

合成タウリン添加飼料がトラフグの成長促進に及ぼす効果について

松倉 一樹

Effect of synthetic taurine supplemented diet on growth promotion of tiger puffer,
Takifugu rubripes

KAZUKI MATSUKURA

Feeding trials were conducted with tiger puffer, *Takifugu rubripes*, to examine growth promoting effects of supplemented synthetic taurine to their diets. In addition, we investigated the influence of hemochemical characteristics. Commercial extruded dry pellets (EP) were used as basal diets, in experiment 1 (Expt. 1), synthetic taurine were supplemented to EP in various levels (synthetic taurine: 1.0 and 4.8%). These experimental diets were fed to yearling tiger puffer for 128 days in aquaria, on 19 - 27°C. In experiment 2 (Expt. 2), synthetic taurine were supplemented to EP in 1.0% amount. These experimental diets were fed to yearling tiger puffer for 57 days in aquaria, on 12 - 15°C. The experimental diets supplemented with synthetic taurine showed higher specific growth rate (SGR) in Expt. 1 and 2. Also, in Expt. 2, the experimental diets containing synthetic taurine showed higher feed efficiency and taurine accumulation in the liver. On the other hand, all experimental diets showed no significant difference at hemochemical characteristics in Expt. 1 and 2.

These results suggested that diets supplemented with synthetic taurine could be effective in tiger puffer growth promotion, and reduce the time required to execute shipping tiger puffer. In addition, it was suggested that taurine would be supplemented at the level more than 14mg/g to tiger puffer diet.

タウリンは、ブリ *Seriola quinqueradiata* やマダイ *Pagrus major*, ヒラメ *Paralichthys olivaceus* 等複数の養殖対象種において不可欠な成分であることが、近年の研究で判明している。¹⁻³⁾ また、ブリやマダイでは、タウリンが少ない魚粉削減飼料で飼育すると緑肝症を発症し、成長不良や死亡にいたることが報告されている。^{4, 5)} 一方、コイ *Cyprinus carpio* やティラピア *Oreochromis niloticus* 等淡水魚の一部は、タウリン含量が少ない餌で飼育しても特に成長不良等の悪影響を生じない。⁶⁾

このように、タウリンの要求量は魚種によって異なる。しかし、長崎県内でブリ、マダイ等と同様に重要な養殖対象種であるトラフグ *Takifugu rubripes* は、タウリンの要求量について

検討された事例がない。

そこで本研究では、トラフグのタウリン要求に関する知見を得ることを目的として、その含量が異なる EP 飼料でトラフグを高水温期と低水温期に飼育し、各期間での成長促進に対する効果について検討した。併せて、トラフグ養殖で問題になりやすい肝細胞の傷害を判断する指標である GOT や GPT 等の血漿化学成分の測定を行い、肝機能についても評価した。^{7, 8)}

材料と方法

試験 1 (高水温期の飼育試験)

試験飼料 主なタンパク質源として魚粉を用いた市販のトラフグ用 EP 飼料 (EP) と、EP に合成タウリン (T) の添加量を変えた計 3 種類

Table 1 Proximate composition (%) and taurine contents of diets for experiment 1

	EP	EP + T1.0%	EP + T4.8%
Proximate composition (% on dry matter basis)			
Crude protein		59.6	
Crude fat		11.7	
Crude fiber		0.7	
Crude ash		13.4	
Taurine (mg/g)	4.1	14.3	64.6

の飼料を用いた (Table 1)。合成タウリンは、EP 重量に対して 30%量の水に溶かし、その水溶液を EP に吸着させて添加した。合成タウリンの添加量は、EP 重量に対して 1.0%と、水に溶けるほぼ最大の量であった 4.8%の 2 種類とした。各区の飼料中に含まれるタウリンの分析値は、EP 区 : 4.1mg/g, EP+T1.0%区 : 14.3mg/g, EP+T4.8%区 : 64.6mg/g であった。

飼育 県内の種苗生産業者から入手後、長崎県総合水産試験場 (以降 : 総合水試とする) で市販飼料を用いて 2 ヶ月間馴致飼育した平均体長 71mm, 平均体重 11g のトラフグ 0 才魚を 30 尾ずつ 3 区に分け、それぞれ 100L 円形ポリカーボネイト水槽に収容した。飼育水は自然水温下で紫外線照射殺菌海水を用いて流水式とし、試験飼料は各区に週 5 日、1 日 1 回の頻度でほぼ飽食量を給餌した。試験期間は 2011 年 5 月 31 日から 10 月 5 日までの 128 日間であり、飼育水温は給餌日毎に測定した。飼育水槽は飼育期間中、成長に応じて容量を 100L, 200L, 500L の順に大きくした。また、試験飼料のサイズについても成長に応じて、直径 3mm から直径 6mm までの範囲で変更した。

魚体測定 4 週間毎に全個体の体重を測定し、日間増重率、飼料効率および日間給餌率を求めた。

血漿化学成分および比肝重 飼育終了時に、各区から無作為に 5 尾ずつ生きた状態で採取し、直ちに尾部血管から採血を実施した。抗凝固材にはヘパリンナトリウムを用いた。採血後、遠

心分離して血漿を採取し、自動生化学分析装置 (富士ドライケム 7000) を用いて血漿中の総コレステロール (TCHO), GOT, GPT, 総ビリルビン (TBIL) を測定した。併せて、各個体の肝臓を採取して比肝重 (HSI: 肝重量 / 体重 × 100) を算出した。

試料分析 試験飼料の一般成分は、定法により分析した。

統計処理 飼育成績、血漿化学成分および比肝重は、一元配置の分散分析に引き続き、Tukey-Kramer 検定を行った。検定は、StatView 5.0 を用いて危険率 5% による有意差を判定した。

試験 2 (低水温期の飼育試験)

試験飼料 試験 1 で用いた EP と EP+T1.0% を使用し、それぞれ給餌頻度を週 3 および 6 日とした (Table 2)。なお試験 2 では、試験 1 で EP+T1.0% でもトラフグの成長が促進される傾向を確認できたこと、実際に養殖現場で活用する際、合成タウリンを多く使用するとコストが高くなり経営的に不利となることが予想されることから、試験 1 で用いた EP+T4.8% を使用しなかった。

飼育 県内の養殖業者から入手した平均体長 202mm, 平均体重 264g のトラフグ 0 才魚を試験前に総合水試にて 8 日間無給餌で馴致飼育を行った後、11 尾ずつ EP-1, 2 と EP+T1.0%-1, 2 の 4 区に分け、それぞれ 500L 円形ポリカーボネイト水槽に収容した。各水槽への給餌は EP-1 区と EP+T1.0%-1 区には週 6 日、EP-2 区と EP

Table 2 Proximate composition (%) and taurine contents of diets for experiment 2, and feeding frequency

	EP - 1	EP - 2	EP + T1.0% - 1	EP + T1.0% - 2
Proximate composition (% on dry matter basis)				
Crude protein		59.6		
Crude fat		11.7		
Crude fiber		0.7		
Crude ash		13.4		
Taurine (mg/g)	4.1	4.1	14.3	14.3
Feeding frequency (times/week)	6	3	6	3

+T1.0%-2 区には週 3 日、それぞれ 1 日 1 回の頻度でほぼ飽食量とした。飼育期間は 2012 年 1 月 4 日から 2 月 29 日までの 57 日間であり、飼育水は自然水温下で紫外線照射殺菌海水を用いて流水式とした。飼育水温は給餌日毎に測定した。

試料分析 飼育終了後、採血を行った各個体から肝臓を採取し、アミノ酸自動分析法により肝臓中のタウリン含量を測定した。

魚体測定、血漿化学成分および比肝重、統計処理 試験 1 と同様に実施した。

結果

試験 1 (高水温期の飼育試験)

飼育成績 試験期間中の飼育水温は 19.1～27.3°C で推移した。平均体重の推移を Fig.1 に、128 日間の飼育成績を Table 3 に示す。平均体重および日間増重率は、EP 区：262.3g, 2.44%, EP+T1.0%区：279.7g, 2.47%, EP+T4.8%区：291.6g, 2.55%となり、合成タウリンの添加量が多いほど高い値を示した。飼料効率は各区ほぼ同等の値を示した。総給餌量および日間給餌率は、EP 区：4216g, 1.00%, EP+T1.0%区：4749g, 1.02%, EP+T4.8%区：4916g, 1.04%を示し、顕著な差はみられなかったものの、合成タウリンの添加量が多いほどやや高い値を示した。

血漿化学成分および比肝重 飼育終了時の血漿化学成分および比肝重を Table 4 に示した。全ての項目について、各試験区間で統計的に有意な差はみられなかった ($P > 0.05$)。

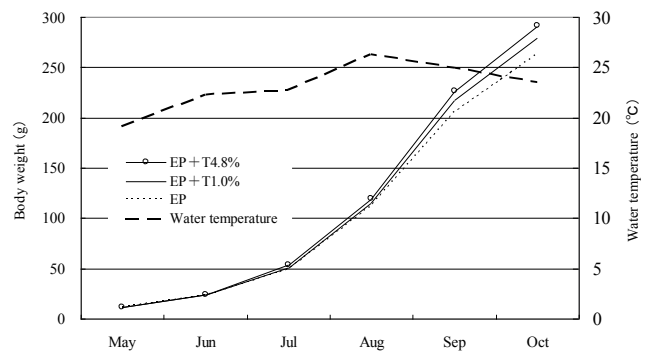


Fig.1 Monthly changes in average body weight of yearling tiger puffer fed experiment 1 diets

試験 2 (低水温期の飼育試験)

飼育成績 試験期間中の飼育水温は 14.9～12.0°C で推移した。57 日間の飼育成績を Table 5 に示す。日間増重率および飼料効率は、試験 1 に比べて全体的に低く、特に EP-2 区では負の値を示した。各試験区間で比較すると、統計的に有意な差は無いものの、合成タウリン添加区が EP-1, 2 区に比べて高い傾向にあった。日間給餌率は、給餌頻度週 6 日区が週 3 日区に比べて高く、週 3 日区では合成タウリン添加区が EP-2 区に比べて高い傾向にあった。

血漿化学成分、比肝重および肝臓中のタウリン含量 飼育開始時および終了時の血漿化学成分、比肝重および肝臓中のタウリン含量を Table 6 に示す。血漿化学成分および比肝重は、各試験区間で統計的に有意な差はみられなかった ($P > 0.05$)。また、肝臓中のタウリン含量は、合成タウリン添加区が EP-1, 2 区に比べて高い

Table 3 Growth performance of yearling tiger puffer fed the experiment 1 diets for 128 days

		EP	EP + T1.0%	EP + T4.8%
Average body weight (g)	Initial	11.1	11.8	11.6
	Final	262.3	279.7	291.6
Specific growth rate (%)		2.44 ^a	2.47 ^{ab}	2.55 ^b
Feed efficiency (%)		120	122	121
Feed consumed (g)		4216	4749	4916
Daily feed intake (%)		1.00	1.02	1.04
Survival rate (%)		90	100	90

Different superscript letters in each row indicate significant difference by one-way ANOVA followed by Tukey's multiple range test ($P < 0.05$).

Table 4 Hemochemical characteristics and hepatosomatic index (HSI) of yearling tiger puffer fed experiment 1 diets for 128 days

		EP	EP + T1.0%	EP + T4.8%
TCHO	(mg/dl)	176 ± 25.7	212 ± 45.9	174 ± 15.6
TG	(mg/dl)	82 ± 23.5	89 ± 7.9	83 ± 18.3
GOT	(U/L)	40 ± 31.0	53 ± 25.1	18 ± 4.2
GPT	(U/L)	12 ± 5.5	15 ± 8.4	13 ± 2.9
TBIL	(mg/dl)	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
HSI	(%)	8.2 ± 0.8	9.1 ± 0.4	9.3 ± 0.7

Values are means ± standard deviation

Table 5 Growth performance of yearling tiger puffer fed the experiment 2 diets for 57 days

		EP - 1	EP - 2	EP + T1.0% - 1	EP + T1.0% - 2
Average body weight (g)	Initial	267.6	276.1	257.3	254.6
	Final	269.2	252.5	282.3	272.9
Specific growth rate (%)		0.01	-0.16	0.16	0.12
Feed efficiency (%)		2	-65	40	39
Feed consumed (g)		730	400	691	518
Daily feed intake (%)		0.43	0.24	0.41	0.31
Survival rate (%)		100	100	100	100

Table 6 Hemochemical characteristics, hepatosomatic index (HSI) and taurine contents of yearling tiger puffer fed experiment 2 diets for 57 days

		EP - 1	EP - 2	EP + T1.0% - 1	EP + T1.0% - 2
Hemochemical characteristics					
TCHO	(mg/dl)	179 ± 51.5	175 ± 34.7	225 ± 66	180 ± 37.7
TG	(mg/dl)	86 ± 33.8	98 ± 40.2	114 ± 15.3	129 ± 9.3
GOT	(U/L)	21 ± 6.8	28 ± 14.7	43 ± 18.1	33 ± 25.0
GPT	(U/L)	16 ± 6.7	13 ± 6.4	17 ± 8.7	13 ± 3.0
TBIL	(mg/dl)	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
Liver					
HSI	(%)	10.8 ± 1.4	9.5 ± 2.1	11.4 ± 2.5	10.6 ± 2.7
Taurine	(mg/g)	2.6	2.4	3.4	3.0

Values are means ± standard deviation

傾向にあった。

考 察

本研究では、市販トラフグ用 EP 飼料へ合成タウリンを添加することで、高水温期と低水温期におけるトラフグの成長および血漿化学成分に及ぼす影響を調べた。試験 1 では、合成タウリンの添加により日間給餌率および日間増重率が向上し、添加量が多いほどその傾向が顕著であった。一方、各血漿化学成分および比肝重には有意な差が認められなかった。中内ら⁹⁾が提唱したトラフグ 0 才魚 12 月期における各区の TCHO, GOT, GPT, TBIL の標準値と今回の測定結果を比較すると、EP+T1.0%区の GOT のみやや高い値を示したものの、それ以外は標準値の範囲内であった。また、比肝重はいずれの試験区も 10%以下と正常値を示し、生残率は 90%以上と差はみられなかった。以上のことから、試験 1 を実施した水温 19~27℃の条件下では、合成タウリンを飼料へ添加することにより、成長を向上できることが示唆された。ただし、合成タウリン添加による血漿化学成分の変化は認められなかった。

試験 2 では、試験 1 に比較して全体的に成長が低調であった。一般に、トラフグ養成の適水温は 16~25℃であり、14℃以下では摂餌量が著しく減少すると報告されている。¹⁰⁾ 本試験期間中の飼育水温は 14.9~12.0℃を示していたことから、試験 1 に比べて成長が劣ったものと考えられた。各試験区間で比較すると、給餌頻度に関係なく、合成タウリンを添加すると日間増重率および飼料効率が向上する傾向にあり、肝臓中のタウリン含量も高い傾向を示した。また、中内ら⁹⁾が提唱したトラフグ 0 才魚 2 月期における TCHO, GOT, GPT, TBIL の標準値と今回の結果を比較すると、EP-2 区, EP+T1.0%-1 区, EP+T1.0%-2 区の GOT と、EP+T1.0%-1 区の GPT が標準値よりやや高い値を示していたが、大きく逸脱しておらず、各試験区間で有意な差は認められなかった。GOT および GPT は、肝

機能の異常を把握する指標の 1 つであり、肝細胞の障害が発生した場合等に上昇する。⁸⁾ トラフグでは、特に水温下降期を中心として過食に伴って肝機能が低下し、比肝重が 15%を超える個体が多くなっていくことが知られている。またその症状が重篤になると、群全体の摂餌量が低下し、慢性的にへい死魚が出現することが指摘されている。⁷⁾ 今回の試験では、比肝重は 12%以下にとどまっており、摂餌量の顕著な低下や供試魚のへい死はみられなかった。以上のことから、肝機能については全ての試験区で顕著な悪化はみられず、各試験区間で明確な差がなかったものと考えられる。

このように、市販トラフグ用 EP 飼料へ合成タウリンを添加することによって、成長を向上できることが示唆された。特に低水温期においては、肝臓へのタウリン蓄積と共に飼料効率の上昇が確認され、生理状態の改善も示唆された。しかし、血漿化学成分に顕著な差は見られず、肝機能に及ぼす影響は確認されなかった。

ブリ、マダイでは、低無魚粉飼料には魚の要求に見合うタウリン量が含まれていないため、合成タウリンを補足する必要があることが指摘されており、それらの魚が要求する飼料中のタウリン量は、マダイで 5~10mg/g、ブリで 30mg/g であると推測されている。^{2, 4, 11)} また前野ら¹²⁾は、水温 20℃を下回る時期にカンパチ 0 才魚を飼育し、タウリン含量 0.25% (2.5mg/g) の低魚粉飼料へ合成タウリンを添加して 0.82% (8.2mg/g) まで高めたところ、飼料効率が向上したことを確認している。一方、朴ら³⁾は、ヒラメ稚魚で魚粉主体飼料を用いてタウリン添加効果を検討し、その結果、タウリン添加により成長が改善されたこと等から、ヒラメ稚魚では通常の魚粉主体飼料に含まれる量よりも多くのタウリンを要求する可能性があることを指摘しており、その要求量は 15~20mg/g と推測している。

今回の研究では、タウリン量が 4mg/g の市販トラフグ用 EP 飼料に合成タウリンを添加し、

飼料中のタウリン量を 14mg/g 以上に増加させたところ、合成タウリン添加区が市販 EP 区に比べて成長が良く、特に低水温期においては飼料効率の上昇や肝臓中へのタウリン蓄積が確認され、生理状態が改善されていることも示唆された。

以上のことから、トラフグは他の海産魚^{3,4,11,12)}と同様に、通常の魚粉主体飼料に含まれている量よりも多くのタウリンを要求することが想定され、その要求量は 14mg/g 以上であると考えられた。しかし、今回の試験結果では、合成タウリンの添加によって成長および生理状態が改善した作用機序が不明である。Maita *et al.*¹³⁾ は、無魚粉飼料で飼育したブリの血漿 TCHO 値が低下すること、タウリンの補足によりそれが改善すること等を確認し、無魚粉飼料での飼育による TCHO の低下は、飼餌料中のタウリン不足に起因する内因性および外因性コレステロールの欠乏によって引き起こされることを推測している。また、Matsunari *et al.*²⁾ は、飼餌料中のタウリン不足によってマダイの成長や生体内での胆汁塩の生合成が低下すること、タウリンを補足するとそれらが改善することを確認している。今後は、トラフグ生体内でのコレステロール代謝や胆汁塩の挙動等も含めて、検討する必要がある。

謝 辞

本稿をとりまとめるにあたり、種々ご教示いただいた東京海洋大学佐藤秀一教授に厚くお礼申し上げます。

また、本研究を行うにあたり、供試魚の提供をいただいた島原漁業協同組合の関係各位に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) Matsunari H, Takeuchi T, Takahashi M, Mushiake K. Effect of dietary taurine supplementation on growth performance of yellowtail juveniles *Seriola quinqueradiata*. *Fish. Sci.* 2005; **71**: 1131-1135.
- 2) Matsunari H, Yamamoto T, S. K. Kim, Goto T, Takeuchi T. Optimum dietary taurine level in casein-based diet for juvenile red sea bream *Pagrus major*. *Fish. Sci.* 2008; **74**: 347-353.
- 3) 朴 光植, 竹内俊郎, 青海忠久, 横山雅仁. 飼料中のタウリンがヒラメ稚魚の成長および魚体内のタウリン濃度に及ぼす影響. 日水誌 2001; **67**: 238-243.
- 4) Takagi S, Murata H, Goto T, Ichiki T, D.M.S. Munasinghe, Endo M, Matsumoto T, Sakurai A, Hatate H, Yoshida T, Sakai T, Yamashita H, Ukawa H, Kuramoto T. The green liver syndrome is caused by taurine deficiency in yellowtail, *Seriola quinqueradiata* fed diets without fishmeal. *Aquaculture. Sci.* 2005; **53**: 279-290.
- 5) 高木修作, 村田壽. ブリ・マダイにおけるタウリン欠乏による緑肝発症機構とタウリンの必要性. アクアネット 2009; **12** (8): 24-29.
- 6) 竹内俊郎. 仔稚魚の栄養. 「改訂魚類の栄養と飼料」(渡邊武編) 恒星社厚生閣, 東京. 2009; 208-210.
- 7) トラフグ養殖管理指針. 全国漁連海面魚類養殖業対策協議会, 東京. 1998.
- 8) 池田彌生, 尾崎久雄, 瀬崎啓次郎. 血液性状による診断法. 「魚類血液図鑑」 緑書房, 東京. 1986; 313-315.
- 9) 中内良介, 松浦光信, 窪田三朗. 養殖トラフグの血液生化学標準値に関する研究. 獣医畜産新報 1995; **48**: 361-366.
- 10) 高岡治. 海産魚類養殖の実際—トラフグ. 「最新海水魚の養殖」(熊井英水編) 湊文社, 東京. 2000; 140-147.
- 11) 高木修作. マダイ用魚粉削減飼料の開発に関する研究. 愛媛県水産試験場研究報告 2003; **11**: 1-125.

- 12) 前野幸二, 村瀬拓也, 平江多績, 柳宗悦, 佐藤秀一. 合成タウリンを添加した魚粉低減飼料給餌によるカンパチの成長. 鹿水技研報 2012; **3**: 21-33.
- 13) Maita M, Maekawa J, Satoh K, Futami K, Satoh S. Disease resistance and hypocholesterolemia in yellowtail *Seriola quinqueradiata* fed a non-fishmeal diet. *Fish. Sci.* 2006; **72**: 513-519.