚種については飼料へのマボヤ殻粉砕物の直接的な添加は推奨されない、あるいは、かなり低率での添加のみが許容され得ることを示す。

本試験の結果は、マボヤ殻の飼料への添加が、単なる魚類養殖用飼料の量増しを狙ったものではなく、キンギョのような雑食性魚類に対しては、新たなタンパク質の供給源となり、魚粉の節約（マボヤ殻添加量の約半分相当分）につながることを示唆するものである。ただし肉食性強い魚類

に対しては、1ヶ月間程度の飼育では、魚の生理状態に特段の障害を及ぼすことなく、成長維持に有効と考えられるマボヤ殻粉砕物の添加率は20%未満、ギンザケへの投与結果を考慮すると10%程度までであると考えられた。多くの魚類の難消化性炭水化物の分解・吸収は食性に大きく左右される<sup>(25,26)</sup>が、一般に魚の糖利用率は極めて低く<sup>(25,27,28)</sup>、今回の供試魚についても例外ではない。すなわち今回の結果は、物理的に破砕したマボヤ殻を通常飼料に10~20%の割合で混合した餌であっても、それが魚によって適量の範囲内であれば、同殻中のタンパク質の利用や難消化性物質の腸内環境改善効果等によって、魚の成長や生理状態維持に有効に働くことを示唆しており、従来のマボヤ殻の使用例とは一線を画すものである。

とは言え、養殖魚用飼料中の魚粉量削減のための代替物としては、この程度の削減率では物足りない。本研究の結果、マボヤ殻に含まれるタンパク質や炭水化物等に対して溶解や抽出処理を課さず、粉砕物として利用する場合には、使用量や同期間にかなりの制約があることがわかった。マボヤ殻に含まれる（窒素分析結果から求められた）タンパク質やその等の有用成分は粉砕物の状態では魚類が消化・吸収できない形や状態にあり、同消化・吸収や代謝を阻害する成分が共存していたりする可能性が考えられた。それ故、餌に添加したマボヤ殻の消化吸収、利用状況を把握するために、糞組成および糞内に残留しているマボヤ殻の形状やタンパク質その他の成分を調査することに加え、マボヤ殻の使用量（混合量）を増やすための手段としては、マボヤ殻中のタンパク質の分離や低分子化、難分解性多糖類（セルロース系物質）の分解・処理を含め、難・不消化性成分の除去や特定成分の分解、あるいは、有効成分の抽出等の操作を組み込むことを検討する必要がある。

また、マボヤ殻にはタンパク質以外にも、ミネラル類、カロテノイド・キサントフィル系色素等が含まれている<sup>(7,18)</sup>。現在、ギンザケやサーモン、マダイ等の養殖には、価格や供給量を考慮して、合成アスタキサンチンが主に用いられている<sup>(29,30)</sup>。ただし、合成アスタキサンチンより天然

アスタキサンチンの方が有効性や安全性が高いとの報告があることから、天然物への転換が図られつつある<sup>(29,31)</sup>。マボヤ殻に含まれている天然色素を上手く活用することで養殖魚の筋肉や体色の色揚げができれば、養殖魚のみでなくヒトにも安全な食品供給の目的に合致する。今後、養殖魚飼料の作製に大きく影響するタンパク質素材や天然色素類の枯渇と価格上昇等への対応の意味も含め、マボヤ殻の有効利用に資する研究開発を推めたい。

### 謝辞

本研究の一部は、令和3年度石巻専修大学研究助成を受けて行われたものである。

### 文献

- 1) KOSIS. Korean statistical information service statistical DB. Daejeon, Korea: Statistics Korea; 2017.
- 2) KOSIS. Korean statistical information service statistical DB. Daejeon, Korea: Statistics Korea; 2021.  
[https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?sso=ok&returnurl=https%3A%2F%2Fkosis.kr%3A443%2FstatHtml%2FstatHtml.do%3Fconn\\_path%3DI2%26tblId%3DDT\\_1EW0004%26orgId%3D101%26](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?sso=ok&returnurl=https%3A%2F%2Fkosis.kr%3A443%2FstatHtml%2FstatHtml.do%3Fconn_path%3DI2%26tblId%3DDT_1EW0004%26orgId%3D101%26)
- 3) 農林水産省海面漁業生産統計調査（平成15年～令和5年海面漁業・養殖業生産量調査、海面養殖業都道府県別魚種別収獲量データ）。農林水産省。  
[https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen\\_gyosei/index.html](https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/index.html)
- 4) 農林水産省海面漁業生産統計調査（令和6年度漁業・養殖業生産統計）。統計表。  
[https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen\\_gyosei/index.html](https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/index.html)
- 5) 木村 聡、伊東隆夫。ホヤで見られる新しいセルロース合成の場。電子顕微鏡。1996; 31(1): 59-61.
- 6) 柳澤満則。マボヤの被囊に含まれるセルロースからのL-乳酸の生産。環境技術。2021; 50(3): 34-39.
- 7) 鈴木啓一。飼料米給与採卵鶏へのホヤ殻の飼料添加給与による卵黄色改善効果。畜産の情報。2018; 8: 50-57.
- 8) Roberfroid M., Dietary fiber, inulin, and oligofructose: a review comparing their physiological effects. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*. 1993; 33(2): 103-148.

<https://doi.org/10.1080/10408399309527616>

- 9) Sung MK., Rao AV., Mechanistic studies on biological effects of soybean saponins on cell membrane. *Kor J Nutr*. 1995; 28: 1022-1033.
- 10) 浜本慎平。家禽の胃壁増大用飼料、家禽の胃筋増大用混合飼料、及び家禽の胃筋を増大させる方法。特開2019-154336, 2019.
- 11) 岡希, 吉野淳良, 高森広典, 高橋信和, 鈴木栄作. 11. 豚の総合的な抗病性向上手法開発とその実証. 令和元年度 宮城県畜産試験場試験成績書・業務年報. 2021: 69-72.
- 12) 門脇宏則。ホヤ被のうの有効利用の研究 東レ科学振興会第38回高校クラブ活動の部受賞（石巻工業高校）。2006; 38: 27-30.  
[https://www.toray-sf.or.jp/awards/education/pdf/h18\\_07.pdf](https://www.toray-sf.or.jp/awards/education/pdf/h18_07.pdf)
- 13) Uetani K, Kasuya K, Wang J, Huang Y, Watanabe R, Tsuneyasu S, Satoh T, Koga H, Nogi M. Kirigami-processed cellulose nanofiber films for smart heat dissipation by convection. *NPG Asia Materials*. 2021; 13: 1-11. <https://www.doi.org/10.1038/s41427-021-00329-5>
- 14) Yabu H, Ishibashi K, Grewal MS, Matsuo Y, Shoji N, Ito K. Bifunctional rare metal-free electrocatalysts synthesized entirely from biomass resources. *Sci. Technol. Adv. Mater*. 2022; 23(1): 31-40.
- 15) Kakuta I, Takasaki M, Sato T, Ishii K. Changes of blood and urine parameters and microflora in the gastrointestinal tract of carp exposed to dilutes sewage for a short period. *IJPIXE* 1995; 5(4): 221-233.
- 16) 角田出、高野佳奈。オキシテトラサイクリンおよび免疫賦活剤の経口投与がヒラメの腸内細菌数や組成に及ぼす影響。 *Bull. Soc. Sea Water ScL, Jpn*. 2008; 62: 278-285.
- 17) Sera H, Ishida Y. Bacterial Flora in the Digestive Tracts of Marine Fish -III Classification of Isolated Bacteria. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish*. 1972; 38: 853-858
- 18) Lee KH, Hong B-II, Choi BD, Kang SJ, Ruck JH, Jung BC. Utilization of pigments and tunic compositions of ascidian as an improved feed acids for aquaculture I. Effective extraction methods of crude polysaccharides in ascidian (*Halocynthia roretzi*) tunic. *J Korean Fish Soc*. 1998; 31(3): 423-428.
- 19) 魚粉規格、養魚用飼料の公定規格。養殖魚飼料の規格（化学部 前野）。うしお。2000; 283.

## マボヤ殻粉砕物添加餌料の投与が魚類の成長と生理に及ぼす影響

- [https://kagoshima.suigi.jp/ushio/book\\_html/ushio283/youshoku\\_002.htm](https://kagoshima.suigi.jp/ushio/book_html/ushio283/youshoku_002.htm)
- 20) エサの保証成分について<タンパク質>. 株式会社キョーリン トピックス. [https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/r03\\_h/trend/1/t1\\_4\\_1.html](https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/r03_h/trend/1/t1_4_1.html)
- 21) 農林水産省白書. (1) 世界の漁業・養殖業生産: 水産庁. 図表 4-1 世界の漁業・養殖業生産量の推移 (1960~2000 年). [https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/r03\\_h/trend/1/t1\\_4\\_1.html](https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/r03_h/trend/1/t1_4_1.html)
- 22) 平野哲也. 魚類の浸透圧調節機構とホルモン. 化学と生物 1971; 9(10): 686-687.
- 23) Mazeaud MM, Mazeaud F, Donaldson EM. Primary and Secondary Effects of Stress in Fish: Some New Data with a General Review. *Trans. Am. Fish. Soc.* 1977; 106(3): 201-212.
- 24) 竹田正彦. 2. 魚類の摂餌消化と吸収. 「魚類の栄養と飼料」(荻野珍吉編) 恒星社厚生閣、東京. 1989; 12-26.
- 25) 示野貞夫. 4. 魚類の炭水化物代謝 とくに酵素の分布と代謝調節について. 水産増殖. 1972; 20(4~5): 263-275.
- 26) 村下幸司. 魚類の摂食・消化調節機構に関する研究. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 2015; 814, 655-658.
- 27) 高瀬清美、角田 出. 生物資源の経口投与による魚類筋肉のインスリン抵抗性改善. *Bull. Soc. Sea Water Sci., Jpn.* 2020; 74: 27 - 35.
- 28) Takase K, Kakuta I. Oral administration of wild plant-derived minerals and red ginseng ameliorates insulin resistance in fish through different pathways. *Physiological Reports* 2023; 11: e15667 (1-9). <https://www.doi.org/10.14814/phy2.15667>
- 29) 平澤和明. 発酵法による養殖魚飼料用アスタキサンチンの開発. *ENEOS Technical Review*. 2010; 52(2): 50-53.
- 30) 山本剛史、泉田大介、矢野 豊、松成宏之、伴 真俊、黒川忠英、鷗沼 辰. ベニザケ養殖における効果的な色揚げ方法の検討. *Nippon Suisan Gakkaishi J-STAGE* 早期公開版. 2024: 1-9. <https://www.doi.org/10.2331/suisan.24-00003>
- 31) Capelli B, Bagchi D, Cysewski GR. Synthetic astaxanthin is significantly inferior to algal-based astaxanthin as an antioxidant and may not be suitable as a human nutraceutical supplement. *Nutrafoods*. 2013; 12: 145-152.
- \* 1 宮城ほや協議会加入企業の引き取り価格 (2024 年 4 月現在)

### 和文要旨

乾燥マボヤ被囊 (ホヤ殻) 粉砕物を市販飼料に 20% 量添加した餌で飼育した魚類の摂餌活性や成長を調べたところ、各魚種ともに体重や体長にホヤ殻投与の影響はみられなかったが、ホヤ殻投与によりギンザケは体重差が大きくなったほか、マダイでは肥満度、肝臓重量、比肝臓重量、ヒラメでは肝臓重量がそれぞれ有意に低下した。ホヤ殻の添加量を変えた給餌試験では、キンギョとギンザケ幼魚ともに肝臓や脾臓重量、赤血球数、血漿 ALT、ALP、DPPH 抗酸化活性に負の影響はみられなかった。ただし、ギンザケではホヤ殻添加餌料の投与で体重や肝臓重量に大きな変動係数がみられた。また、ホヤ殻 50% 含有群のキンギョと同 20% 以上含有群のギンザケでは腸内貯留水の増加と腸内細菌叢の変化がみられた。本結果は、粉砕ホヤ殻の飼料への添加量が適切であれば飼料中魚粉の節約になるが、肉食性の強い魚類では過摂取はエネルギー蓄積や生理活性に負影響を及ぼすことを示唆する。

キーワード: キンギョ、ギンザケ、マダイ、ヒラメ、成長、生理状態、マボヤ殻 (被囊)