

## 低水温期における養殖トラフグおよびマダイの体温

滝井健二・瀬岡 学・明楽隆司・植木 睦・加藤健太郎  
福田貴啓・安岡善信・和田光生・熊井英水

### Cultured Tiger Puffer and Red Sea Bream Have Body Temperature Higher Than Cold Seawater Environment

Kenji TAKII\*, Manabu SEOKA\*, Takashi AKIRA\*, Mutumi UEKI\*, Kentaro KATO\*,  
Takahiro FUKUDA\*, Yoshinobu YASUOKA\*, Mituo WADA\*, and Hidemi KUMAI\*

To understand poor growth performance and energy retention of tiger puffer *Takifugu rubripes* and red sea bream *Pagrus major* in cold seawater season, we preliminarily suspected the mechanism of body temperature (BT) increment as compared with seawater temperature (WT). The BT of puffer with 40 g of body weight was comparable to 17.1°C WT, whereas BT was 0.3°C higher than 13.8°C WT. The puffer with 583 g of body weight also had the BT increment of 0.2°C as compared with 11.7°C WT. The bream with 7.3 g of body weight maintained BT same as 13.2°C WT, but BTs of bream with 187 and 920 g of body weight respectively indicated 0.4°C and 0.7°C higher than 14.2°C WT. Thus, these data suggest that poor feed and energy efficiencies of these fishes, warm seawater species, at low WT may be related at least in part to large energy loss for BT increment. Moreover, potential for body temperature increment in the fishes may be acquired with growth.

Key words: red sea bream, tiger puffer, body temperature increment, cold seawater environment.

水中に生息し変温動物である魚類における各栄養素の蓄積効率は、陸上で生息する恒温動物のニワトリやブタより優れている<sup>1)</sup>。Smith<sup>2)</sup>は魚類における優れた効率は、体勢の維持、移動などに係わるエネルギー消費が少なく、体温維持にエネルギーを必要としないことに起因するとしている。しかし、魚類も生物であることから生命活動にはエネルギーが利用されるし、エネルギーの代謝にあたっては必然的に熱が発生する。宇田は<sup>3)</sup>特別な体温維持機構・器官を備えるカツオ・マグロ類<sup>4,5)</sup>以外の魚種でも、環境水温(水温)より僅かに高い体温を維持するとともに、成長や水温の低下に伴って温度差の拡大することをすでに報告している。

一方、温水性の海産養殖魚種では低水温期や成長に伴って、飼料効率をはじめとする飼育成績が僅かずつ低下する。これまでこの原因についてはあまり注目されず、飼育適水温を下回る条件

\* 浦神実験場 (Fisheries Laboratory, Kinki University, Urugami, Wakayama 649-5145, Japan)

下で起こる特異な代謝機構や活性,あるいは,体容積と索餌行動の増加に基づく活動エネルギーの増大によると考えられてきた。しかし,厳密には魚類に特異な代謝機構が存在するとは考えられないし,また,養殖魚においては成長に伴って活動量が顕著に増加することも観察できない。したがって,低水温期や成長に伴う飼育成績の低下は,体温を高く維持するためのエネルギー消費の増大に基づく可能性が十分に高い。

以上の観点から,本研究では予備的に低水温期におけるトラフグ *Takifugu rubripes* とマダイ *Pagrus major* の体温を測定し,魚類に体温を高く維持する機構が存在することを確認しようとした。

### 材料および方法

**供試魚** 本学水産養殖種苗センター浦神事業場でふ化・飼育した後,本学水産研究所浦神実験場の屋内飼育棟で養成した平均体重 39 g のトラフグ (5ヶ月令),ならびに,浦神湾内に設置した試験用生簀に移して養成した平均体重 536 g のトラフグ (1<sup>+</sup>-年級群)と平均体重 7.3 g, 187 g および 920 g のマダイ (3ヶ月令, 10ヶ月令および2<sup>+</sup>-年級群)を供試した。なお,供試魚はいずれも市販の配合飼料を給与して飼育し,体温測定に当たっては数日間絶食させた。各供試魚の量的形質は飼育状況とともに Table 1 に示した。

**測定方法** 体温および水温の測定にはデジタル表面温度計 (HFT-52 内部温度測定用センサ付,安立計器株式会社,東京)を用いた。すなわち,トラフグは手網でマダイは釣りで取り上げてから,発泡スチロール製の柔らかいシートに素早く包み込み, Fig. 1 に示すように胸鰭後部の側線上から温度計センサを斜め前方に差込んで,胸部脊椎骨付近の体温を測定した<sup>4)</sup>。なお,測定に当たって温度計の安定に要する時間は 10 秒以内であった。また,水槽ならびに生簀の表面, 1m および 2 m 深の採水には北原式採水機を用いた。

**分析方法および統計処理** 体温測定を実施する 1~2 週間前に,平均体重 39 g のトラフグおよび平均体重 583 g のマダイの各群から数尾ずつ取り上げて,全魚体の一般成分を AOAC 法<sup>6)</sup>によって分析した。また,得られたデータは Student's *t*-test によって有意差検定を行った ( $p < 0.05$ )。

Table 1. Morphological details of fishes used in the present study

Species	Body				n	Rearing condition*
	weight (g)	length (cm)	depth (cm)	width (cm)		
Tiger puffer	39.1±10.7	10.5±0.9	3.3±0.5	2.9±0.5	30	3 m <sup>3</sup> tank
	536±60	25.4±0.6	11.9±0.1	11.7±0.0	5	4×4×2.5 m net pen
Red sea bream	7.3±1.1	6.2±0.5	2.7±0.2	0.4±0.0	5	8×8×3.6 m net pen
	187±37	18.3±1.4	7.6±0.4	3.0±0.2	5	8×8×3.6 m net pen
	920±57	31.2±1.4	12.8±0.3	5.2±0.4	5	8×8×3.6 m net pen

\* Net pens were settled in the Uragami Bay, Nachikatsuura, Wakayama.

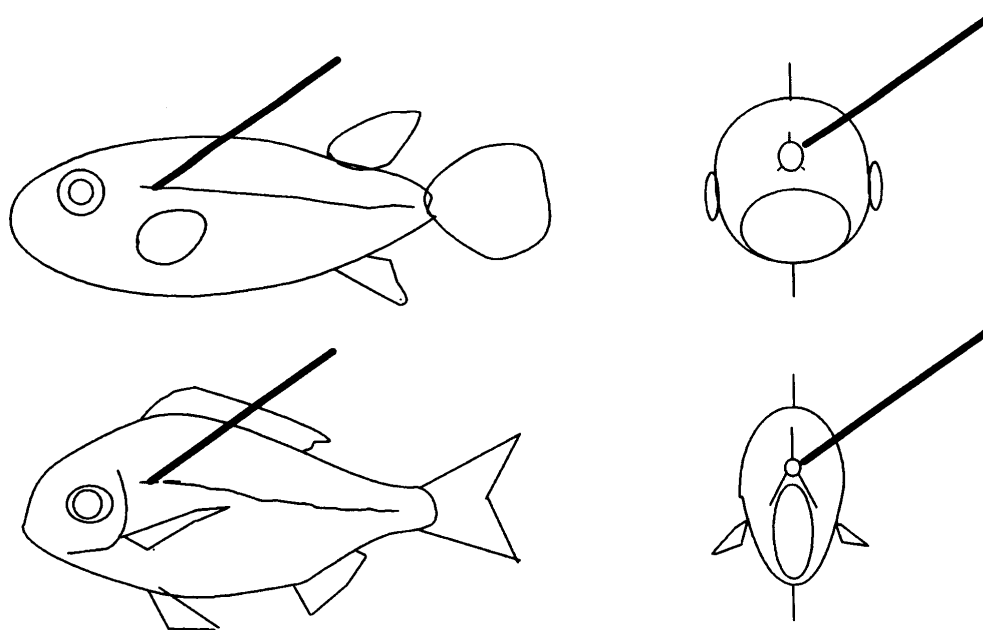


Fig. 1. Measuring site of fish body temperature.  
Straight rods indicate the sensor of digital thermometer (Anritsu, HFT-52, Tokyo).

## 結果

Table 2 にトラフグおよびマダイの体温と測定時の環境水温を示した。飼育ろ過海水温を蓄熱式ヒートポンプで  $17.2^{\circ}\text{C}$  に調節すると、平均魚体重  $39\text{ g}$  のトラフグ体温は  $17.2 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  で差異を認めなかった。しかし、ろ過海水の加温を中止して 1 週間継続飼育すると、水温が  $13.8^{\circ}\text{C}$  に低下したのに対して、体温は  $14.1 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  と若干高く維持されていた。また、水温  $11.7^{\circ}\text{C}$  で測定した平均体重  $536\text{ g}$  のトラフグ体温は、 $11.9 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  で水温より  $0.2^{\circ}\text{C}$  程度高かった。一方、水温  $13.2^{\circ}\text{C}$  における平均体重  $7.3\text{ g}$  のマダイ体温は、 $13.2 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  で水温との間に差異は認められなかったが、水温  $14.2^{\circ}\text{C}$  における平均体重  $187\text{ g}$  および  $920\text{ g}$  のマダイ体温は、それぞれ  $14.6 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$  および  $14.9 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  であり、水温より  $0.4^{\circ}\text{C}$  および  $0.7^{\circ}\text{C}$  高かった。

Table 3 に全魚体の一般成分を示した。トラフグはマダイに比べて水分含量は高く、粗タンパク質、粗脂質および粗灰分含量は低かった。特に、トラフグの粗脂質含量はマダイのその半以下であった。

## 考察

トラフグの成長に適した水温範囲は  $16 \sim 23^{\circ}\text{C}$  で、 $4^{\circ}\text{C}$  以下または  $28^{\circ}\text{C}$  以上では仮死状態に陥ると報告されている<sup>7,8)</sup>。一方、マダイの飼育に適した水温範囲は  $18 \sim 28^{\circ}\text{C}$  で、 $13 \sim 14^{\circ}\text{C}$  になると摂餌量が大きく減少し、 $10^{\circ}\text{C}$  以下では全く摂餌しなくなる<sup>9)</sup>。そこで、平均体重  $39\text{ g}$  のトラフグを水温の異なる条件で飼育して体温を測定したところ、適水温範囲内では体温と水温との間に差異は認められなかったが、適水温以下では体温が水温より高く維持されていた。また、平均

Table 2. Body temperatures of the fishes under various temperatures of environmental seawater

Species	Mean body Weight (g)	Temperature (°C)	
		Body	Seawater* <sup>1</sup>
Tiger puffer	39.1	17.2±0.1* <sup>2</sup> (n=10)	17.2
		14.1±0.1* <sup>3</sup> (n=20)	13.8 <sup>b</sup>
	536	11.9±0.1 <sup>a</sup> (n=5)	11.7±0.0 <sup>b</sup> (n=3)
Red sea bream	7.3	13.2±0.1 (n=5)	13.2±0.1 (n=3)
	187	14.6±0.3 <sup>a</sup> (n=5)	14.2±0.0 <sup>b</sup> (n=3)
	920	14.9±0.2 <sup>a</sup> (n=5)	14.2±0.1 <sup>b</sup> (n=3)

\*<sup>1</sup> Temperatures of surface, 1 m and 2 m layers.

\*<sup>2</sup> Mean±SD.

\*<sup>3</sup> Different superscript letter donates significant difference within a row ( $p<0.05$ ).

Table 3. Proximate compositions of whole fish body (%)

Species	Tiger puffer	Red sea bream
Body weight (g)	39.1	187
Moisture	74.5±0.8*	62.9±1.8
Crude protein	14.9±0.7	17.1±0.5
Crude fat	7.4±1.1	14.3±1.3
Crude ash	3.1±0.4	5.0±0.5

\* Mean±SD (n=5).

体重 583 g のトラフグと平均体重 187 g および 920 g のマダイの体温は、若干の種間差は認められるものの、適水温以下ではいずれも水温より高い値を維持していた。これまで、カツオ *Katsuwonus pelamis*, キハダマグロ *Thunnus albacares*, マカジキ *Tetrapturus audax*, シイラ *Coryphaena hippurus* などの体温も水温より高く、水温が低下するとその差異が拡大することが報告されている<sup>3)</sup>。魚類は変温動物であるので、恒温動物のように厳格な体温維持機能を持たないが、水温が低下すれば熱産生機能を活性化させて、体温を少しでも高く維持する方向へ対応するのであろう。加えて、山本ら<sup>10)</sup> はコチ *Platycephalus indicus* の成長に及ぼす飼育水温の影響について調べ、16°Cでは20°Cに比べて成長や飼料効率が顕著に低下することを示した。また、ヘダイ *Sparus sarba*<sup>11)</sup> およびメナダ *Liza haematocheila*<sup>12)</sup> でも、低水温区の成長や飼育成績が低下すると報告されているので、これら低水温による飼育成績の低下の一部は、発熱のためのエネルギー消費が増加したことに基づく可能性が高い。

一方、平均体重 7.3 g のマダイ体温は適水温以下でも水温と同じで差異は認められなかったが、平均体重 187 g および 920 g のマダイは水温より 0.4 および 0.7°C高い体温を維持していた。カツオ<sup>4)</sup> およびクロマグロ *Thunnus thynnus*<sup>5)</sup> では、体重あるいは体長の増加によって体温と水温の差異が拡大すると報告されているので、魚類の熱産生機能は成長によっても活性化する可能性が考えられる。高木らのマダイ用配合飼料への大豆油粕利用に関する一連の研究から<sup>13-15)</sup>、飼料効

率、PER、エネルギー効率などは、成長に伴って低下することが観察されている。おそらく、このマダイの成長に伴う飼育成績の低下にも、発熱に関するエネルギー消費の増大が関わっていることが推察され大変に興味深い。

魚体内で発生した熱は体表を介して環境水に受け渡されるので、体表面積/体重比も魚体温に影響を及ぼす重要な因子の一つである<sup>16)</sup>。しかし、同一群を用いて測定したトラフグ体温は適水温以下の条件では水温より高く、また、体表面積/体重比が高いマダイにおいて体温と水温の差異が大きかった点を考慮すると、魚類の体温の上昇には他の要因も関与していることが推察された。そこで、全魚体の一般成分について分析したところ、脂質含量はトラフグよりマダイが顕著に高かった。トラフグの適水温帯がマダイに比べて若干低いことも関係すると考えられるが、魚類も熱産生に脂質を選択的に利用することを示唆しているのかもしれない。ブリ *Seriola quinqueradiata* およびコイ *Cyprinus carpio* では、秋から初冬にかけて脂質合成系の酵素活性が高まり、体脂質含量の著増することが報告されているし<sup>17-19)</sup>、冬期においては脂質が多く利用されることも示されている<sup>20)</sup>。また、マダイでは成長に伴って脂質含量の増加することが知られている<sup>13-15)</sup>。

二平<sup>4)</sup>、Kitagawa *et al*<sup>5)</sup> および Stevens and Neill<sup>16)</sup> は、カツオおよびクロマグロが水温より高い体温を維持することは、遊泳速度を速めて捕食を有利にすると共に、栄養素の消化・吸収や代謝を活性化につながると推察している。トラフグおよびマダイ仔稚魚は、餌料生物の豊富な藻場で生育することから速やかな成長を確保できるが、栄養素やエネルギーを効率的に蓄積するには体温の制御は負のファクターとして働くであろう。しかし、稚魚から成魚に成育する間には生息場所も沖合い大陸棚に移り、餌料も大型で活発に動く生物に切り替わるので、体温を高く維持することは捕食や生存の確率を高めるのに有効に作用すると考えられる。今後は、これらの推察とともに水温コントロールの意義と効果についても併せて検討し、陸上養殖システムの確立にむけて基礎および応用的知見を集積する必要がある。

## 要 約

低水温期におけるトラフグおよびマダイの体温を測定した。平均体重 39 g のトラフグを水温 17.1°C で飼育すると体温との間に差異を認めなかったが、水温 11.7°C に下げると体温は 0.3°C 上昇した。また、平均体重 7.3 g のマダイを水温 13.2°C で飼育しても体温との差異を認めなかったが、平均体重 187 g および 920 g のマダイを 14.2°C で飼育すると、体温はそれぞれ 0.4°C および 0.7°C 高かった。以上の結果から、低水温期における魚類の低い飼料効率やエネルギー効率は、体温を高く維持するためのエネルギー消費が増加すること、また、体温維持に関する機能は成長に伴って活性化されることなどが推察された。

## 謝 辞

本研究は関西電力（株）委託研究「新陸上海産魚養殖システムに適したトラフグの作出」の一

環として実施し、同社の高畑 享および猪田博子氏には終始貴重なご示唆と論議を賜った。また、本学水産養殖種苗センター浦神事業場の井上 通氏にはサンプリングに当たってご協力を頂いた。これら関係各位に衷心より謝意を表します。

## 文 献

- 1) Lovell, T. (1989): Nutrition and feeding of fish. An AVI Book, New York, pp. 1-10.
- 2) Smith, R.R. (1989): Nutritional energetics, in "Fish Nutrition 2nd Ed." (ed. by J.E. Halver), Academic Press, Sun Diego, pp. 1-29.
- 3) 宇田道隆 (1941): カツヲとサンマの魚体温と形状に関する測定. 日水誌, 9, 231-236.
- 4) 二平 章 (1996): 潮境域におけるカツオ回遊魚群の行動生態および生理に関する研究. 東北水研研報, 58, 137-233.
- 5) Kitagawa, T., H. Nakata, S. Kimura, and S. Tsuji (2001): Thermoconservation mechanisms inferred from peritoneal cavity temperature in free-swimming Pacific bluefin tuna *Thunnus thynnus orientalis*. *Mar Ecol Prog Ser*, 220, 243-263.
- 6) AOAC (1984): Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists 14th Ed., Arlington, VA, p. 1141.
- 7) 落合 明・田中 克 (1986): トラフグ. 魚類学 (下), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 1024-1026.
- 8) 高岡 治 (2000): トラフグ. 最新海産魚の養殖, 熊井英水編著, 湊文社, 東京, pp. 140-147.
- 9) 村田 修 (2000): マダイ. 最新海産魚の養殖, 熊井英水編著, 湊文社, 東京, pp. 89-108.
- 10) 山本眞司・村田 修・那須敏朗・宮武弘文・家戸敬太郎・宮下 盛・熊井英水 (2000): コチ当歳魚の成長に及ぼす飼育水温の影響. 近大水研報, 7, 51-57.
- 11) Mihelakakis, A., T. Yoshimatsu, and C. Kitajima (1994): Effects of environmental temperature on food intake and growth of the silver sea bream, *Sparus sarba* (F). *Suisanzoshoku*, 42, 491-497.
- 12) 吉松隆夫・古市政幸 (1996): 飼育水温がメナダの成長, 体成分および飼料利用効率に与える影響. 水産増殖, 44, 363-368.
- 13) 高木修作・細川秀毅・示野貞夫・舞田正志・宇川正治・上野慎一 (1999): マダイ用飼料における濃縮大豆タンパク質の利用. 水産増殖, 47, 77-87.
- 14) 高木修作・示野貞夫・細川秀毅・宇川正治 (2000): マダイ稚魚飼料における代替タンパク質源併用による魚粉の削減. 水産増殖, 48, 523-530.
- 15) 高木修作・示野貞夫・細川秀毅・宇川正治 (2000): マダイ1歳魚飼料における代替タンパク質源併用による魚粉の削減. 水産増殖, 48, 545-552.
- 16) Stevens, E.D. and W.H. Neill (1978): Body temperature relations of tunas, especially skipjack, in "Fish Physiology, Vol. VII." (ed. by W.S. Hoar and D.J. Randall), Academic Press, New York, pp. 315-359.
- 17) 示野貞夫・細川秀毅・竹田正彦・高山三圭・福井章夫・佐々木廣治 (1981): 飼料脂質に対するハマチ肝臓酵素の適応. 日水誌, 47, 63-69.

- 18) 示野貞夫・四方崇文・細川秀毅 (1992): ハマチ肝臓の糖代謝酵素活性および脂質含量の季節変化. 水産増殖, 40, 201-206.
- 19) 示野貞夫・四方崇文 (1993): コイの糖代謝酵素活性および脂質含量に及ぼす飼育水温および給餌率の影響. 日水誌, 59, 661-666.
- 20) 示野貞夫・四方崇文 (1993): 屋外飼育コイの糖代謝酵素活性および脂質含量の季節変化. 日水誌, 59, 653-659.