

絶食がトラフグ稚魚に及ぼす影響

宮崎 隆徳^{*1}, 山砥 稔文, 坂口 昌生, 塚原淳一郎^{*2}

Effects of Starvation on Juvenile Tiger Puffer, *Takifugu rubripes*

Takanori Miyazaki^{*1}, Toshifumi Yamatogi, Masao Sakaguchi,
and Jun-ichiro Tsukahara^{*2}

The effects of starvation on growth, survival rate, condition of caudal fin and peduncle, biochemical compositions of muscles and livers, and oxygen consumption were investigated on juvenile tiger puffer, *Takifugu rubripes*.

A slight delay in growth of juveniles was observed after 5 days of starvation, but survival rate of the starved group was 99.5%, which was the same as the control group. The growth rate and the other condition parameters of the group starved for 5 days recovered to the same levels as those of the control when feeding was resumed restarted, suggesting that 5 days starvation had little effect on juvenile tiger puffers. The survival rate of the group starved for 10 days was 81.0%, suggesting that 10 days starvation affected juveniles. Besides, the survival rate of the group starved for 15 days was 9.5%. The caudal fin/body length ratio, liver/body weight ratio, and the amount of crude lipid in the liver all decreased with the starvation period. On the other hand, oxygen consumption (ml/g) also decreased due to starvation. This result suggests that starvation is used by juvenile tiger puffers when low oxygen concentrations are observed during red tides?

トラフグの歯は鋭く、飼育環境下では噛み合うため、尾鰭・尾柄などが損傷し、生残率低下の要因となっている。これらの被害を軽減するため、飼育密度を低くしたり、歯の切除などの方法がとられる。噛み合いによる被害は稚魚期の空腹時に認められることが多いため、空腹状態が続かないよう一日に数回給餌が行われている。しかし、有害赤潮の発生等絶食を必要とする場合が考えられる。従って、どの程度の絶食期間であれば飼育魚の成長や生残に影響

が少なく、絶食することで飼育魚にどのような変化が生じるかを把握することが重要となる。これまでブリやマダイでは絶食の影響に関する報告事例があるが¹⁻⁴⁾、トラフグについては、種苗生産段階での絶食に関する報告事例があるのみである⁵⁾。そこでトラフグ稚魚に対して絶食が成長、生残率、噛み合い、体成分、酸素消費量に及ぼす影響を調べるとともに、絶食可能期間について検討した。

^{*1} 長崎県水産部水産振興課

^{*2} 長崎県政策調整局科学技術振興課

材料と方法

実験1 絶食が成長, 生残率, 噛み合いへ及ぼす影響

供試魚は歯切りした2002年産トラフグ人工種苗(平均全長80mm, 平均体重9.2~9.9g)を用いた。飼育条件を Table 1 に示す。実験は長崎県総合水産試験場の海面筏において2002年7月19日から開始し, 3×3×3mの網生け簀に各200尾収容とした。また, 絶食後の回復を観察する目的で, 絶食期間以外は各区とも市販のヒラメ・トラフグ用配合飼料(おとひめEP3 日清飼料(株)製)を週6日, 1日2回飽食給餌し, 2002年9月2日まで45日間飼育し, 実験開始時と5日後, 10日後, 15日後, 31日後, 試験終了時(45日後)に魚体を測定した。尾鱗・尾柄の残存状態は Fig. 1 に示す基準により判定した⁶⁾。有意差の検定は, Student の *t* 検定を用いて危険率5%で行っ

た。実験期間中の水温は24.8~28.9℃(平均27.0℃), 絶食期間を設けた試験開始から15日間の水温は25.5~28.0℃(平均26.9℃)であった。

実験2 絶食が体成分へ及ぼす影響

絶食による生理的な変化を確認するため, 実験1と同様に給餌区と絶食区(15日間絶食)を設定し, 実験開始時, 5日, 10日, 15日および45日後に, 比肝重(肝臓重量/体重×100)を求めるとともに, 肝臓および筋肉の成分分析を行った。タンパク質はケルダール法(タンパク質換算係数6.25), 脂質はクロロホルム・メタノール混液抽出法, 灰分は直接灰化法(550℃, 5時間), 糖質はアントロン硫酸法により測定し, 水分は総量からタンパク質, 脂質, 灰分, 糖質の総和を差し引いて求めた。

実験3 絶食が酸素消費量へ及ぼす影響

供試魚は実験1と同様の条件で飼育開始から6日

Table 1. Description of experimental conditions used for juvenile tiger puffers.

Experimental No.	I				II	
	control	5 days starvation	10 days starvation	15 days starvation	feeding	starvation
Initial body weight(g)	9.9±2.2	9.8±2.3	9.8±2.2	9.2±1.6	9.7±2.1	
Initial total length(mm)	82±6	80±6	81±6	80±5	81±6	
Initial body length(mm)	67±6	66±5	66±5	65±4	66±5	
Initial number of fish	200	200	200	200	200	200
Rearing period(days)	Jul.19.2002~Sep.2.2002(45)				Jul.19.2002~Aug.3.2002(15)	
Starvation period from start(days)	0	5	10	15	0	15
Feeding frequency(days/week)			6			
Feeding frequency(times/day)			2			
Starvation period from start(days)	0	5	10	15	0	15
Feeding rate	Satiation			Satiation		
Water temperature(°C)	24.8-28.9			25.5-28.0		
Average water temperature(°C)	27.0			26.9		
Initial fish size (Mean±S.D.)(n=30)						

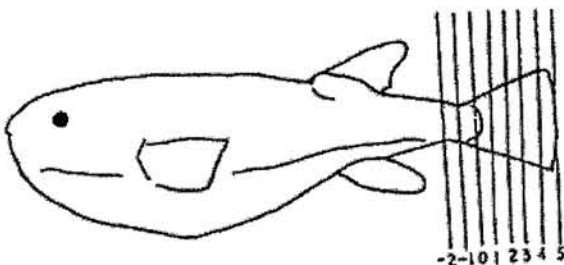


Fig. 1. Standard method for judgement of condition caudal fin and caudal peduncle.

間給餌した後1日間絶食した稚魚20尾(平均体重20g, 対照区), 飼育開始から7日間絶食した稚魚20尾(平均体重12g, 実験区)を用いた。30Lポリカーボネイト水槽にそれぞれ総体重に比例するように海水を注入し, 十分通気した後, 供試魚を収容し, 密閉した。供試魚が安静状態になるのを目視で確認した後, 溶存酸素計(長島商事製ND-10型)で溶存酸素量を測定し, 以後10分毎に60分間測定した。同時に

供試魚の外観・遊泳状態等の観察を行った。測定時の水温は27.3~27.6℃、塩分は33.3であった。

結 果

実験1 絶食が成長、生残率、噛み合いへ及ぼす影響

生残率の推移は Fig. 2 に示した。実験終了時の生残率は対照区が98.5%、5日区が99.5%、10日区が81.0%、15日区が9.5%であった。10日区、15日区の

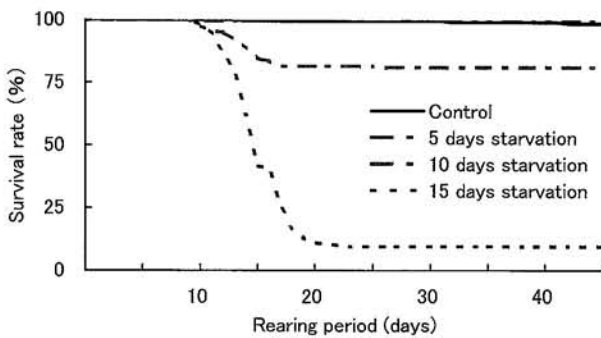


Fig. 2. Survival rates of four experimental groups in juvenile tiger puffers

いずれにおいても、へい死魚は絶食10日後から出現し、10日区で17日後まで、15日区で23日後までつづいた。体長の推移を Table 2, 体重の推移を Table 3 に示した。終了時の対照区の体長, 体重をそれぞれ100とすると、5日区で97, 92, 10日区で93, 80, 15日区で87, 65と、5日区では体長, 10日および15日区では体長, 体重とも有意 ($p < 0.05$) に小さく、絶食期間が長くなるほど成長の遅れが顕著であった。ただし、絶食終了後の成長速度は体長, 体重とも対照区と同等あるいはそれを若干上回った。なお、5日区は15, 31日後には体重が対照区に比べ有意 ($p < 0.05$) に小さかった。肥満度の推移は Table 4 に示した。肥満度は10および15日区で15日後には減少していたが、31日後には対照区および5日区とほぼ同じになった。尾鰭の残存状況の推移は Table 5, 尾鰭率 (尾鰭長/体長 $\times 100$) の推移は Table 6 に示した。尾鰭の残存状況は給餌した場合も絶食した場合も飼育期間が長くなるにつれて減少し、絶食期間が長いほど

Table 2. Body lengths of juvenile tiger puffers in the six experimental groups.

Rearing period (days)	0	5	10	15	31	45
Control	67 \pm 6			85 \pm 5	100 \pm 7	116 \pm 7
5 days starvation	66 \pm 5			77 \pm 5	97 \pm 5	112 \pm 6
10 days starvation	66 \pm 5			71 \pm 5	89 \pm 6	108 \pm 7
15 days starvation	65 \pm 4			71 \pm 6	83 \pm 6*	101 \pm 6*
feeding		67 \pm 5	76 \pm 5	81 \pm 5		
starvation		64 \pm 6	68 \pm 4	68 \pm 4		

Body length (mm) (Mean \pm S.D.) (n=30, *n=19)

Table 3. Body weights of juvenile tiger puffers in the six experimental groups.

Rearing period (days)	0	5	10	15	31	45
Control	9.9 \pm 2.2			22.7 \pm 3.4	38.1 \pm 7.2	60.0 \pm 11.0
5 days starvation	9.8 \pm 2.3			17.0 \pm 3.2	33.4 \pm 5.2	55.0 \pm 9.4
10 days starvation	9.8 \pm 2.2			11.8 \pm 2.5	27.1 \pm 5.3	48.2 \pm 11.2
15 days starvation	9.2 \pm 1.6			9.2 \pm 1.8	21.6 \pm 4.6*	39.2 \pm 7.4*
feeding		13.2 \pm 2.7	17.4 \pm 3.6	21.6 \pm 4.0		
starvation		9.0 \pm 2.1	8.8 \pm 1.7	8.3 \pm 1.6		

Body weight (g) (Mean \pm S.D.) (n=30, *n=19)

Table 4. Condition factors of juvenile tiger puffers in the six experimental groups.

Rearing period (days)	0	5	10	15	31	45
Control	33.2 \pm 2.8			36.7 \pm 2.0	38.0 \pm 2.8	38.0 \pm 2.2
5 days starvation	33.6 \pm 1.9			36.6 \pm 2.1	36.3 \pm 2.0	39.5 \pm 3.4
10 days starvation	34.3 \pm 2.4			32.9 \pm 2.0	37.4 \pm 2.5	37.5 \pm 4.0
15 days starvation	33.3 \pm 2.0			25.7 \pm 3.0	37.7 \pm 2.1*	37.7 \pm 1.9*
feeding		43.9 \pm 4.9	39.4 \pm 2.6	40.6 \pm 4.1		
starvation		33.4 \pm 1.6	28.2 \pm 2.6	26.1 \pm 2.5		

Condition factor (Mean \pm S.D.) (n=30, *n=19)

Table 5. Caudal fin and caudal peduncle conditions of juvenile tiger puffers in the six experimental groups.

Rearing period (days)	0	5	10	15	31	45
Control	4.5±0.7			3.9±0.4	3.3±1.1	3.6±0.6
5 days starvation	4.6±0.6			3.8±0.7	3.4±0.8	3.7±0.8
10 days starvation	4.5±0.6			2.8±1.0	2.6±1.5	3.1±0.8
15 days starvation	4.6±0.6			2.5±1.3	4.3±0.8*	3.9±0.7*
feeding		4.3±0.6	3.9±0.7	3.8±0.5		
starvation		4.4±0.6	3.5±0.8	2.8±0.8		

Caudal fin and caudal peduncle conditions (Mean±S.D.) (n=30,*n=19)

Table 6. Caudal fin/body length (%) of juvenile tiger puffers in the six experimental groups.

Rearing period (days)	0	5	10	15	31	45
Control	22.7±2.2			18.7±2.4	15.9±4.6	15.4±2.2
5 days starvation	21.9±2.1			20.2±2.6	17.3±2.8	17.2±2.4
10 days starvation	22.9±2.1			17.9±2.5	13.1±4.5	15.4±3.0
15 days starvation	22.6±1.8			16.4±5.9	14.9±3.0*	15.8±3.1*
feeding		22.2±4.0	19.6±2.8	18.2±2.8		
starvation		23.0±2.5	20.1±4.1	16.6±4.3		

Caudal fin / body length (Mean±S.D.) (n=30,*n=19)

大きく減少した。また、へい死魚は生残魚に比べ尾鰭の残存が少なかった。尾鰭率についても同様の結果だった。しかし、絶食期間にかかわらず、生残魚については45日後には回復する傾向がうかがえた。開始時の体重と終了時の体重（へい死魚を除く）および給餌量から算出した増肉係数は対照区が0.9、5日区も0.9、10日区が1.1となった。生残率が極度に低い15日区は終了時の総体重が開始時の総体重を下回った。また、へい死魚が出現した絶食10日後にはやせて力無く遊泳する個体が目につくようになった。

実験2 絶食が体成分へ及ぼす影響

Table 7に比肝重の推移を示した。給餌区では飼育日数の経過とともに増加する傾向を示したが、絶食区では減少した。筋肉の一般成分をTable 8に示した。タンパク質含量は給餌区では増加したが、絶

食区では絶食期間が長くなるほど減少した。水分は絶食期間が長くなるほど増加した。回復実験では、給餌区でもタンパク質含量が増加し、水分が減少した。脂質および灰分は、成長や絶食による変動は小さかった。肝臓の一般成分をTable 9に示した。給餌区では成長に伴いタンパク質、水分が減少し、脂質が増加したが、絶食区では絶食期間が長くなるほどタンパク質、水分が増加し、脂質が減少した。しかし、回復実験では絶食区でもタンパク質および水分が減少し、脂質が増加した。灰分は含有量が少なく成長や絶食による変動は小さかった。糖質については、成長に伴い増加する傾向がうかがえたが、絶食中は低下する傾向がうかがえた。

実験3 絶食が酸素消費量へ及ぼす影響

実験終了時まで、両区ともへい死はみられず、観

Table 7. Hepatosomatic indices(%) of juvenile tiger puffers in the six experimental groups.

Rearing period(days)	0	5	10	15	45
Control	5.5±0.9				12.6±1.2
5 days starvation	5.1±0.7				13.0±1.0
10 days starvation	5.3±0.8				13.9±0.8
15 days starvation	5.1±0.7				13.3±0.8*
feeding		6.6±0.7	7.4±0.8	10.4±0.8	
starvation		3.5±1.0	2.7±0.7	2.3±0.7	

Hepatosomatic indeces (Mean±S.D.) (n=30,*n=19)

Table 8. Changes in biochemical compositions (proximate compositions, %) in muscles of juvenile tiger puffers during starvation and refeeding.

Rearing period		Initial	5 days	10 days	15 days	45 days
Moisture (%)	control	80.1	79.7	77.5	75.5	75.7
	5 days starvation	79.2				76.1
	10 days starvation	79.4				76.0
	15 days starvation	80.2	80.5	81.6	84.0	79.0
Crude protein (%)	control	17.7	17.4	20.5	22.4	22.0
	5 days starvation	18.2				21.6
	10 days starvation	18.4				21.5
	15 days starvation	17.7	17.4	16.5	13.7	18.6
Crude fat (%)	control	0.5	0.6	0.4	0.8	0.6
	5 days starvation	0.7				0.6
	10 days starvation	0.6				0.8
	15 days starvation	0.6	0.5	0.5	0.5	0.8
Ash (%)	control	1.5	1.5	1.2	1.2	1.3
	5 days starvation	1.6				1.4
	10 days starvation	1.4				1.4
	15 days starvation	1.3	1.5	1.2	1.3	1.3

Table 9. Changes in biochemical compositions (proximate compositions,%) in livers of juvenile tiger puffers during starvation and refeeding.

Rearing period		Initial	5 days	10 days	15 days	45 days
Moisture (%)	control	61.6	55.8	49.0	49.0	44.8
	5 days starvation	60.3				43.2
	10 days starvation	56.4				40.2
	15 days starvation	58.5	60.1	64.8	74.2	42.1
Crude protein (%)	control	9.4	8.3	7.8	6.6	6.6
	5 days starvation	9.2				5.9
	10 days starvation	9.1				6.0
	15 days starvation	9.2	10.5	11.6	12.4	5.2
Crude fat (%)	control	27.4	31.1	40.1	40.7	46.1
	5 days starvation	29.1				48.7
	10 days starvation	33.0				50.3
	15 days starvation	30.9	27.6	22.3	12.1	48.8
Ash (%)	control	0.9	1.1	0.7	0.6	0.6
	5 days starvation	0.9				0.6
	10 days starvation	1.0				0.6
	15 days starvation	1.0	1.2	1.0	1.1	0.6
Glucidic(%)	control	0.7	3.7	2.4	3.1	1.9
	5 days starvation	0.5				1.6
	10 days starvation	0.5				2.9
	15 days starvation	0.4	0.6	0.3	0.2	3.3
Glycogen(%)	control					0.027
	5 days starvation					0.026
	10 days starvation					0.150
	15 days starvation					0.280

察上顕著な変化はなかった。実験海水中の溶存酸素量を Table 10, 個体および単位体重あたりの酸素消費量を Table 11 に示した。海水中の溶存酸素飽和度

は開始時には対照区, 実験区とも92%であったが, 対照区の方が低下速度が速く, 60分後には対照区で14%, 実験区で20%となった。酸素消費量は個体あ

Table10. Dissolved Oxygen (DO) in experimental water of control and 7-days-starved juvenile tiger puffers.

DO		Time (min)						
		0	10	20	30	40	50	60
Control	(ml/l)	4.22	2.91	2.06	1.46	1.10	0.82	0.64
	(%)	92	64	45	32	24	18	14
7 days starvation	(ml/l)	4.22	3.01	2.33	1.69	1.37	1.10	0.91
	(%)	92	66	51	37	30	24	20

Table11. Total oxygen consumption of control and 7-days-starved juvenile tiger puffers.

		Time (min)					
		10	20	30	40	50	60
Control	(mg/fish)	1.96	3.25	4.15	4.69	5.10	5.38
	(mg/g)	0.10	0.16	0.21	0.23	0.25	0.27
7 days starvation	(mg/fish)	1.10	1.71	2.28	2.57	2.82	2.98
	(mg/g)	0.09	0.14	0.19	0.21	0.23	0.25
7 days starvation/Control(mg/fish) (%)		55.9	52.5	55.1	54.7	55.2	55.4
7 days starvation/Control (mg/g) (%)		92.9	87.0	91.3	90.6	91.7	91.8

たりで実験区が対照区の52.5~55.9%, 単位体重あたりでは87.0~92.9%となった。

考 察

小川ら^{1~4)}はブリやマダイの稚魚および1年魚について絶食試験を行い、成長、生残率および魚体の変化等を調べた上で、絶食可能な期間を検討している。本実験における高水温期において絶食がトラフグ稚魚に与える影響を絶食期間ごとにまとめると、5日間の絶食では若干成長は遅れるものの、生残率、給餌再開後の成長速度、肥満度に差が認められなかったことから、絶食の影響は少ないと指摘できる。10日間の絶食では、生残率が81.0%と絶食の影響がみられたことから、絶食期間を10日間まで延ばすのは好ましくないと考察された。へい死が絶食10日後から始まっているが、これは少なくとも9日間の絶食でへい死に至るほど衰弱が進んだ稚魚がいた可能性を示している。「やせ」、「尾鰭の欠損」、「フラフラと元気がない泳ぎ」などの異常が目立ち始めたのも絶食10日後であった。また、11日後から給餌を開始したにもかかわらず、へい死は17日後まで続いた。このことは、へい死が始まると給餌を再開しても数日間はへい死が続く可能性があることを示し、稚魚の状態や飼育環境によっては生残率がさらに低下する可能性が考えられた。15日間の絶食は生残率が9.5%と顕著に低下することから、10日を超える絶食は避けるべきであると考えられた。

比肝重は絶食期間が長くなるに従い低下し(開始時5.1%, 5日後3.5%, 10日後2.7%, 15日後2.3%), へい死した個体の比肝重は3%以下のものが多くみられた。トラフグの場合、天然魚の比肝重は5~6%程度であるのに比べ、養殖魚の値は高く、飼育条件によっては20%を超えることもあるが、比肝重が15%を超えるあたりから、肝細胞障害の指標とされる血液中のトランスアミナーゼ値が高まる傾向が知られており、養殖魚の健康状態を知る目安として15%程度が適当であろうといわれている⁶⁾。今回へい死した魚は比肝重量が3%以下のものが多く、健康状態の判断基準となるレベルを大きく下回っていた。これらのことから、トラフグ稚魚では比肝重が3%程度にまで低下すると生存に悪影響を与える生理状況になっていると考えられた。天然および養殖トラフグの筋肉(背肉中央部)の脂質含量は他の魚種に比べかなり少なく、肝臓に集中的に脂質として蓄えることが知られているが^{7~12)}、蓄積した脂質の消費に関しては報告されていない。本実験では比肝重、肝臓の脂質含量とも絶食5日後には減少がみられ、絶食期間が長くなるほど大きく減少したことから、トラフグ稚魚は絶食状態では主に肝臓に蓄えられた脂質をエネルギーとして消費すると考えられ、絶食による影響を推察する指標となると考えられた。

同一種内では成長に伴い単位体重あたりの代謝量、酸素消費量が少なくなるといわれているが^{13~17)}、今回の実験では魚体の小さい群の方が単位体重あたり

の酸素消費量が少なくなった。これは成長に伴う単位体重あたりの酸素消費量の減少よりも、絶食による酸素消費量の減少が大きかったためと考えられる。ブリなどでは、絶食が赤潮の被害軽減に有効であるとの報告がなされているが¹⁸⁾、トラフグ稚魚においても絶食による酸素欠乏による被害を軽減する効果が期待されると考えられた。

今後は、トラフグの赤潮被害軽減に対する絶食の有効性をさらに検証する必要がある。

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長崎大学水産学部橋勝康教授、同大助手 Cyril Glenn Satuito 博士に深く感謝の意を表す。

文 献

- 1) 小川 健, 藤井久之: 主要養殖魚類の絶食試験Ⅰ—マダイ稚魚について—。和歌山県水産増殖試験場報告17. 88-91. (1986)
- 2) 小川 健, 狭間弘学: 主要養殖魚類の絶食試験Ⅱ—ブリ1年魚について—。和歌山県水産増殖試験場報告18. 38-42. (1987)
- 3) 狭間弘学, 小川 健: 主要養殖魚類の絶食試験Ⅲ—マダイ1年魚及びブリ稚魚について—。和歌山県水産増殖試験場報告19. 40-47. (1988)
- 4) 大西圭二, 城 泰彦, 谷本尚則: ブリ稚魚における絶食の影響。徳島県水産試験場事業報告. 43-45. (1981)
- 5) 大上皓久, 鈴木雄策: トラフグ稚魚の歩留まりと共食いに及ぼす飼育条件の影響。静岡水試研報. (16). 79-85. (1982)
- 6) 全国漁連海面魚類養殖業対策協議会, 全漁連. トラフグ養殖管理指針. 19-46. (1998)

- 7) 熊本県水産研究センター. トラフグ養殖マニュアル. 16. (2000)
- 8) 佐伯清子, 熊谷 洋: 天然および養殖トラフグの成長にともなう一般成分と無機成分の変動. 日水誌48, 967-970, (1982)
- 9) 佐伯清子, 熊谷 洋: トラフグの臓器および皮における脂肪含量. 山口県衛生研究所業績報告 6, 50-55, (1983)
- 10) 佐伯清子, 熊谷 洋: 天然および養殖トラフグにおける一般成分の季節的変動. 日水誌50, 125-127, (1984)
- 11) 佐伯清子, 熊谷 洋: 10種の天然魚・養殖魚の一般成分比較. 日水誌50, 1551-1554, (1984)
- 12) 西塔正孝, 國崎直道: 天然および養殖トラフグ筋肉の一般成分, 脂肪酸組成, 遊離アミノ酸, 無機質および筋肉硬度について. 日水誌64(1), 116-120, (1998)
- 13) 板沢靖男: 呼吸. 魚類生理学 (板沢靖男・羽生功編). 恒星社厚生閣. 東京. 1-34. (1991)
- 14) Hidemi Kumai, Ikuo Kimura, Motoji Nakamura, Kenji Takii, and Hiroji Ishida: Studies on Digestive System and Assimilation of a Flavored Diet in Occellate Puffer. Nippon Suisan Gakkaishi 55(6), 1035-1043. (1989)
- 15) 山元憲一, 廣中孝始, 山下秀幸, 綿石慶太: 低酸素下におけるブリ, クラカケトラギス, カサゴ, ネズミゴチ, トラフグの酸素消費量の変化. 水産増殖38(1), 35-39, (1990)
- 16) 山元憲一, 島 隆夫, 山下秀幸, 綿石慶太: 海産硬骨魚類36種の安静状態での酸素消費量と体重の関係. 水産増殖38(1), 41-45, (1990)
- 17) 石田善久, 木村晴保: 養殖魚の魚体長と魚体重, 放養密度および酸素消費の関係. 水産工学39(2), 169-172, (2002)
- 18) 北角 至ほか: 有害赤潮に関する研究 Chatto-

nella に対する絶食魚の抵抗性について. 徳島
県水産試験場事業報告. 43-45 (1985)