

ブルーギルの湖内における捕食量の推定

熊丸 敦郎

1. はじめに

近年、各地の湖沼において、ブラックバス、ブルーギル等の外来魚が繁殖し、水域生態系、漁業資源への影響が懸念されている。霞ヶ浦、北浦においてもここ数年、ブラックバスは減少傾向にあるものの、ブルーギルは1990年以降に急増し始め、今やその現存量は1,000トンを超えるものと見られている。特に、同湖における全漁獲量が1978年の17,487トン（貝類を含む）をピークに1996年現在は4,109トンにまで激減している中において、むしろ異常とも思われる。霞ヶ浦における資源量の減少がブルーギルの増殖し始める以前に始まっていることから、ブルーギルの増殖が漁業資源量減少の主要因ではないと考えられるが、餌の競合や直接的な捕食による漁業資源への影響は無視できない状況となっている。ブルーギルの漁業資源への影響については、食性についての報告例はあるが、捕食の量的把握はなされていない。

ここでは室内飼育試験により、各種餌料生物について最大摂餌量、餌料効率及び最大成長を調べ、最大成長と湖内成長の比較を行うことにより湖内における捕食量の把握を試みることにした。これらについて得られた結果を以下に報告する。

2. 方法

供試ブルーギルは、湖内においてタモ網、投網、張網等によって各種魚体重のものを捕獲し、25℃の加温地下水を流水とした500ℓ FRPタンクに収容した後、イトミミズ、ミジンコ等を毎日給餌して馴致飼育を行った。これらの中から、以下の水温特性試験、摂餌量測定試験に際して適当な魚体重のものを取り出して供試魚とした。

(1) 水温特性試験

1) 水温と呼吸量の関係

呼吸量測定装置は図1に示したとおり、200ml/minの地下水を注水した200ℓガラス製外水槽内に1ℓのスチロール製サンプル瓶を加工した呼吸室を設置した。水の流れは外水槽から呼吸室を経てタイゴンチューブを通り定量ポンプにより一定流量となってDOメーターセンサー部で排水されるものとした。呼吸量測定のためのDOメーターを2台用意し、1台は呼吸室を経た排水のDO測定用、他の1台は外水槽のDO測定用とした。2台のDOメーターからの出力はそれぞれデータロガに接続し、1min間隔で記録を行い、これら両者のDO値の差を呼吸量とした。なお、流量については高水温になるほど飽和DO量が低下することと呼吸量が増加することから水温により流量を変え、40~130ml/minとした。水温調節は外水槽内に設置したローリー式温度調節器により行い、地下水水温より高温域については、この温度調節器に電磁バルブを接続し、加温地下水を外水槽内に注水することにより行い、地下水水温より低温域については、温度調節器に投げ込み式冷却装置を接続し、熱交換部を外水槽内に投入冷却することにより行った。

呼吸量測定に際して、魚体重約50gのブルーギ

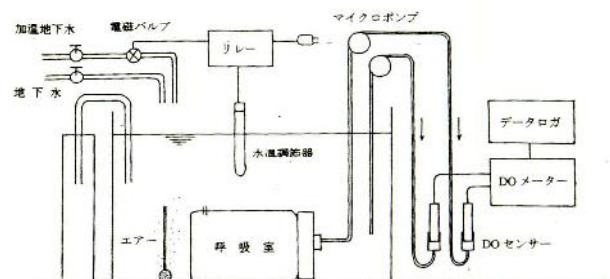


図1 呼吸量測定装置

ルを体重測定した後に呼吸室内に収容し、呼吸室外水槽の水温を30℃一定として馴致した。水温別呼吸量測定は高水温域の30℃から始め、2日間隔で5℃ずつ水温を下げながら、5℃までの間6段階について行った。なお、呼吸量測定時に摂餌による呼吸量の変化を避けるため、各測定段階水温において、1日目は水温馴致と同時に体重が減少しない程度に給餌し、2日目を絶食として呼吸量を測定することとした。すなわち、午前10:00に呼吸室内にイトミミズを導入して摂餌させ、6時間後に残餌をピペットで除去、以降絶食とし、翌日7時から翌々日の午前9:00までの26時間において呼吸室内と呼吸室外の酸素量を連続測定記録した。次に、データロガに記録した各水温26時間分のデータをパソコンにより表計算ソフト上に呼び出し、呼吸室内外の平均酸素量の差 (mg / l) に24hrの呼吸室内置換水量 (l / day) を乗じて1日当たりの呼吸量 (mg / day) を得た。

2) 水温と摂餌量及び餌料効率の関係

呼吸測定で使用した200 l ガラス水槽の中の1側面に20mmの穴を開けた10 l (32.5cm * 17.5cm * 24.5cm) スチロール製小水槽を設置し、この小水槽の中の水を定流ポンプにより150ml / minの流量で排水置換することにより、小水槽中の水温、DOを外水槽と同一に保つようにした。

外水槽の水温調節は先の呼吸量測定と同様に行い、水温を30℃に設定した後、体重約50 gのブルーギルを小水槽中に収容してイトミミズを給餌しながら1週間程度馴致した。その後、各水温段階

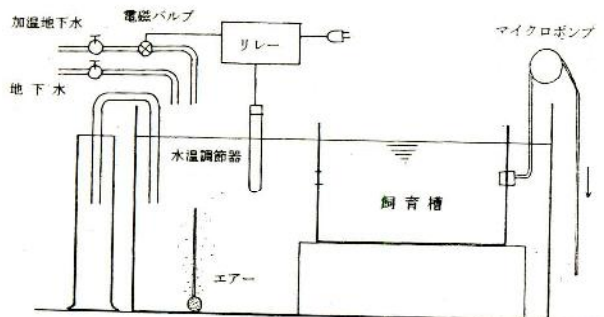


図2 水温別摂餌量及び餌料効率測定装置

における飼育試験期間を1週間とし、30℃から開始して1週間間隔で5℃ずつ水温を下げながら、各水温における飼育期間 (1週間) 中の摂餌量、増体重を測定した。餌料はイトミミズを用い、毎朝、翌日に残餌があるように充分量を与え、摂餌量は給餌量から残餌量を差し引くことにより求めた。なお、摂餌量は魚体重によって異なるため、摂餌量率、すなわち次項で求める魚体重と最大摂餌量の関係から試験魚体重の最大摂餌量: R (g / day) と各試験水温における摂餌量: r (g / day) の割合: r/R として表すこととした。

(2) 各種餌料生物による最大摂餌量及び餌料効率測定試験

体重0.5~180 gのブルーギルを用い、20 g以下のものは10 l スチロール製水槽に、20 g以上のものについては60 l ガラス水槽にそれぞれ1尾ずつ収容し、各水槽に25℃に加温した地下水を、10 l 水槽には注水量: 340ml / min、60 l 水槽には注水量: 850ml / minでそれぞれ置換した。なお、この注水置換により、各飼育水槽の水温は飼育期間を通じて25.0±0.5℃に保たれた。

供試餌料生物は、当内水試・外来魚現存量調査報告書の食性調査結果に基づき、霞ヶ浦北浦両湖内においてブルーギルが捕食していると考えられるエビ類 (テナガエビ)、小魚類 (ヌマチチブ)、イサザアミ、アカムシ、イトミミズ、魚卵 (アユ卵) の6種類を用いた。なお、これら各餌料種は前もって湖内や陸上池で採捕して地下水流水水槽に蓄養しておき、給餌に供するに際して小ネット網で採出し、網毎濾紙上に置いて体外の水分を除いた後に重量を測定後、生きた状態で投与した。なお、各餌量種別飼育試験の初めの1日間は試験餌料に馴致する期間とし、2日後にMS-222で麻酔、初期体重測定後に飼育試験を開始した。日間摂餌量は、ブルーギル魚体重別に毎朝、日間摂餌量よりやや多めの (翌朝に少量の残餌が残存する程度の) 量を重量測定後に給

餌し、翌朝残餌量を測定して前日の給餌量から差し引くことにより求めた。こうして1餌料種、1魚体重毎に1週間飼育し、飼育期間前後の体重を測定することにより成長速度、及び餌量効率を求めた。成長速度は浜田等(1975)による次式成長係数： K_G を指標として用いた。

$$K_G = 2.5 \times (W_2^{0.4} - W_1^{0.4}) / \Delta t \dots\dots\dots(1)$$

ただし、 W_1 ：初期体重 (g)、 W_2 ：飼育後体重 (g)、 Δt ：飼育日数

(3) 最大成長

1997年7月19日に、当内水試地先霞ヶ浦で採捕した孵化直後と思われる仔魚(Av.BW:0.0536g)17尾を25℃加温地下水を流水とした60ℓガラス製水槽に收容して飼育試験を開始した。平均体重が0.4g以上となった8月9日に17尾の内の平均的体重のもの5尾を選び、以降これらについて連続飼育を行った。餌料の種類及び給餌方法は飼育開始の7月19日～9月13日(Av.BW:0.0536～2.4g)の間は当内水試池で培養したミジンコ(*Daphnia pulex*)を、9月14日～11月22日(Av.BW:2.4～17.9g)の間はミジンコとイトミミズを、11月23日～2月14日(Av.BW:17.9～79.2g)の間はイサザアミとイトミミズを餌とし、毎日飽食量に摂餌させるため、毎朝、翌日に残餌が残存するように充分量を給餌した。なお、イサザアミを給餌する際には、飼育水槽中の Cl^- 濃度が常時100ppm以上に保たれるように飽和食塩水を定流ポンプにより1ml/minの流速で飼育水槽に連続添加した。体重測定は、7月19日～8月30日の間は7日おきに、8月30日～11月22日の間は14日おきに、11月22日～2月14日の間は21日おきに行い、この間の各個体別成長速度は上記(1)式によって求めた。

(4) 摂餌量率と成長及び餌料効率の関係

天然の水域や養殖場においては、魚類にとって充分量の餌が供給されているとは限らず、飽食量の餌

が得られない場合には当然その成長は最大成長より劣ることになる。ここでは、先に求めた最大摂餌量に対する実際の摂餌量の割合を摂餌量率： r/R と言い表すこととし、摂餌量率と成長速度の関係を次のようにして求めた。

飼育装置は最大成長試験と同様のものを使用し、水温25℃の加温地下水流水条件とした。試験はイサザアミを餌料として、給餌量を先に求めた体重と最大摂餌量の関係に基づいて日間摂餌量率： r/R がおおよそ1.0、0.75、0.5、0.25、0(：絶食条件)の5段階になるようにあらかじめ1日の給餌量を算出設定した上で、各段階給餌量を1週間継続して給餌飼育した。こうして摂餌量率別に飼育試験を行い、飼育期間前後の体重から成長係数を求め、次にこれら飼育前後の平均魚体重における最大摂餌量： R (g)と1週間の飼育試験期間中の平均日間給餌量： r (g)との割合、すなわち摂餌量率： r/R を求めた後、摂餌量率と成長の関係を調べた。

(5) ブルーギルの湖内における捕食量の推定

ブルーギルの湖内における摂餌量を直接調べることができないため、先に室内飼育試験により求めた最大成長と湖内における成長を比較し、その成長比と先に求めた摂餌量率と成長の関係から湖内での摂餌量を推定することとした。湖内成長については、久保田(1998)が調査した結果を用いた。湖内における最大成長については、先に求めた最大成長を水温と呼吸量の関係式により湖内年間水温変化に補正して求めた。なお、湖内年間水温は外岡等による過去10年間の湖内水温観測結果を用いた。

3. 結果及び考察

(1) 水温特性試験

1) 水温と呼吸量の関係

ブルーギルについて、水温と呼吸量の関係調べた結果は、表1及び図3(片対数グラフ)に示したとおりである。

この図から、呼吸量は水温：5～25℃の間は水温の上昇に伴って直線的に増加し、水温≥25℃においては一定となるものと見られ、これらについて回帰分析を行った結果、水温：T（℃）と呼吸量：O₂ uptake（mg/day）の関係は次式で表されることがわかった。なお、これより以降の回帰式においては、式の後に相関係数をr²で示すものと

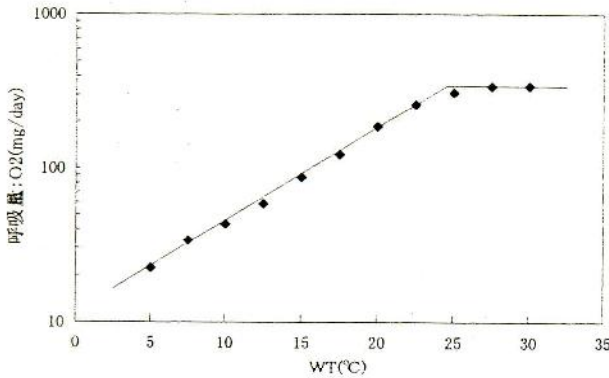


図3 ブルーギルの水温と呼吸量の関係

供試魚体重：72.1～72.6g、(WT:5～24.5℃における呼吸量：O₂ uptake (mg/day) はO₂ uptake (mg/day) = 11.60 * EXP (0.138 * WT), (WT≥24.5℃) においてはO₂ uptake (mg/day) = 343.07で表される。

する。

$$(5 < T < 25)$$

$$O_2 \text{ uptake (mg/day)} = 11.60 * \text{EXP} (0.1381 * T)$$

$$\dots\dots\dots(2) \langle r^2 = 0.9753 \rangle$$

$$(T \geq 25) \quad O_2 \text{ uptake (mg/day)} = 343.07 \dots\dots\dots(3)$$

2) 水温と摂餌量及び餌料効率の関係

イトミミズを餌としてブルーギルを水温別に飼育した結果は表2に示したとおりである。また、この結果について、水温と日間摂餌量の間を関係を図4に、水温と成長の間を関係を図5に、水温と餌料効率の間を関係を図6にそれぞれ示した。

図4に示した水温：T（℃）と日間摂餌量率：r/Rの関係について見ると、両者の間に先の水温和呼吸量の間と同様な相関関係が認められ、その回帰式として次式が得られた。

$$(5 < T < 25.8) \quad r/R = 0.0299 * \text{EXP} (0.1384 * T)$$

$$\dots\dots\dots(4) \langle r^2 = 0.9812 \rangle$$

$$(T \geq 25.8) \quad r/R = 1.06 \dots\dots\dots(5)$$

次に、図5に示した水温と成長の間について、水温：5～25.7℃の間において、水温：T（℃）と成長係数：Kgとの間に次式で示される正

表1 ブルーギルの水温別呼吸量

No.	測定日時	B.W.(g)	WT(°C)	呼吸室入口 DO:A(mg/l)	呼吸室出口 DO:B(mg/l)	DO(mg/l) A-B(mg/l)	流量 (ml/min)	呼吸量 O ₂ (mg/day)	Data数	前日給餌量 r(g)
1	10/20(12:00)～10/21(16:35)	72.1	50.0	6.795	4.958	1.837	129.67	343.07	1637	2.00
2	10/22(9:00)～10/23(12:05)		27.5	7.506	5.648	1.858	127.74	341.24	1690	2.10
3	10/24(9:05)～10/25(12:05)		25.0	8.096	6.404	1.692	127.32	310.24	1621	2.60
4	10/26(9:00)～10/27(13:12)		22.5	8.278	6.857	1.420	126.74	259.22	1633	2.78
5	10/28(9:00)～10/29(13:14)		20.0	8.460	7.435	1.026	126.26	186.54	1695	1.61
6	10/30(9:00)～10/31(12:12)		17.5	8.229	7.250	0.979	86.58	122.06	1663	0.45
7	11/ 1(9:00)～11/ 2(12:01)		15.0	9.089	8.452	0.637	95.12	87.26	1622	0.41
8	11/ 3(9:00)～11/ 4(12:00)		12.5	10.339	9.688	0.651	62.86	58.95	1622	0.11
9	11/ 5(9:00)～11/ 6(12:00)		10.0	10.777	10.183	0.594	50.88	43.52	1612	0.00
10	11/ 7(9:00)～11/ 8(12:00)		7.5	11.826	11.318	0.507	46.18	33.74	1675	0.00
11	11/ 9(9:38)～11/10(12:05)	72.6	5.0	12.711	12.327	0.385	46.28	22.31	1590	0.00

表2 ブルーギルの水温別飼育試験結果

WT(°C)	W1(g)	W2(g)	Δt(days)	Av.W(g)	R (g/day)	r (g/day)	r/R	Kg(*10 ⁻²)	餌料効率
5	57.26	56.55	7	56.91	4.85	0.16	0.03	-0.898	-0.640
10	55.94	57.26	7	56.60	4.83	0.60	0.12	1.674	0.315
10	56.77	58.23	7	57.50	4.90	0.79	0.16	1.834	0.264
15	54.37	55.94	7	55.16	4.73	0.86	0.18	2.022	0.260
15	58.23	60.23	7	59.23	5.01	1.17	0.23	2.468	0.245
20	49.04	54.37	7	51.71	4.50	2.83	0.63	7.140	0.269
25	42.37	49.04	7	45.71	4.07	3.56	0.87	9.625	0.268
25	60.23	68.42	7	64.33	5.36	4.83	0.90	9.626	0.261
30	68.42	77.74	7	73.08	5.93	5.33	0.90	10.147	0.250

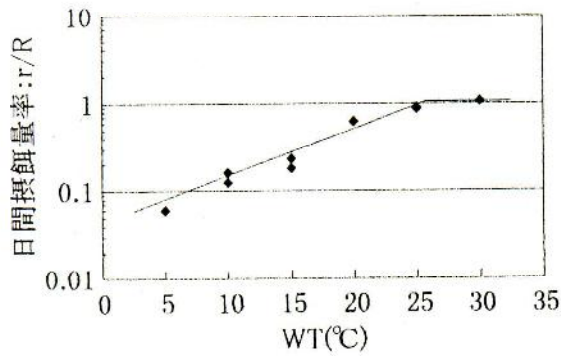


図4 ブルーギルにおける水温と摂餌率：r/Rの関係
 摂餌率とは最大摂餌量：R（水温25℃）に対する各水温における摂餌量：rの割合を表す。供試魚体重は42.37～81.04g，餌料はイトミミズ（WT≤25.8℃）において
 $R = 0.0299 * \text{EXP}(0.1384 * \text{WT})$

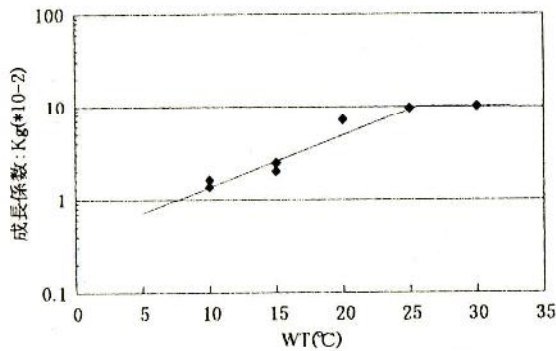


図5 ブルーギルにおける水温と成長の関係
 成長は成長係数：Kgで示す。供試魚体重：42.37～81.04g，餌料にイトミミズを使用。（WT≤25.7℃）において
 $Kg = 0.3628 * \text{EXP}(0.1340 * \text{WT})$

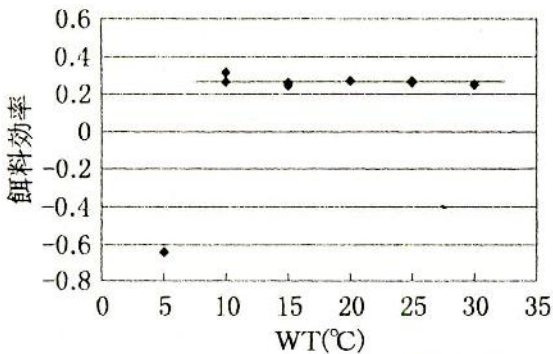


図6 ブルーギルにおける水温と餌料効率の関係
 餌料効率：増重量（g）／摂餌量（g），供試魚体重：

の相関があり，水温≥25℃で最大成長： $Kg = 1.145 * 10^{-1}$ となることがわかった。

$$(5 < T < 25.7) \quad Kg = 0.3628 * \text{EXP}(0.1340 * T) \dots\dots\dots(6) \langle r^2 = 0.9342 \rangle$$

$$(T \geq 25.7) \quad Kg = 1.145 * 10^{-1} \dots\dots\dots(7)$$

さらに，図6の水温と餌料効率の関係についてみると，水温：5℃においては摂餌を行うもののマイナス成長となり，この結果，餌料効率：-0.64となった。

水温：10℃～30℃の間においては餌料効率はほぼ一定の値を示し，その平均値は0.267であった。

2) 各種餌料生物による最大摂餌量及び餌料効率測定試験

各種餌料生物によるブルーギル飼育試験の結果を表3-(1)及び表3-(2)に示した。

この結果から，各餌料生物について魚体重と日間摂餌量の関係を両対数グラフで示したものが図7である。これらを見ると，アユ卵を除く各餌料生物において両者の間に正の相関が認められ，しかも全てが同様の勾配を示していることがわかる。なお，アユ卵を餌料とした飼育試験においては，体重50g以上のブルーギルの摂餌行動は積極的ではなく，従って大型のブルーギルはアユ卵のような微小餌料を積極的に摂餌しないものと推察された。各餌料生物におけるブルーギル魚体重：W（g）と最大摂餌量（湿重）：R（g/day）の関係について，回帰分析を行った結果， $R = Cr * W^b$ で表される次のような指数関数式が得られた。なお，ここでは本式の係数：Crを摂餌量係数，bを摂餌量指数と呼ぶこととする。また，アユ卵については活発な摂餌行動を示した体重50g以下での回帰分析結果を示した。

（餌料：イトミミズ）

$$R = 0.1906 * W^{0.8011} \dots\dots\dots(8) \langle r^2 = 0.9524 \rangle$$

（♀：アカムシ）

$$R = 0.1205 * W^{0.8539} \dots\dots\dots(9) \langle r^2 = 0.9684 \rangle$$

（♀：イサザアミ）

表 3-1(1) 各種餌料生物によるブルーギルの摂餌量及び成長測定結果

餌料種類 No.	イナズナ		アサギ		アサギ		アサギ		アサギ	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B.W.(Wt.g)	0.58	6.1	2.2	11.9	18.10	20.5	42.8	45.0		
1		0.37	0.37	0.96			2.09			
2	0.19		0.35	0.58			2.70			
3	0.16		0.34	1.08			4.06			
4	0.12		0.32	0.91			4.33			
5	0.16		0.35	1.12	2.24		3.13			
6	0.20		0.47	0.96	1.66		2.02			
7	0.22		0.42	0.96	1.46		2.68			
8	0.23	12.58 *	0.51	0.58	0.55	38.95 *	0.53	4.22		
Total (R/g)	1.38	12.58	3.13	7.25	6.31	28.95	21.54	22.54		
Av.R(g/day)	0.18	1.90	0.39	0.91	1.50	4.14	2.69	3.38		
B.W.(W2g)	0.71	9.0	3.0	17.5	17.4	27.5	46.4	50.5		
(W1+W2)/2	0.65	7.6	3.6	12.8	16.8	24.1	44.6	47.8		
Z(h/days)	7	7	8	8	4	7	8	7		
Kp(*10 ⁻²)	2.420	12.392	5.598	4.617	5.992	15.101	4.610	7.729		
餌料効率	0.102	0.231	0.256	0.234	0.216	0.239	0.167	0.240		

* 飼育初日に1週間分以上の給餌量を投与した後、毎日の摂餌量測定を行わず、1週間の飼育後に残餌量を差し引いて求めた値。

餌料種類 No.	イナズナ		アサギ(エビ幼虫)		アサギ(エビ幼虫)		アサギ(エビ幼虫)		アサギ(エビ幼虫)	
	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7
B.W.(Wt.g)	102.0	154.4	172.3	9.63	0.71	2.03	5.33	15.1	37.1	
1		12.21	11.48	0.13	17	0.25	32	174	2.46	965
2	10.00		10.17	0.10	13	0.26	34	1.58	2.44	316
3	12.13		13.86	0.14	18	0.31	40	1.58	2.15	8.00
4	11.81		13.56	0.14	18	0.31	40	1.01	2.15	279
5	13.56		12.17	0.14	18	0.31	40	1.01	2.15	279
6	13.73		12.29	0.14	18	0.53	69	1.01	2.16	1180
7	14.15		13.46	0.15	19	0.30	39	1.45	1.88	280
8	14.20		12.03	0.16	21	1.29	79	1.29	1.67	377
Total (R/g)	89.58	89.50	104.06	0.96	2.57	9.26	16.97	63.23		1422
Av.R(g/day)	12.80	12.79	13.01	0.14	0.37	1.32	2.42	9.03		9.03
B.W.(W2g)	120.3	175.2	197.2	0.83	2.69	6.62	18.30	69.19		69.19
(W1+W2)/2	111.2	164.8	184.8	0.8	2.4	6.0	16.7	63.1		63.1
Z(h/days)	7	7	8	7	7	7	7	7		7
Kp(*10 ⁻²)	15.498	13.927	13.598	2.007	5.650	6.317	8.454	14.380		14.380
餌料効率	0.204	0.233	0.239	0.125	0.257	0.139	0.189	0.191		0.191

餌料種類 No.	アサギ		アサギ		アサギ		アサギ		アサギ	
	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8
B.W.(Wt.g)	95.7	194.7	2.18	0.00736g*N	6.25	12.1	30.3	43.8	79.8	
1	8.49	1101	9.71	95	122	1.23	167	3.14	426	496
2	8.50	1102	8.38	45	127	1.76	239	2.87	390	363
3	6.43	834	15.77	45	121	1.49	202	2.64	359	515
4	14.46	1875	15.04	45	122	1.49	202	2.64	359	527
5	13.53	1755	14.52	45	157	1.85	251	3.36	465	432
6	13.54	1756	16.44	63	141	1.70	230	2.75	374	500
7	11.14	1445	15.97	51	133	1.73	235	2.46	335	457
Total (R/g)	76.09	95.83	2.54	6.78	11.24	19.86	24.21	46.12		46.12
Av.R(g/day)	21.47	13.69	0.38	1.61	3.46	6.59				
B.W.(W2g)	109.8	213.0	2.85	8.56	15.3	35.4	50.4	92.2		92.2
(W1+W2)/2	102.8	203.9	2.5	7.4	13.7	32.9	47.1	86.0		86.0
Z(h/days)	7	7	7	7	7	7	7	7		7
Kp(*10 ⁻²)	12.514	10.762	5.519	9.966	9.527	8.974	9.354	12.246		12.246
餌料効率	0.185	0.191	0.254	0.341	0.285	0.257	0.273	0.269		0.269

表 3-2(2) 各種餌料生物によるブルーギルの摂餌量及び成長測定結果

餌料種類		チナガエビ							
No.	B.W.(Wt/g)	1	2	3	4	5	6	7	8
1	176.2	3.0	13.6	17.4	46.4	99.4	197.2		
2	18.40	2500	0.27	0.027*10	1.00	0.091*11	0.99	0.127*7	4.05
3	16.10	2188	0.33	0.037*9	0.70	0.100*7	1.01	0.168*6	3.89
4	10.61	1440	0.20	0.022*9	0.60	0.100*6	0.70	0.350*2	3.39
5	16.40	2228	0.40	0.017*23	1.10	0.045*7	1.10	0.180*5	2.90
6	14.25	1936	0.65	0.040*16	0.97	0.100*10	1.80	0.164*11	4.05
7	8.88	1207	0.44	0.037*12	0.70	0.117*6	1.50	0.167*9	2.10
Total R(g)	95.24		6.07	7.90	12.36	21.68	32.70		
Av.R(g/day)	13.61		0.37	0.87	1.13	1.77	3.10		4.67
B.W.(Wt/g)	195.8		3.7	15.5	50.6	105.7	205.6		
(W1+W2)/2	101.4		3.4	14.6	48.5	102.6	201.4		
Δt(days)	7		7	7	7	7	7		7
R _g (*10 ⁻²)	12.180		4.850	5.448	6.650	5.819	5.603		4.957
餌料効率	0.206		0.270	0.313	0.342	0.338	0.291		0.256

餌料種類		魚卵(3期)							
No.	B.W.(Wt/g)	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.68	0.000493* ² N	1.94	0.000493* ² N	4.2	0.000493* ² N	15.4	0.000493* ² N	21.4
2	0.07	142	0.20	649	0.32	649	0.98	1988	1.33
3	0.08	162	0.17	345	0.73	1481	1.21	2454	1.08
4	0.11	223	0.21	426	0.99	2008	1.50	3245	1.65
5	0.08	162	0.20	406	0.54	1095	1.26	2556	1.99
6	0.11	223	0.25	507	0.58	1176	0.77	1582	0.69
7	0.10	203	0.20	406	0.38	1176	1.19	2414	1.72
8	0.12	243	0.21	426	0.87	1765	2.04	4138	2.38
Total R(g)	0.67		1.44	4.61	10.84	10.84	0.19	0.23	0.23
Av.R(g/day)	0.10		0.21	0.66	1.79	1.55	0.03	0.03	0.03
B.W.(Wt/g)	0.77		2.15	4.9	24.6	53.2	99.8	151.8	151.8
(W1+W2)/2	0.7		2.0	4.6	16.7	23.0	53.9	100.9	153.1
Δt(days)	7		7	7	7	7	7	7	7
R _g (*10 ⁻²)	1.560		1.954	4.033	6.613	6.972	-1.906	-1.972	-1.815
餌料効率	0.134		0.146	0.152	0.276	0.295	-7.684	-9.565	-2.766

餌料種類		エビ仔							
No.	B.W.(Wt/g)	1	2	3	4	5	6	7	8
1	4.9	17.9	24.6	31.6	50.5	120.3	185.2		
2	0.70	0.0257*31	1.53	0.0300*51	1.95	0.0361*54	2.82	0.1411*20	2.90
3	0.62	0.0187*33	1.58	0.0932*17	2.59	0.1234*21	3.35	0.1289*26	3.26
4	0.39	0.0246*16	0.69	0.0858*8	1.50	0.1143*14	4.08	0.1459*28	4.03
5	0.38	0.0262*17	0.57	0.0627*9	1.11	0.0741*15	4.51	0.1155*39	3.46
6	0.53	0.0197*27	1.25	0.0737*17	2.05	0.1367*15	4.91	0.1327*37	3.56
7	0.51	0.0057*29	2.36	0.0637*37	0.68	0.0324*21	5.01	0.1254*40	2.83
8	0.46	0.0211*23	1.12	0.0468*24	2.23	0.0287*18	4.59	0.1208*38	3.00
Total R(g)	3.63		9.10	12.21	29.28	23.12	41.53		53.95
Av.R(g/day)	0.52		1.30	1.74	4.18	3.30	5.93		7.71
B.W.(Wt/g)	6.1		20.5	31.6	41.6	58.9	134.2		202.3
(W1+W2)/2	5.5		19.2	28.1	36.6	54.7	127.3		193.8
Δt(days)	7		7	7	7	7	7		7
R _g (*10 ⁻²)	6.176		6.313	13.548	16.524	10.884	10.825		10.368
餌料効率	0.331		0.286	0.573	0.342	0.363	0.334		0.317

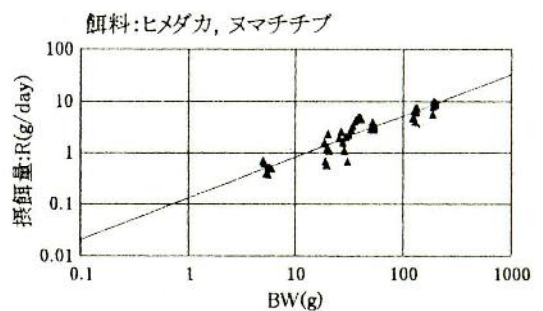
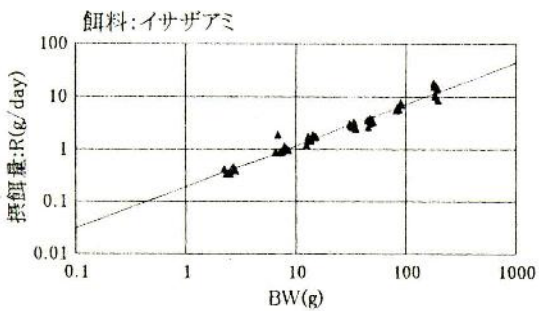
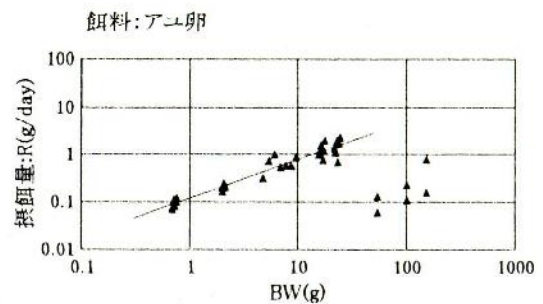
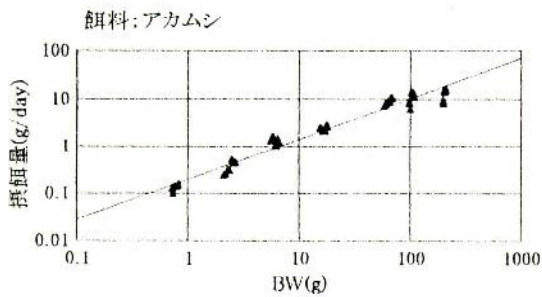
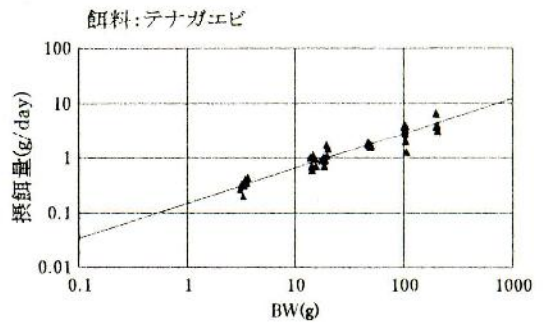
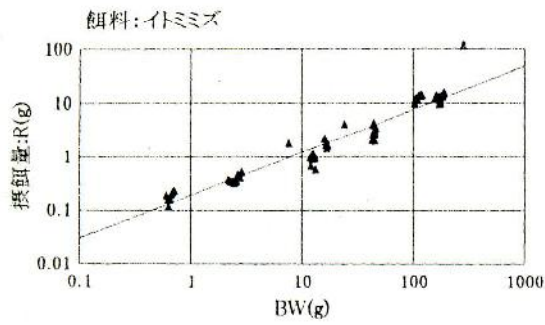


図7 ブルーギルの各種餌料生物摂餌量

$$R = 0.1890 * W^{0.7925} \dots\dots\dots(10) \langle r^2 = 0.9681 \rangle$$

(κ : テナガエビ)

$$R = 0.1516 * W^{0.9122} \dots\dots\dots(11) \langle r^2 = 0.9122 \rangle$$

(κ : アユ卵)

$$R = 0.1205 * W^{0.9375} \dots\dots\dots(12) \langle r^2 = 0.9375 \rangle$$

(κ : ヌマチチブ)

$$R = 0.1323 * W^{0.8007} \dots\dots\dots(13) \langle r^2 = 0.8512 \rangle$$

この結果、ブルーギルの摂餌量はテナガエビを除く各餌料において、体重のおよそ0.8乗に比例し、摂餌量係数は0.12~0.19 (平均0.151) の値を示した。表4に、これら摂餌量指数と摂餌量係数をまとめて

示すとともに、著者分析結果 (本誌) による餌料生物の総熱量: GE (Kcal / g) を乗じて摂餌熱量係数に換算し、併記した。その結果、摂餌量係数はアユ卵を除いて、0.13~0.17 (平均0.152) となった。なお、アユ卵における摂餌熱量係数が極端に低い値となったことは、アユ卵が消化されにくい餌であることを示唆しているものと思われる、テナガエビにおける摂餌量指数が0.64と他に比べて低い値となった原因については、今回の試験では究明することができなかった。

次に、ブルーギル魚体重と各餌料生物についての

表4 ブルーギルの餌料種類別最大摂餌量及び餌料効率

餌料の種類	R (g) = Cr * W ^b		R(kcal) = Cr' * W ^b		餌料効率
	摂餌係数 Cr	摂餌量指数 b	餌料のGE (kcal/g)	摂餌熱係数 Cr'	
イトミミズ	0.191	0.801	0.808	0.154	0.215
アカムシ	0.121	0.854	1.100	0.133	0.182
イサザアミ	0.189	0.803	0.897	0.169	0.269
テナガエビ	0.152	0.840	1.101	0.167	0.302
アユ卵	0.121 *	0.812 *	0.276	0.033 *	0.201
ヌマチチブ	0.132	0.801	1.031	0.136	0.364
Av.	0.151	0.785		0.152 **	0.256

*ブルーギル体重≤50gにおける値, **アユ卵を除いた平均値

餌料効率の関係を示したものが図8である。餌料効率は餌料の種類によって差があるが、全体としてみると魚体重<10gにおいては体重増加に従って高くなり、魚体重≥100gにおいては低くなる傾向を示した。これらの傾向について解析数量化するには、今回の試験数では少ないと思われるので、ここでは各餌料種毎の平均値として表し、表4に併せて示した。この結果、餌料種別の平均餌料効率はヌマチチブ、テナガエビで0.3以上の高い値を示し、以下イサザアミ、アユ卵、イトミミズ、アカムシの順となり、全餌料種の平均値は0.256となった。

さらに、今回の餌料種別飼育試験結果から、ブルーギルの体重と摂餌餌料の個体重量との関係を示したものが図9である。ブルーギル体重に対する摂餌餌料の重量比が0.004以上の比較的大きな餌を摂餌した個体群について、魚体重：BW (g)と摂餌餌料の個体重量：RW (g)との相関関係を調べた結果、先の体重と摂餌量の関係式と同様に、体重の0.804乗に比例することを示す次式が得られた。

$$RW = 0.01414 * BW^{0.804} \dots\dots\dots(14) \langle r^2 = 0.9196 \rangle$$

この(14)式に基づき、同じ勾配：0.804で摂餌餌料個体重量の最大値と最小値を通る直線式を求めた結果、それぞれ次の式が求められた。

(摂餌可能サイズ上限)

$$RW_{max} = 0.0326 * BW^{0.804} \dots\dots\dots(15)$$

(摂餌可能サイズ下限)

$$RW_{min} = 0.0000231 * BW^{0.804} \dots\dots\dots(16)$$

以上により、ブルーギルが摂餌可能な餌料生物個体重量は(15)式と(16)式で示される直線間の範囲内とみなすことができる。

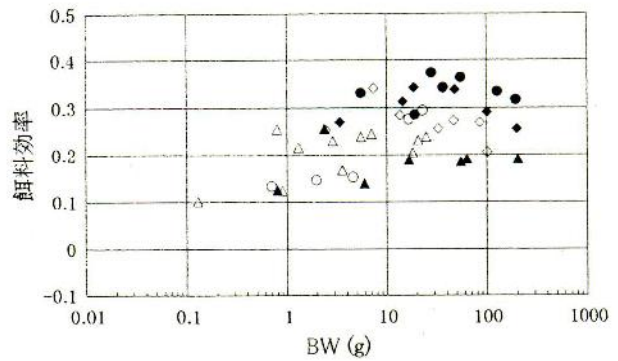


図8 各餌料生物摂餌時におけるブルーギル魚体重と餌料効率の関係

WT: 25±0.2℃, △イトミミズ, ▲アカムシ, ◇イサザアミ, ◆テナガエビ, ○アユ卵, ●ヌマチチブ, いずれも飽食量給餌

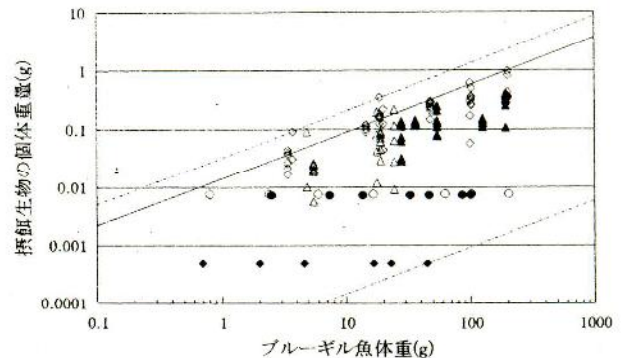


図9 ブルーギル魚体重と摂餌餌料生物個体重量との関係

○アカムシ, ●イサザアミ, ◇テナガエビ, ◆アユ卵, △ヒメダカ, ▲ヌマチチブ
魚体重の0.4%重量の餌料生物を摂餌したブルーギル個体群についての回帰直線、ブルーギルが摂餌可能な餌料の個体重量範囲を示す。

(3) 最大成長

ブルーギル5尾について、1997年7月19日に孵化仔魚期から飼育を開始し、ミジンコ、イトミミズ、イサザアミ等を毎日充分量に給餌しながら1998年2月14日までの210日間、連続飼育した結果を表5及び図10に示した。

この結果、飼育日数経過とともに体重の個体差が広がり、採集測定の日2月14日においては最大個体と最小個体の体重比は48g / 186g ≒ 1 / 4となった。これ

表5 ブルーギル飼育試験結果 (WT: 24.5±0.5℃)

D1	WI(g)	D2	W2(g)	△t(days)	Kg(*10-2)	餌料種類
'97. 7/19	0.9112g/17	7/26	1.89g/16	0.118	7	4.112 ミシコ
7/26	1.89g/16	8/3	4.1g/16	0.256	8	4.827 ミシコ
8/3	4.1g/16	8/9	6.9g/16	0.431	6	5.597 ミシコ
8/9	No.1	8/16		0.628	7	5.811 ミシコ
	2			0.667	7	5.643
	3			0.828	7	6.623
	4			0.923	7	7.960
	5			0.932	7	6.748
	Av.			0.796	7	6.604
8/16	No.1	8/30		1.45	14	5.899 ミシコ
	2			1.53	14	5.959
	3			1.93	14	6.660
	4			2.30	14	7.640
	5			2.37	14	7.849
	Av.			1.915	14	6.859
8/30	No.1	9/13		2.70	14	5.837 ミシコ
	2			2.93	14	6.295
	3			4.07	14	8.092
	4			4.64	14	8.058
	5			4.81	14	8.255
	Av.			3.829	14	7.393
9/13	No.1	9/27		4.97	14	7.363 ミシコ+イミヌ
	2			5.46	14	7.769
	3			7.21	14	8.053
	4			8.61	14	9.264
	5			9.28	14	10.061
	Av.			7.107	14	8.577
9/27	No.1	10/11		7.82	14	6.725 ミシコ+イミヌ
	2			8.81	14	7.433
	3			11.36	14	7.843
	4			14.57	14	9.890
	5			15.83	14	10.369
	Av.			11.678	14	8.597
10/11	No.1	10/26		11.64	15	6.541 ミシコ+イミヌ
	2			13.68	15	7.649
	3			16.94	15	7.632
	4			23.24	15	9.988
	5			25.48	15	10.560
	Av.			18.194	15	8.645
10/26	No.1	11/8		15.31	13	5.961 ミシコ+イミヌ
	2			18.75	13	7.368
	3			22.64	13	7.340
	4			30.93	13	8.199
	5			37.56	13	11.787
	Av.			25.039	13	8.361
11/8	No.1	11/22		18.73	14	4.458 ミシコ+イミヌ
	2			18.75	14	7.470
	3			22.64	14	8.358
	4			30.93	14	8.617
	5			37.56	14	11.315
	Av.			33.911	14	8.352
11/22	No.1	12/13		24.06	21	4.052 ミシコ+イミヌ+イサザ
	2			38.27	21	7.721
	3			45.83	21	7.938
	4			62.20	21	9.404
	5			84.40	21	11.875
	Av.			50.954	21	8.621
12/13	No.1	'98. 1/3		29.90	21	3.856 イミヌ+イサザ
	2			54.90	21	7.942
	3			62.03	21	7.076
	4			90.78	21	10.142
	5			115.82	21	9.471
	Av.			70.687	21	8.024
'98. 1/3	No.1	1/24		38.37	21	4.862 イミヌ+イサザ
	2			80.97	21	9.935
	3			83.80	21	7.936
	4			124.46	21	9.721
	5			153.68	21	9.541
	Av.			96.256	21	8.594
1/24	No.1	2/14		48.11	21	4.851 イミヌ+イサザ
	2			103.71	21	7.186
	3			110.63	21	8.224
	4			160.70	21	8.824
	5			185.80	21	7.037
	Av.			121.792	21	7.301

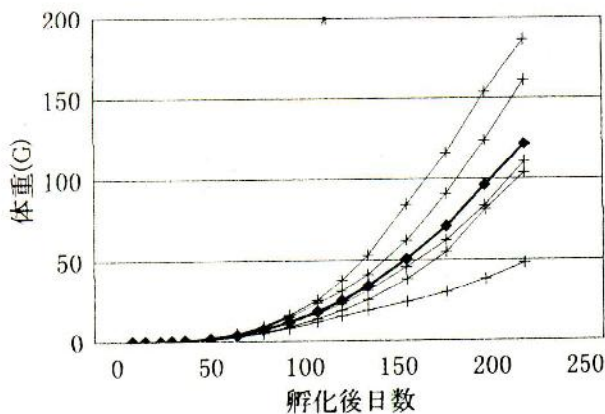


図10 ブルーギルの成長 (WT: 25.0±0.5°C)
◆◆飼育魚5尾体重の平均値

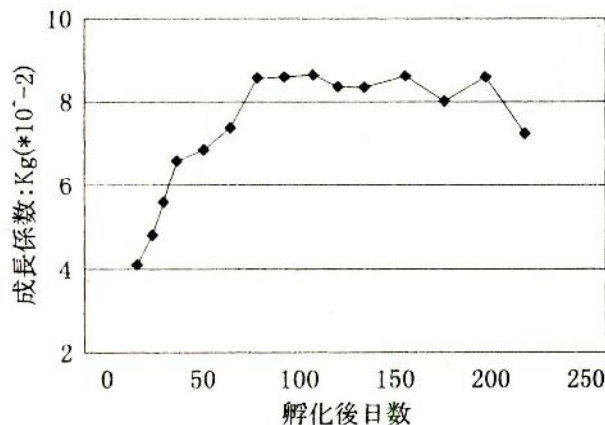


図11 ブルーギルの成長係数の推移 (WT: 25.0±0.5°C)
飼育魚5尾の平均体重から求めた成長係数で示す。

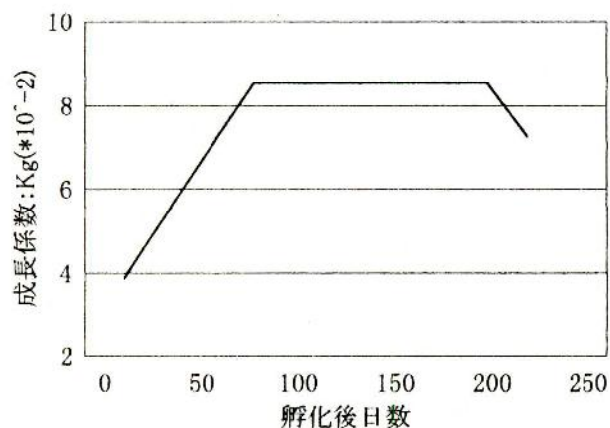


図12 ブルーギルの最大成長モデル (WT: 25.0±0.5°C)

ら5尾の摂餌行動を観察すると、大型魚が小型魚を牽制してイニシアチブを取っている様子がしばしば見られたことから、こうした成長の個体差が生じる主な原因はブルーギルの持っている競争本能によって小型魚の摂餌が抑制されるためと推察される。しかしこの一方で、(現在も本飼育試験を継続中のため未確認であるが,) 雄と雌の成長差にその原因があることも考えられるため、ここでは飼育魚5尾の平均体重を代表値とした。図11はこれら5尾の平均体重から求めた成長係数の経時的变化を示したものである。これによると、ブルーギルの成長速度は孵化直後においては遅く、これより孵化後77日 (BW: 2.18 g) までは直線的に速まり、孵化後70日から200日 (BW: 70.84 g) までの間は一定を保ち、その後は減速するものと見られる。こうした成長速度の変化を直線的に表し、ブルーギルの最大成長モデルとして示したものが図12である。なお、この成長モデルの各成長段階における成長係数と孵化後日数: Dとの関係式を以下に示した。

$$(W \leq 2.18g) \text{ Kg} = (0.070 * D + 3.178) * 10^{-2} \dots\dots(17)$$

$$(2.18g < W \leq 70.84g) \text{ Kg} = 8.535 * 10^{-2} \dots\dots(18)$$

$$(W \geq 70.84g) \text{ Kg} = (-0.06 * D + 20.641) * 10^{-2} \dots\dots(19)$$

4) 摂餌量率と成長及び餌料効率の関係

ブルーギルが捕食する餌料の密度やブルーギル自体の生息密度が異なる二つの水域においては、摂餌量に差が生じ、その差に応じてブルーギルの成長も当然異なってくるはずである。こうした摂餌量と成長の関係を調べるため、イサザアミを餌料とし、毎日の給餌量を1週間毎に変えて飼育を行い、各飼育期間における成長及び餌料効率を調べた。この結果を表6及び図13に示す。なお、摂餌量は、先に体重との関係式(8)~(13)式で示したとおり、体重の指数関数で表されるため、成長との関係を求める上で非常に煩雑になる。従って、ここでは全ての体重に適用する値として摂餌量率: r/R 、すなわち各魚体重の飽食量 (最大摂餌量: R) に対する摂餌量: r の割

表6 イサザアミを餌料とした給餌量別ブルーギル飼育結果

r/R	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	0.50	0.75
W1(g)	37.85	37.08	34.16	39.34	30.3	44.91	49.82
R(g)	4.163	4.095	3.834	4.294	3.482	4.776	5.192
r1	0	1.35	1.54	3.04	3.92	2.37	3.49
r2	0	1.06	1.85	3.29	3.59	2.39	2.41
r3	0	1.12	1.91	3.30	3.30	2.40	3.70
r4	0	1.18	2.19	3.23	3.30	2.47	4.23
r5	0	1.34	2.00	3.06	4.19	2.57	4.23
r6	0	1.26	2.16	3.37	3.44	2.66	3.50
r7	0	1.23	2.06	3.41	3.08	2.72	3.97
Total r(g)	0.00	8.54	13.71	22.70	24.82	17.58	25.53
Δt(days)	7	7	7	7	7	7	7
Av.r(g/day)	0.00	1.22	1.96	3.24	3.55	2.51	3.65
W2(g)	37.34	38.62	37.08	44.91	35.4	49.82	56.10
(W1+W2)/2	37.595	37.85	35.62	42.125	32.85	47.365	52.96
Av.R(g/day)	4.14	4.16	3.33	4.54	3.72	4.99	5.45
Av.r/R	0.00	0.29	0.59	0.71	0.95	0.50	0.67
Kg(*10 ⁻²)	-0.827	2.487	4.891	8.440	8.974	6.933	8.293
餌料効率		0.180	0.213	0.245	0.205	0.279	0.246

飼育水温:25.0℃±0.5℃, 餌料:イサザアミにおける最大摂餌量:R = 0.189 * W^{0.803}

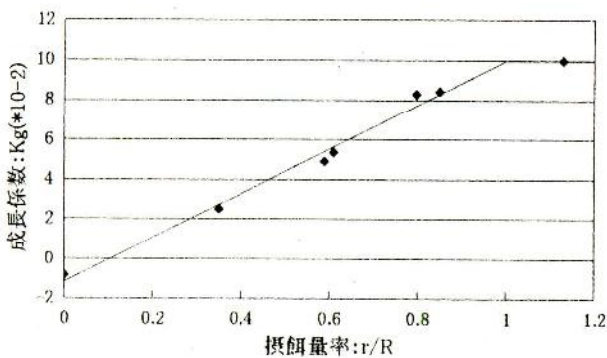


図13 ブルーギルにおける摂餌量率:r/Rと成長係数:Kgの関係
供試魚体重:30.3~56.1g, 餌料:イサザアミ, 飼育水温:25.5±0.5℃

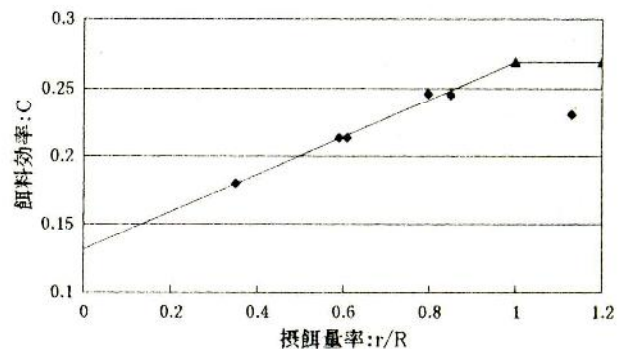


図14 ブルーギルにおける摂餌量率:r/Rと餌料効率:Cの関係
供試魚体重:30.3~56.1g, 餌料:イサザアミ, 飼育水温:25.5±0.5℃

合を用いることとした。また、この試験においては餌料としてイサザアミを用いたので、最大摂餌量は先に餌料種類別飼育試験結果で得られた(10)式: $R = 0.1890 * W^{0.7926}$ により求めた。

この結果、摂餌量率が0(絶食)の時にはマイナス成長となり、摂餌量率がおよそ0.1(飽食量の1/10)の時に0成長、さらに摂餌量率が1(飽食量)の時に最大成長となり、摂餌量率が1以上で平行となる。このことは、ブルーギルが体重を維持するために必要な餌の量は飽食量の1/10であり、また、

最大摂餌量以上には摂餌を行わないことを表している。摂餌量率 ≤ 1 において摂餌量率と成長係数の関係について回帰分析を行った結果、次式が得られた。

$$Kg = (11.16 * r/R - 1.176) * 10^{-2} \dots(20) \langle r^2 = 0.9923 \rangle$$

さらに、この関係を最大成長:Kg_{MAX}に対するKgの割合を成長率:Kg/Kg_{MAX}で表すと

$$Kg/Kg_{MAX} = 1.116 * r/R - 0.176 \dots(21) \text{となる。}$$

摂餌量率と餌料効率:Cの関係についてみると、摂餌量率0においては餌料効率が算出されないが、

摂餌量率が飽食量に近づくに従って餌料効率も上昇し、飽食量で最大値0.269に達する。さらに、飽食量以上に給餌を行うと餌を残すため、結果として餌料効率が減少する。図14では、摂餌量率1以上は餌料効率が平行になるものとして示した。摂餌量率 ≤ 1 において摂餌量率と餌料効率：Cの関係について回帰分析を行い次式を得た。

$$C = 0.1375 * r / R + 0.1315 \dots\dots\dots(22)$$

(5) ブルーギルの湖内における捕食量の推定

ある水域における魚類の摂餌量を求める方法としては、次のような手法が考えられる。①調査対象魚種の胃内容物量から推定する方法、②V. S. Ivlev (1955) による、対象魚種についての餌料分布状態(分布密度、分布様式)と摂餌強度の関係及び、水域における餌料の分布状態から求める方法、③対象魚種の摂餌量率と成長の関係及び、水域における調査対象魚種の成長から求める方法。

①は採捕した時間によって胃内容物量に変化すること、胃内容物中には未消化のものからほとんど消化されたものまでが含まれること等、測定精度に問題がある。また、摂餌から排泄までに要する時間：消化時間及び1日間における摂餌時間を調べる必要がある。②は各種餌料について、餌料の分布状態と

摂餌強度の関係を求めるための実験に膨大な時間を要し、水域の餌料分布状態についても調査対象水域が霞ヶ浦のように広大な場合には場所によって様ではなく、年間を通じての全体把握が困難である。③は飼育実験により、各種餌料について摂餌量、成長、及びその相互関係を調べるとともに、対象水域における成長の把握を行う必要がある、これら試験調査に時間を要するが、結果における誤差は少ないものと考えられる。

以上のことから、霞ヶ浦におけるブルーギルの捕食量を把握する方法として、③の成長を中心とした調査試験結果により求める方法を採用した。

(5)- a 湖内におけるブルーギルの成長

久保田(未発表資料)が北浦村繁昌地先において1997年4月から10月にかけて実施した張網漁獲物調査結果をもとに、各月の体長度数分布における各年級群モードを求めた後、それぞれの体長モード値を久保田による次式、体長：SL (mm) と体重：W (g) の関係式を用いて体重の値に変換した。

$$W = 1.0 * 10^{-5} * SL^{3.3} \dots\dots\dots(21)$$

さらに各年級群魚体重の経時変化から成長係数を求め、これらの結果をまとめて表7に示した。

表7 湖内におけるブルーギルの成長

調査年月日	0+				1+			
	SL(mm)	BW(g)	D(day)	Kg(*10 ⁻²)	SL(mm)	BW(g)	D(day)	Kg(*10 ⁻²)
'96. 4/30								
5/30					40.40	2.00	30	
6/27					56.31	5.98	28	6.481
7/10		0.01						
7/26					62.71	8.54	29	2.693
8/27	22.95	0.31	48	2.432	82.86	21.41	32	8.188
9/25	28.21	0.61	29	1.688	87.79	25.90	29	2.328
10/24	30.51	0.79	29	0.772	105.00	46.77	29	8.446
Av.				1.772				5.674

久保田等(1998)による北浦繁昌地先、張網調査結果より、 BW = 10⁻⁵ * (SL)^{3.3}, D: 孵化後日数

表8 霞ヶ浦における過去10年間(1987~1997)の月別平均水温

Month	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC
WT(°C)	5.29	5.45	8.62	13.76	19.07	22.31	25.07	27.59	24.71	18.96	13.60	8.62

(5)一b 湖内水温におけるブルーギルの最大成長モデル

図15は外岡等による湖内水温観測記録を基に、過去10年間の平均年変動を示したものである。先に(17)~(19)式で示した水温25°Cにおける最大成長モデルをもとに、図15に示した湖内水温の変化に従って、先に求めた水温と成長の関係式： $Kg = 0.3628 * EXP(0.1340 * T)$ により水温補正を行い、湖内水温における年間の最大成長モデルを求めた。さらに、ここで求めた湖内水温における最大成長と湖内成長(実測値)をそれぞれ成長曲線

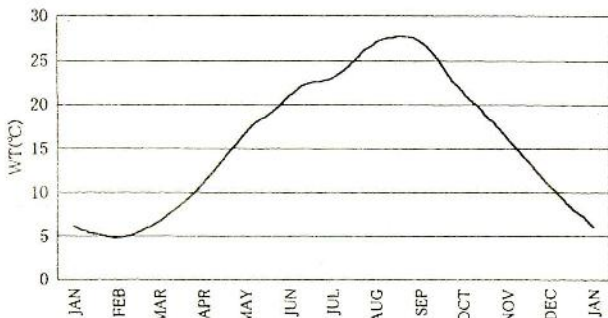


図15 霞ヶ浦における年間の水温変化
10年間(1987~1997)年を平均し、さらに21日間移動平均としたもの。

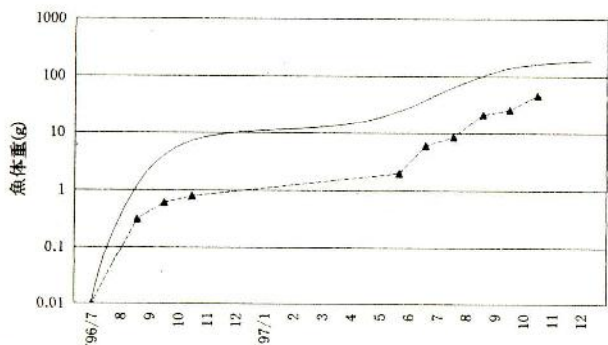


図16 ブルーギルの湖内における成長と最大成長モデルの比較

として図16に、成長係数の推移として図17に示した。

以上の結果から、ブルーギルは11月から3月の冬期はほとんど成長が見られず、夏期から秋期にかけての0+魚の成長は成長係数： $Kg (*10^{-2})$ で0.772~2.432(通算1.772)となり、最大成長における $Kg (*10^{-2})$ ：4~7(通算5.674)に比べると、かなり低い値であることを示した。また、同時期における1+魚の成長は $Kg (*10^{-2})$ ：2.33~8.45(通算5.627)と測定月毎の変動幅が大きいものの、最大成長における $Kg (*10^{-2})$ ：7~9(通算6.933)の81.2%を示し、自然水域における成長としては非常に速い成長であることがわかった。これらのことは、7月から10月において、ブルーギル1尾当たりの湖内の餌料の量は0+魚にとっては不足し、1+魚にとってはほぼ充足していることを示唆している。0+魚の餌不足については、張網漁獲物における0+魚の出現頻度が非常に高いことから、餌料密度に対して0+魚の生息密度が高すぎることによるものと推測される。また、同時期の湖内における0+魚の

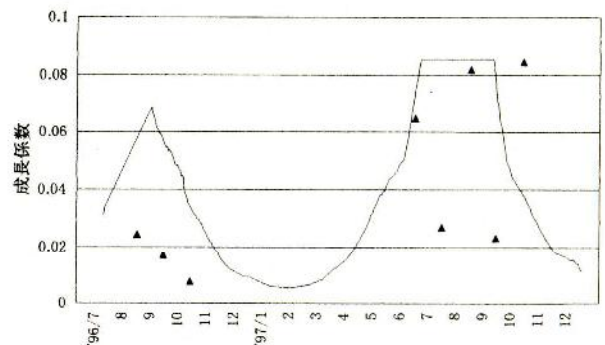


図17 ブルーギルの湖内における成長係数の推移

サイズは0.01~0.8gであり、このサイズのブルーギルが摂餌する餌1個体当たりの湿重量サイズを、先に示した(15)式及び(14)式により求めると0.57 μ g~27.2mgとなる。このサイズの餌料生物としてはイトミミズ、動物プランクトン、イサザアミ、稚エビ、アカムシ、魚卵、孵化仔魚等が含まれる。同期間における1+魚の摂餌する餌料サイズについても0+魚と同様な方法で求めると、27.6 μ g~0.72gとなり、この範囲内に上記餌料生物から動物プランクトンを除いたものが含まれる。また、魚卵については、同期間中に産卵する魚種は9月下旬から産卵するアユ以外にはないが、根本等(1996)によるとアユの産卵場となっている河川中流域にはブルーギルの息がほとんど認められないと述べており、したがって、アユ卵がブルーギルに捕食される頻度は極めて少ないものと考えられる。

(5)-c 湖内における最大成長と成長実測値との比較による、湖内摂餌量の推定

先に求めた水温と餌料効率の関係から、ブルーギルの餌料効率は水温が変化しても一定であった。したがって、湖内におけるブルーギルの全餌料生物捕食量は、成長量がわかれば、成長と摂餌量率の関係から求めることができる。

0+については、孵化した7月から成長の止まる10月末までの106日間(平均水温:24.62 $^{\circ}$ C)で平均体重が0.01gから0.79gに成長した。これを成長係数で表すと、 $Kg=1.772*10^{-2}$ となる。次に、同期間の湖内水温において飽食量に摂餌できた場合の成長:湖内最大成長においては、図16から魚体重:0.01~7.18g、 $Kg_{MAX}=4.815*10^{-2}$ と予測される。これらから、 $Kg/Kg_{MAX}=1.772/4.815=0.368$ が得られ、さらに、(21)式から、 $Kg/Kg_{MAX}=0.368=1.116*r/R-0.176$ を計算すると、 $r/R=0.487$ が求められる。

すなわち、同期間(106日間)中において0+

のブルーギルは最大摂餌量の48.7%を摂餌したことになる。さらに、同期間平均水温:24.6 $^{\circ}$ Cにおける0+ブルーギルの最大摂餌量を合計(積分)すると、23.50g/尾となり、これに $r/R=0.487$ を乗じて0+ブルーギル1尾が同期間に捕食する量として11.44g/尾が求められる。

同様に1+ブルーギルについて、成長を行う4月から11月までの244日間における捕食量を算出すると、魚体重:1.0~50g、 $Kg_{MAX}=5.242*10^{-2}$ 、 $Kg/Kg_{MAX}=3.875/5.242=0.739$ 、 $r/R=0.820$ 、同期間中湖水温における最大摂餌量の合計は323.77gとなり、これに $r/R=0.820$ を乗じて1+ブルーギル1尾が同期間において捕食する量として265.49gが得られる。なお、この結果から湖内におけるブルーギルの実質餌料効率を求めると、0+魚については0.068、1+魚については0.185の値となった。

つづいて、3+、4+のブルーギルについても同様に求められるが、資源尾数が少ないことからここでは省略した。以上の算定結果をまとめて表9に示した。

以上、各年級ブルーギル1尾が年間に摂餌する餌料生物全量を求めたわけであるが、各年級群の資源尾数を乗ずることにより湖内全体のブルーギルによる捕食量が求められ、さらに、捕食量全量に胃内容物における各餌料生物の比率を乗ずることにより各餌料生物別の捕食量を求めることができる。

霞ヶ浦北浦のブルーギルに関して、これまでに得られた知見を整理すると、現在の資源量はおよそ1,000トンと推定されること。ただし、年級別の資源尾数については調べられていない。また、ブルーギルの食性については、当内水試(1993)が行った胃内容物調査の結果から、胃内容中に存在が確認された餌料生物の重量比でエビ:56.2%、魚類:41.9%、イサザ、アカムシ、動物プランクトン、その他:1.9%であったことである。これら

表9 ブルーギルの湖内における捕食量

魚令	期間	Av.WT (°C)	湖内成長			湖内最大成長			r/R	Total R (g)	Total r (g)
			BW (g)	Kg (*10-2)	BW (g)	Kgmax (*10-2)	Kg/Kgmax				
0+	7/10~10/24 (106days)	24.62	0.01~0.79	1.772	0.01~7.18	4.815	0.368	0.487	23.50	11.44	
1+	5/20~10/24 (147days)	24.39	2.00~46.77	5.674	2.00~64.65	6.815	0.833	0.904	238.49	215.62	
1+	4/1~11/20 (244days)	21.61	1.0~50.0	3.875	1.0~91.72	5.242	0.739	0.820	323.77	265.49	

の知見から、生息ブルーギル全体の平均餌料効率を、少々乱暴と思えるがここでは0+魚の0.068と1+魚の0.185の平均値：0.127とし、湖内におけるブルーギルによる全捕食量を大まかな目安として試算した結果、1,000ton / 0.127=7,874tonと見積もられ、さらにその内訳については、エビが4,425ton、魚類が3,299ton、イサザ、アカムシ、動物プランクトン、その他が150tonとなった。なお、ブルーギルと餌が競合する魚種（この魚種の餌料効率はブルーギルとほぼ同一と見られる）の復元する可能性と、現在の霞ヶ浦における環境容量（魚類が生息できる量）に上限があることから、これら試算した結果から直ちに、ブルーギルがない場合の資源量を現在の資源量に7,874tonを加算したものとするわけにはいかない。また、湖内に存在する餌料生物の種類及び量は年間を通じて一定ではなく、ブルーギルの摂餌する餌料生物種も成長するに従って変化するものと思われる。従ってこれらの試算結果はあくまでも目安の値であり、湖内におけるブルーギルの捕食量をより正確に把握するには、今後、ブルーギルの各年級群についての資源量調査及び、時系列の魚体重別胃内容物調査が必要である。

5. 要 約

近年の霞ヶ浦北浦におけるブルーギルの急激な増殖は、餌の競合や直接捕食によって在来魚種を圧迫し、同湖漁業に少なからぬ影響を及ぼしている。このため、

ブルーギルの摂餌特性を室内飼育実験により調べ、湖内における捕食量の把握を試みた。

- (1) ブルーギルの水温特性について水温：T（℃）と呼吸量、摂餌量及び、成長との関係で調べた結果、次の各関係式を得た。

呼吸量

$$(5 < T < 25)$$

$$O_2 \text{ uptake (mg / day)} = 11.60 * EXP (0.1381 * T)$$

$$(T \geq 25) O_2 \text{ uptake (mg / day)} = 343.07$$

摂餌量率：r/R

$$(5 < T < 25.8) r/R = 0.0299 * EXP (0.1384 * T)$$

$$(T \geq 25.8) r/R = 1.06$$

成長係数：Kg

$$(5 < T < 25.7) Kg = 0.3628 * EXP (0.1340 * T)$$

$$(T \geq 25.7) Kg = 1.145 * 10^{-1}$$

餌料効率については水温10℃以上において一定であった。

- (2) 主要餌料生物について、ブルーギルの体重：W（g）と日間最大摂餌量：R（g / day）、及び日間最大摂餌熱量Rc（Kcal / day）の関係を調べた結果、次の関係式を得た。

$$(イトミミズ) R = 0.191 * W^{0.8011} \quad Rc = 0.154 * W^{0.8011}$$

$$(アカムシ) R = 0.121 * W^{0.8539} \quad Rc = 0.133 * W^{0.8539}$$

$$(イサザアミ) R = 0.189 * W^{0.7926} \quad Rc = 0.169 * W^{0.7926}$$

$$(テナガエビ) R = 0.152 * W^{0.9122} \quad Rc = 0.167 * W^{0.9122}$$

$$(アユ卵) R = 0.121 * W^{0.9375} \quad Rc = 0.033 * W^{0.9375}$$

$$(ヌマチチブ) R = 0.132 * W^{0.8007} \quad Rc = 0.136 * W^{0.8007}$$

なお、アユ卵については、魚体重が50g以上のブルーギルはほとんど摂餌せず、従って、上記アユ卵についての関係式は魚体重50g以下のブルーギルに適用するものである。

(3) 餌料種別の平均餌料効率をヌマチチブ、テナガエビで0.3以上の高い値を示し、以下イサザアミ、アユ卵、イトミミズ、アカムシの順となり、全餌料種の平均値は0.256であった。

(4) ブルーギルの摂餌可能な餌料サイズをブルーギル魚体重との関係で調べた結果、以下に示す上限と下限の間の範囲であった。

$$\text{(摂餌可能サイズ上限)} \quad \text{RW}_{\max} = 0.0326 * \text{BW}^{0.804}$$

$$\text{(摂餌可能サイズ下限)} \quad \text{RW}_{\min} = 0.0000231 * \text{BW}^{0.80}$$

(5) ブルーギルを水温25℃で孵化直後から210日間、十分に餌を与えて継続飼育を行い、最大成長を調べた結果、次の成長式が得られた。

$$(W \leq 2.18 \text{ g}) \quad \text{Kg} = (0.070 * D + 3.178) * 10^{-2}$$

$$(2.18 \text{ g} < W \leq 70.84 \text{ g}) \quad \text{Kg} = 8.535 * 10^{-2}$$

$$(W \geq 70.84 \text{ g}) \quad \text{Kg} = (-0.06 * D + 20.641) * 10^{-2}$$

(6) 摂餌量と成長及び餌料効率：Cの関係について調べた結果、次の関係式が得られた。ただし、摂餌量は摂餌量率、すなわち最大摂餌量に対する摂餌量の割合： r/R として、成長は成長係数： Kg として、それぞれ表した。

$$\text{Kg} = 0.1116 * r/R - 0.00176$$

$$C = 0.1375 * r/R + 0.1315$$

(7) 先に得られた水温25℃における最大成長式と水温特性に基づいて湖内水温における最大成長を求め、これと張網調査による実測値湖内成長と比較した結果、湖内ブルーギルの0+魚においては成長が遅く、1+魚においては成長が速いことがわかった。また、0+魚の成長が遅い原因として、その生息密度の高

いことによる餌料不足が考えられた。

(8) 湖内におけるブルーギル1尾当たりの捕食量を、先に求めた摂餌量率と成長の関係に基づいて湖内水温での最大成長と実測値湖内成長の割合から求めた結果、0+魚1尾がその成長期である7月から11月の間に捕食する量は9.78g/尾、1+魚1尾が4月から11月の間に捕食する量は245.74gとなった。なお、魚令2+以上の捕食量については漁獲される割合がきわめて少ないことから、省略した。

(9) 湖内全体のブルーギルによる年間捕食量は上記の各年級1尾当たり年間捕食量に各年級群の資源尾数を乗ずることにより求められるが、資源尾数についての調査結果が得られていないため、その目安の値として、ブルーギル現存量1,000tonと平均餌料効率0.127から年間総捕食量を求めた結果、7,874tonと見積もられ、さらに、胃内容調査の結果に基づいて、各餌料生物別捕食量を求めた結果、エビが4,425ton、魚類が3,299ton、イサザ、アカムシ、動物プランクトン、その他が150tonとなった。なお、ブルーギルを絶滅させたとしても、ブルーギルとの競合種資源量が復元されるものと思われるため、これら試算結果をもって直ちに漁獲量が増大するとは言えない。

引用文献

関東農政局茨城統計情報事務所 (1980) : 茨城農林水産統計 (1978-1979)

関東農政局茨城統計情報事務所 (1998) : 茨城農林水産統計 (1996-1997)

浜田篤信, 位田俊臣, 津田 勉, 狩谷貞二 (1975) : 魚類の成長解析に関する研究-I コイの最大成長, 日水誌 41(2), 147-154

熊丸敦郎 (1998) : 霞ヶ浦における主要生物の成分分析結果, 本誌No34, 91-94

Victor Sergeevitch Ivlev (1955) : 魚類の栄養生態学 (新化学文献刊行会編1965)

根本隆夫, 川崎 正, 久保田次郎 (1996) : 霞ヶ浦水系
におけるアユの生態学的研究 - I 近年のアユ分布状
況と再生産, 本誌No32, 21-35

茨城県 (1994) : 平成 5 年度外来魚現存量調査中間報告
書