

# ティラピア, *Oreochromis niloticus*によるアオコの摂食量と その収支

誌名	水産増殖 = The aquiculture
ISSN	03714217
著者	矢田, 敏晃
巻/号	38巻4号
掲載ページ	p. 367-373
発行年月	1990年12月

## ティラピア, *Oreochromis niloticus* による アオコの摂食量とその収支

矢田 敏 晃  
(大阪府淡水魚試験場)

### Ingestion Amount of Phytoplankton and its Nitrogen Balance on *Tilapia, Oreochromis niloticus.*

Toshiaki YADA

湖沼・ため池では富栄養化の進行によって、植物プランクトンが異常繁殖し、景観のみならず、その腐敗による悪臭や酸素欠乏による魚類のへい死事故などの問題を引き起こしている。このため、排水の総量規制による富栄養化防止対策が講じられているが、依然としてアオコが異常発生しており、その繁殖阻止や除去についての有効な手段が見いだされないままである。

一方、魚類の中にはこの植物プランクトンを餌として生活する植物プランクトン食性魚がいる。中でも、ニロチカ, *Oreochromis niloticus* は問題となっているアオコ, *Microcystis* を選択嗜好的に摂取し<sup>1)</sup>、その消化吸収率が非常に高いこと<sup>2-5)</sup> が知られている。この魚の能力を利用した除去が、霞ヶ浦で実施されている<sup>6-12)</sup> が、アオコの処理能力についてはまだ十分に解明されているとは言い難い。

今回、小型の飼育装置でニロチカをアオコの繁殖水を注入しながら飼育し、注排水中の植物プランクトン量及び排フン量と成長を調べ、植物プランクトンの摂食量とその収支について検討したので報告する。

#### 材料および方法

試験は、1986年の7月(実験1)、8月(実験2)と1987年の9月(実験3)に、図1に示す飼育装置を

用いて行った。この飼育装置は、注入水が飼育槽(水量20-300ℓ)を通過してフン採取槽(水量20-30ℓ)に流入した後、系外に排水される構造で、実験1、2ではこの装置を単独で用いたが、実験3ではこの装置を直列に4個連結して使用した。

供試魚の大きさ及び放養密度は表1に示すとおりで、養魚池に繁殖した植物プランクトン水を単位重量(kg)当たり約90-200ℓ/kg・hrの割合で飼育装置に注入しながら12-16日間飼育し、1-3日ごとに午前10時の注排水中の植物プランクトン量と排フン量および飼育水温を測定した。なお、試験に当たっては、飼育装置で1週間以上良く飼い慣らしたのち使用した。

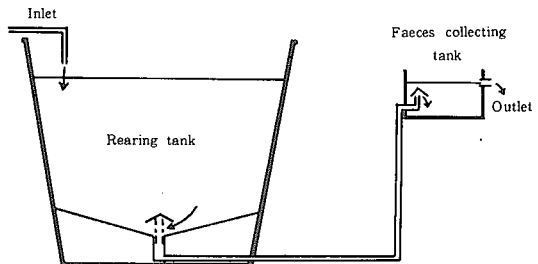


Fig. 1. Diagram of the apparatus used for experiment.

受領日: 1990(H2)年5月28日

索引語: ティラピア/アオコ/摂食量/窒素収支

連絡先: 〒572 大阪府寝屋川市木屋元町10-4 大阪府淡水魚試験場 矢田敏晃

Address: T. YADA, Osaka Pref. Fresh. Fish Exp. St, Koyamoto, Neyagawa, Osaka 572, Japan

**Table 1.** Experimental condition (size, density of examined fish, volume of inlet water, and water volume of tanks) and water temperature, dominant species and its composition and dissolved oxygen during test periods.

Exp. Periods	days	No.	Examined fish			Inlet W. ℓ / kg, hr	W. T. °C dominant %	D. O cc/ ℓ	Tank ℓ
			B. W g	No.	kg/m <sup>3</sup>				
I	12	1	248.0	19	15.7	91.2	25.0-29.3	4.4-7.8	300
		2	149.3	31	15.4	92.8	(27.6)	4.3-7.1	
		3	71.3	66	15.7	91.3	Mic(47.6)	4.4-7.0	
II-a	12	1	44.8	49	10.9	184.6		5.0-7.1	200
		2	90.7	25	10.4	172.7	23.2-27.0	5.3-6.6	
		3	157.9	15	11.8	195.3	(25.5)	5.3-7.1	
-b		4	17.5	16	14.0	128.3	Mic(31.3)	4.6-7.1	20
		5	7.6	20	7.6	171.0		4.6-7.4	
III-a	16	1	67.2	11	24.6	201.5	24.8-28.8	6.7-8.7	30
		2	72.1	12	28.8	~115.8	(27.2)	6.1-7.6	
		3	47.5	13	20.6		Mic(67.0)	5.7-7.3	
		4	45.2	11	15.6			4.9-7.1	

( ): mean and percentage, Mic: *Microcystis*

成長量は実験開始時と終了時に全個体の体重を測定し調べた。また、実験1, 2, 3においては、それぞれ7月12日-13日, 8月25日-26日, 9月3日-4日に午前10時から翌日の13時まで、3時間ごとの注排水中の植物プランクトン量と排フン量及びD.Oを測定し、それらの経時変化から一日当たりの摂食量および排フン量を調べた。

植物プランクトン量は HILLERD<sup>TM</sup> の方法に従い Chl-a 量を、優占種の組成は顕微鏡下で一視野中に占める個体数を調べた。排フン量は、水とともに摂取したフンの一部或は全量を連続遠心機 ( $2 \times 10^3$ ) を使用して集め、80°Cで恒量に達するまで乾燥したのち、その重量を測定し、体積法あるいは重量法で求めた。

## 結 果

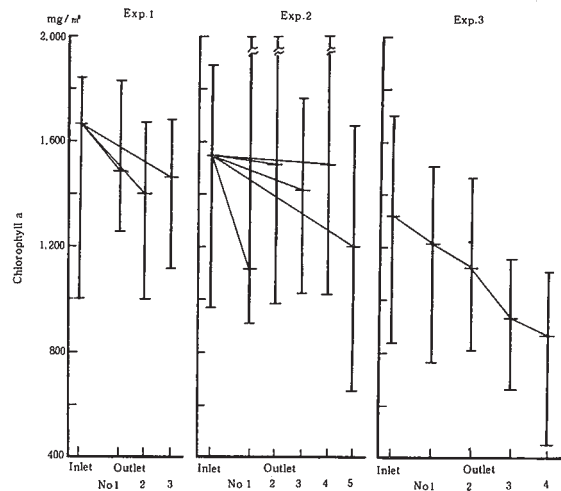
注排水の植物プランクトンと飼育水温及び酸素量

注水中の優占種とその個体数%及び水温並びに D.

Oを表1に示す。

注水に用いた植物プランクトン繁殖水は各実験とも *Microcystis* が優占し、個体数%で平均31.3-67.0%を占めていた。飼育期間中に水温及びD.Oは各試験区ともかなり変動するものの、水温は平均25.5-27.6°C, D.Oは3 cc/ℓ以上で、各実験ともニロチカの好適生息条件下にあった。

一方、注水に使用した植物プランクトン繁殖水の濃度(図2)は、Chl-a量で平均1300mg/m<sup>3</sup>以上であっ



**Fig. 2.** Change of chlorophyll a concentration of inlet and outlet at each experiment. Vertical line, horizontal line show the range, the average, respectively.

たが、排水中の値は排水量や収容密度等で変動するものの、実験1で160-270mg/m<sup>3</sup>, 実験2で80-400mg/m<sup>3</sup>, 実験3の個々の区で60-190mg/m<sup>3</sup>, 最終的に約400mg/m<sup>3</sup>も低くなっていた。しかし、各実験における代表的な日変化(図3)をみると、各実験とも夜中の1時や明け方の4時は注水値より高い値を示し、植物プランクトンの全く減少しない時間帯が認められるなど、一般的にみて、排水中の植物プランクトンの減少量は夜

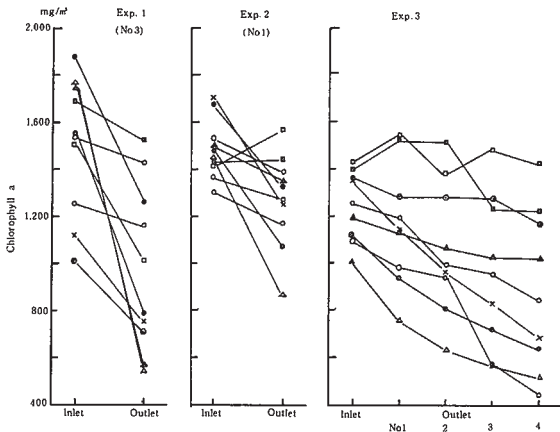


Fig. 3. Daily change of chlorophyll a concentration of inlet and outlet under typical of each experiment.

○ : 1:00 ● : 13:00 ⊙ : 22:00 □ : 4:00  
 ■ : 1:00 △ : 16:00 ▲ : 7:00 × : 19:00

間に少なく、日中に多い傾向を示し、日周変化が非常に大きかった。

成長と排フン量

各実験で得られた成長と排フン量を表2に、体重と日間排フン量及び日間増重量並びに日間排フン量と日間増重量の関係を図4に示す。なお、日間増重量、日間排フン量は次式より求めた。

日間増重量 (g/kg·day)

$$g = ((W_t - W_0) / t / 2 (W_0 + W_t)) \times 1000$$

日間排フン量 (g/kg·day)

$$f = ((F / t / 2 (W_0 + W_t)) \times 1000$$

但し、 $W_0, W_t$  ; 開始時、終了時総魚体重 (g)

$t, F$  ; 飼育日数、総採フン量 (g)

各区とも日間増重量は1.55-21.85 g/kg·dayの範囲にあり、一日当たり体重の4.56-25.70 g/kgに相当するフンを排出していた。しかし、日間増重量の変動は大きく、供試魚の大きさとの間に相関関係 ( $r = -0.406$ ) は認められなかった。ところが、日間排フン量は供試魚の体重 ( $W$ ) が大きくなるに連れて次第に減少し、日間増重量は日間排フン量が多くなるに従って次第に高くなる傾向を示し、これらには99%の有意水準で次式の関係が認められた。すなわち、排フン量が多いほど、増重量も多くなることを示した。

$$f = 56.835W^{-0.464} \quad (r = -0.849) \quad \dots\dots 1$$

$$g = 0.393f^{1.127} \quad (r = 0.764) \quad \dots\dots 2$$

摂食量と排フン量

24時間測定によって得た摂食量と排フン量を表2に併記し、供試魚の大きさや摂食量及び排フン量、並びに排フン量と摂食量の関係を図5に示す。

なお、摂食量は注水中の植物プランクトンを使用して求めた Chl-a 量 ( $X$ :mg) と植物プランクトンの乾燥重量 ( $Y$ :mg) の関係 ( $Y = 0.545 + 27.51X, r = 0.994 \dots A$ ) を用い、次式で計算した。

摂食量 (g/kg·day)

$$I = \Sigma ((1 R_n + 1 R_{n+1}) / 2) \times 3$$

但し、 $1 R_n = (P_1 - P_0) \times V / W,$

$P_1, P_0$  : 注、排水中の植物プランクトン重量 (mg/ton)

$V, W, 3$  : 注水量 (ton/hr.), 総魚体重 (kg), 時間。

Table 2. Gain weight, faeces weight, and daily growth and faeces amount of each experiment, and ingestion and defecation rate at 24 hr. measurement.

Exp. No.	Culture	Gain weight g	Faeces g	Daily rate		24hr. Measurement	
				Growth	Defecation	Ingestion g/kg	Faeces g/kg
1	1	269.6	287.5	4.28	4.56	19.70	7.33
	2	323.5	325.4	5.20	5.23	18.63	8.90
	3	253.5	468.0	4.03	7.45	25.44	11.98
2	1	203.1	395.6	7.37	14.35	37.98	18.02
	2	200.3	248.6	7.64	9.48	21.50	8.82
	3	125.6	213.3	4.31	7.31	19.32	7.73
	4	22.2	52.9	6.34	15.11	34.30	25.55
	5	46.0	54.1	21.85	25.70	21.66	11.14
3	1	21.4	72.6	1.78	6.05	10.97	5.94
	2	29.6	82.6	2.10	5.87	9.36	6.77
	3	22.5	67.6	2.24	6.72	13.42	6.28
	4	12.5	55.8	1.55	6.93	12.27	6.97

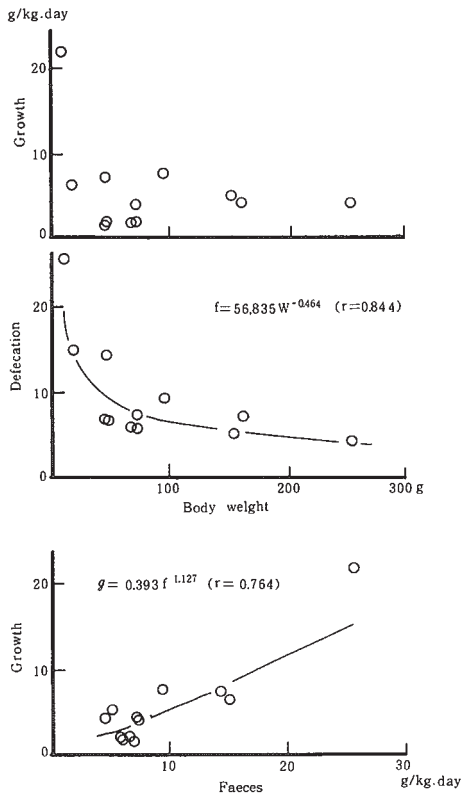


Fig. 4. Relationships of body weight to growth and defecation, and growth to faeces amount calculated from the rearing result.

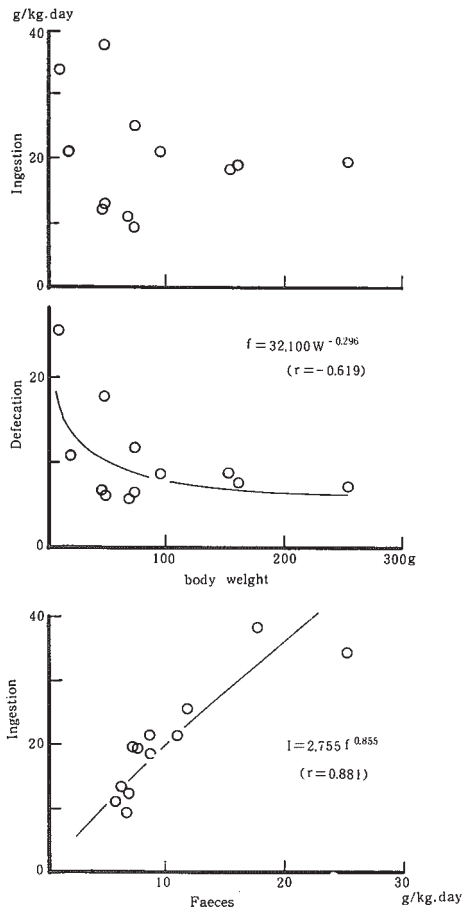


Fig. 5. Relationships among ingestion, defecation and body weight, and between ingestion and faeces amount calculated from 24 hrs measurement.

摂食量は9.36-37.98 g/kg・dayで、供試魚が小さくなるにつれて大きくなる様相を呈するものの、両者の間には相関関係は見いだせなかった。しかし、体重と排フン量及び排フン量と摂食量の間には前者で95%、後者で99%の有意水準で次式の関係が認められた。

$$f = 32.100W^{-0.296} \quad (r = -0.619) \quad \dots 3$$

$$I = 2.755f^{0.855} \quad (r = 0.881) \quad \dots 4$$

すなわち、供試魚の体重が大きくなるにつれて単位重量当たりの排フン量は減少し、排フン量が多くなるに従って摂食量が多くなることを示した。

考 察

植物プランクトン摂食量

以上のように供試魚の大きさと摂食量及び成長の間には一定の関係は認められなかった。すなわち、植物プランクトンの除去量が見いだせなかった。しかし、24時間測定の結果により得た摂食量と排フン量の間には、(4)式のように、供試魚の大きさや収容密度等

とは無関係に、排フン量は摂食量が多くなるにつれて増加することを示した。また、飼育結果から得た供試魚の大きさと日間排フン量の間には供試魚が大きくなるに従ってその量が次第に少なくなる関係(1)がみられている。したがって、99%の有意水準で相関関係が成立した両関係式(1, 4)を展開することで体重と摂食量の間を求めることができ、両者の間には、

$$I = 87.1554W^{-0.397} \quad \dots 5$$

表3は(5)式から、体重10, 50, 100, 200, 300 gの魚についてその摂食量を計算したもので、植物プランクトンの単位重量当たりの摂食量は供試魚が大きくなるに従って少なくなるが、体重10-300 gの魚はkg当たり乾燥重量で一日に3.5-0.9%に相当する植物プランクトンを摂食することになる。

**Table 3.** Ingestion amount of phytoplankton and phytoplankton-free water calculated from the formula 5 on several body weight.

Body weight g	ingestion rate		Chl-a mg/kg	P. pl. -free Water ton/kg*day
	dry g/kg	wet g/kg		
10	39.94	349.4	1250.3	1.2
50	18.44	184.4	650.5	0.7
100	14.01	140.1	489.5	0.5
200	10.64	106.4	367.0	0.4
300	9.05	90.5	309.2	0.3

P. pl: phytoplankton

これは湿重量（水分含有量90%<sup>4)</sup>）に換算すると体重の9.1-34.9%に相当する値となる。MORIARTY & MORIARTY<sup>10)</sup> は George 湖で本種の摂餌内容物の経時的变化から摂食量を調べ、魚の体重（Y：一日の植物プランクトン摂食量 乾燥重量mg）と摂食量（X：魚体重g）の間には  $Y=271+13.3X$  の関係式が成り立つと述べている。これより、魚体重10, 50, 100, 200, 300 gの摂食量を求めると、それぞれ40.4, 18.7, 16.1, 14.7, 14.2 g/kgとなり、今回一般化した関係式から得た値よりもいずれも0.3-5.5%も多い。これは特に収容密度の高かった実験3の排フン量が他の実験区に比較して少なかったことから推察すると、狭い水槽に多量の魚を収容したため、なわばり行動などが起こって正常な摂餌行動がなされなかったようである。いずれにしても、今回の測定範囲内では湿重量にして体重の9.1-34.9%に相当する植物プランクトンを摂食するのが観察された。

この値を Chl-a 量と植物プランクトンの乾燥重量との関係 (A) を用いて Chl-a 量に換算すると、魚 1 kg 当たり 309.2-1250.3 mg/kg・day の摂食量となる。魚の摂食量は環境中の餌密度によって影響を受けることが知られているが、極く単純に 1 kg の魚を用いて Chl-a 濃度 1,000 mg/m<sup>3</sup> の植物プランクトン繁殖水から植物プランクトンを完全に除去できる水量を計算すると表 3 に併記した値となる。すなわち、1 kg の魚は一日で約 0.3-1.2 ton の植物プランクトン繁殖水中の植物プランクトンをゼロにする能力を持つと言える。

#### 摂食植物プランクトンの収支

摂食された植物プランクトンの内、未消化物はフンとして排出され、さらに消化吸収されたものの中でも活動や維持に利用された後、エラ組織から NH<sub>4</sub>-N で、また尿として排出されることが知られているが、実際

どの程度のものが魚として回収出来るかは明らかでない。そこで、供試魚の大きさと摂食量 (5), 排フン量 (1) の関係及び、(1), (2) 式を展開して求めた体重と増重量の関係 ( $g=37.311w^{-0.523}$ ) から体重 10, 50, 100, 300 g の個体について、既存値<sup>3, 4)</sup> より N および P の収支を求めると表 4 のようになる。

摂食された植物プランクトン中の N が増重に回る割合は 10.1-15.5%, フンとして排出される割合は 28.0-35.2%, 維持・活動に利用された後、エラ組織などから NH<sub>4</sub>-N や尿素として排出される割合は 49.3-61.9% となっていた。また、摂食された植物プランクトン中の P が増重に利用される割合は 25.5-38.0%, フンとして排出される割合は 30.9-37.6%, 維持・活動に利用される割合は 24.4-43.6% となっていた。

赤野ら<sup>15)</sup> は 80 g のニロチカに水温 25°C 下で 32.2 g の飼料を与えた場合の N 収支を調べ、摂取 N 量の 41.5% が増量に、8.0% がフンとして排出されたと述べており、今回の結果と著しく相違していた。これは赤野らの使用した飼料の消化率がタンパク質で 92.0% であるのに対して、今回の N 換算消化率は 64.8-72.0% (表 4 より算出: 消化率 = (摂食 N - フン N) / 摂食 N × 100) と低かったことが原因のようである。しかし、維持・活動等に利用された N の割合はほぼ一致し、摂食量の約 50-60% がこれに使用され、排出されているようである。この N, P の収支面からみると、水中の植物プランクトンそのものは魚による摂食で除去されるが、魚の増重による N, P の除去量はそれぞれ僅か 10.1-15.5%, 25.5-38.0% にすぎず、アオコの発生源となっている N, P を水中から除去するにはフンの採取が非常に重要な要素となっているのが認められる。増重とフンの採取による N, P の回収量を求めると表 4 に併記したとおりで、魚 1 kg 当たり一日でそれぞ

Table 4. Nitrogen and phosphate balance in ingested phytoplankton, and its recovery weight.

	B. W g	Ingestion g/kg·day	Growth g/kg·day	Faeces g/kg·day	Un-known g/kg·day	Recovery g/kg·day
N	10	1.901	0.294(15.5)	0.670(35.2)	0.937(49.3)	0.964
	50	1.003	0.127(12.7)	0.317(31.6)	0.559(55.7)	0.444
	100	0.762	0.088(11.5)	0.230(30.2)	0.444(58.3)	0.318
	200	0.579	0.061(10.5)	0.167(28.8)	0.351(60.6)	0.228
	300	0.493	0.050(10.1)	0.138(28.0)	0.305(61.9)	0.188
P	10	0.213	0.081(38.0)	0.080(37.6)	0.052(24.4)	0.161
	50	0.113	0.035(31.0)	0.038(33.6)	0.040(35.4)	0.073
	100	0.085	0.024(28.2)	0.028(32.9)	0.033(38.8)	0.052
	200	0.065	0.017(26.2)	0.020(30.8)	0.028(43.1)	0.037
	300	0.055	0.014(25.5)	0.017(30.9)	0.024(43.6)	0.031

( ): percentage

れ0.188-0.964 g/kg·day, 0.031-0.161 g/kg·day となる。

このように、本種は植物プランクトンを良く摂食するが、水中のNの回収と云う面からみると、魚として蓄積されるN量の割合は非常に低く、魚の成長による回収効果は非常に低いと言える。逆に、フンやNH<sub>4</sub>-Nなどとして排出されることによって、水中に不足がちなN, Pを補給する役目を果たすため、物質循環の速度が早まり、植物プランクトンの繁殖を促すことが考えられる。しかし、フンの回収を加えると約40-50%のNの回収が可能となり、利用の方法によっては有効な手段となりえると推察される。

### 要 約

ティラピア, *Oreochromis niloticus* によるアオコの回収とその除去効果を明らかにするため、供試魚を収容した実験装置に植物プランクトン繁殖水を連続注入しながら飼育し、注排水中のChl-a量及び排フン量と成長を測定し、植物プランクトンの摂食量とそのN, P収支について検討した。

- 1) 日間排フン量 (f) は供試魚の体重 (w) が大きくなるに連れて減少し、日間増重量 (g) は日間排フン量が多くなるに従って次第に高くなる傾向を示し、これらの間には99%の有意水準で、 $f=56.835W^{-0.464}$  ( $r=-0.849$ ) ... 1,  $g=0.393f^{1.127}$  ( $r=0.764$ ) ... 2 の関係が認められた。
- 2) 体重と排フン量及び排フン量と摂食量の間には前者で95%、後者で99%の有意水準で  $f=32.100W^{-0.296}$  ( $r=-0.619$ ) ... 3,  $l=2.755f^{0.855}$  ( $r=0.881$ ) ... 4 の関係が認められた。
- 3) 関係式 (1, 4) を展開することによって体重と

摂食量の間には  $l=87.155W^{-0.397}$  の関係式が得られ、体重10-300gの魚はkg当たり乾燥重量で一日に3.5-0.9%に相当する植物プランクトンを摂食するのが認められた。

- 4) 摂食された植物プランクトン中のN, Pが増量に回る割合はそれぞれ10.1-15.5%, 25.5-38.0%, フンとして排出される割合は28.0-35.2%, 30.9-37.6%, 維持・活動に利用された後、エラ組織などからNH<sub>4</sub>-Nや尿素として排出される割合は49.3-61.9%, 24.4-43.6%となっていた。
- 5) 増量とフンの採取による魚1kg当たり一日のN, Pの回収量は、それぞれ0.188-0.964 g/kg·day, 0.031-0.161 g/kg·dayとなった。

### 文 献

- 1) 矢田敏晃 (1982): ティラピア・ニロチカの食性に関する研究Ⅲ. 植物プランクトン組成が選択性におよぼす影響. 水産増殖, 29 (4), 239-245.
- 2) MORIARTY, D. J. W. and C. M. MORIARTY. (1973): The assimilation of carbon from phytoplankton by tow herbivorous fishes: *Tilapia nilotica* and *Haplochromis nigripinnis*. *J. Zool., Lond.* 171, 41-55.
- 3) 茨城県内水面水産試験場 (1984): 昭和57年度赤潮対策技術開発報告書. 5. 内水面赤潮対策試験. (3), ティラピア・ニロチカによる自家汚染防止技術対策試験, 1-78.
- 4) 岩田勝哉 (1987): アオコの養魚飼料に関する基礎的研究. 昭和61年度大阪府淡水魚試験場受託研究報告書 (プリント), 1-30.
- 5) 矢田敏晃 (1989): ティラピア (*Oreochromis*



- niloticus*) 養殖における餌料としての植物プランクトン利用に関する研究. 大阪府淡水魚試験場研究報告, 10, 1-122.
- 6) 茨城県内水面水産試験場 (1980): 漁場富栄養化対策技術開発試験報告書. レンギョによるアオコの回収について. 昭和53年度, 1-67.
  - 7) 茨城県内水面水産試験場 (1981): 昭和54年度赤潮対策技術開発報告書. (6), レンギョによるアオコ回収・除去試験, 1-33.
  - 8) 茨城県内水面水産試験場 (1982): 昭和55年度赤潮対策技術開発報告書. 6. ハクレン (レンギョ) によるアオコの回収と除去, 1-78.
  - 9) 茨城県内水面水産試験場 (1983): 昭和56年度赤潮対策技術開発報告書. 6. 漁業生物による富栄養化防止試験. ティラピア・ニロチカによる有機物の回収, 1-48.
  - 10) 茨城県内水面水産試験場 (1985): 昭和58年度赤潮対策技術開発報告書. 5. 内水面赤潮対策試験.
    - (3). ティラピア・ニロチカによる自家汚染防止技術対策試験, 1-53.
  - 11) 茨城県内水面水産試験場 (1986): 昭和59年度赤潮対策技術開発報告書. (3). ティラピア・ニロチカによる自家汚染防止技術対策試験, 1-69.
  - 12) HILLERD, B. R. (1980): A note on the use of methanol as an extraction solvent for chlorophyll a determination. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, 14, 70-80.
  - 13) MORIARTY, D. J. W. and C. M. MORIARTY. (1973): Quantitative estimation of the daily ingestion of phytoplankton by *Tilapia nilotica* and *Haplochromis nigripinnis* in Lake George Uganda. *J. Zool.*, Lond, 171, 15-23.
  - 14) 赤野誠之・佐々木和加代・熊丸敦郎・浜田篤信 (1985): 淡水魚二種の特異的動作用. 水産増殖, 33 (1), 23-30.