

北海道産マガレイ仔魚飼育における生物餌料の摂餌と適正水温条件

佐藤 敦一^{*}, 藤岡 崇^{*}, 清水 洋平^{*}

Ingestion of live food by the larvae of Brown Sole *Pleuronectes herzensteini* at different temperatures in the Hokkaido region

Nobukazu SATOH^{*}, Takashi FUJIOKA^{*} and Yohei SHIMIZU^{*}

This experiment was conducted to evaluate the changes with the passage of time in the number of rotifer and *Artemia* nauplii ingested, the survival rate, the growth, the rate of pigmentation, and the rate of normal eye position at two different temperatures (15 and 18) of the larval brown sole *Pleuronectes herzensteini*.

The dispersion for the survival rate (51 days after hatching) of the group at 18 (group 18) was greater than that of 15 (group 15). On the other hand, the rates for normal pigmentation and eye position, there were not significantly different. The time-related changes in the number of live food ingested by larval brown sole at 18 was usually found to be less than that for group at 15. From the developmental stage D to E, the number of rotifer ingested by fish decreased, and this tendency was most remarkable in group 18.

These results show that it is more desirable to raise larval brown sole in Hokkaido region at 15 than at 18.

キーワード： マガレイ, 摂餌, 飼育水温, シオミズツボウムシ, アルテミア・ノープリウス

まえがき

道南太平洋におけるマガレイは、過去5年間(1995~1999年度)の平均漁獲量が275tと非常に低水準で推移している。このマガレイ資源を安定かつ恒常的に維持・回復させるために、現在、えりも町、静内町、三石町等の各町や漁業協同組合が主体となってマガレイ種苗生産が試みられているが、これらの機関を始めとした道内各地からマガレイの種苗生産技術改善について強い要望が出されている。

そこで、道立栽培漁業総合センター(以下道栽培センター)では、平成13年度から重点領域特別研究の1課題として、マガレイ親魚飼育、採卵、仔稚魚飼育に関する基礎的な試験を開始した。

マガレイの種苗生産においては、有眼側体色異常(白化)および眼位異常に代表される形態異常が発生しやすい特徴があり¹⁾、その技術的対策として、18もしくは20といった高水温で飼育し、なおかつ、アルテミア幼生(以下アルテミア)を仔魚期の早い段階で給餌するこ

とが、有効であると報告されている²⁾。

そこで、マガレイ種苗生産技術開発試験を行うにあたり、飼育水温を高水温(18~20)に設定し予備試験を行った。その結果、高い割合で有眼側体色正常個体が出現するものの、20日齢前後で仔魚が大量斃死するケースが見られた³⁾。

マガレイは、サハリン・千島から瀬戸内海・山陰地方に分布し⁴⁾、その産卵期が海域により異なり、その要素として海域の水温が重要であると報告されている⁵⁾。天然マガレイ仔魚期の生息水温に関する知見はほとんどみあたらないが、海域によって産卵期が異なることから、仔稚魚の生息水温も若干異なっているものと推測される。

また最近、マガレイの白化個体の出現率は低水温で飼育した場合特に高く、それらの個体の体内における甲状腺ホルモン(チロキシン T_4 、以下 T_4)の濃度の最大値が高水温で飼育された仔魚よりも高いことが明らかにされている⁶⁾。さらに、その報告の中で、白化個体率が12で飼育した場合に最も高く、この水温で飼育した仔魚個体中の T_4 濃度の最大値が最も高くなると述べている。

北海道産マガレイ仔魚をどの水温帯で飼育するのが適切かを考えた場合、¹² 以下の低水温で飼育することは、有眼側体色異常出現の点からマガレイ種苗生産を行う上で不利と思われた。

道南太平洋域におけるマガレイの産卵盛期は、成熟度別平均 GSI の日別推移から 6 月上旬～7 月上旬と推定されている⁷⁾。また、噴火湾内でもマガレイ漁獲量の多い苫小牧産マガレイは、6 月上旬あたりから 7 月にかけて産卵することが自然産卵法による飼育試験で確かめられている³⁾。マガレイ仔魚は、15 で飼育した場合、受精後約 3 日でふ化することから、6 月上旬～7 月の水温帯に仔魚期の生息水温帯が重なっていると推測される。道南の南茅部町にある北方生物圏フィールド科学センター白尻水産実験所による地先沿岸観測月表中の 0 m における定点観測の 6 月上旬から下旬にかけての水温は、14.3～14.8 であった。さらに、北海道えりも町で種苗生産が試みられているマガレイ仔魚期の水温を調査すると約 15 であった。これらのことから、15 でも北海道産マガレイの飼育は十分可能であろうと推測された。

そこで 18 と 15 の 2 飼育水温区を設け、生残率、成長速度、有眼側体色正常率、眼位正常率を比較した。また同時に、両区における仔魚の消化管内生物餌料数の経時変化を調べ、北海道産マガレイ仔魚の飼育水温として 18 と 15 のどちらが適正なのかについて検討したので報告する。

材料および方法

試験に用いた仔魚は、えりも町で漁獲された天然親魚から自然産卵法により採卵した受精卵を 200L アルテミアふ化槽で卵管理 (15) して得られた 3 日齢のマガレイ仔魚である。試験水槽には、500L パンライト水槽を使用し、試験区は、15 群、18 群の 2 群を設定し、各群 2 水槽とした。各水槽の仔魚の収容密度は、1 水槽あたり 20,000 尾とした。

海水にはろ過海水を使用した。換水率は、1 換水/日から開始し、成長するにつれ換水率を高め、17～51 日齢で 3 換水/日とした。各群の試験期間中の水温は、15 群 (15.3±0.3 , 平均値±標準偏差), 18 群 (18.0±0.5) であった。

給餌は、1 日 2 回 (午前 9 時、午後 4 時) とし、ワムシ (シオミズツボワムシ、以下ワムシ)、アルテミア、配合飼料の餌料系列で行った。両群ともワムシは、3 日齢～35 日齢、アルテミアは 16 日齢～51 日齢まで給餌した。また、40 日齢以降からは配合飼料 (SF-3 号、富士製粉㈱

製) を併用給餌した。給餌密度は、両群間で同一とした。ワムシの栄養強化剤には、スーパー V12 (クロレラ工業㈱製) を用い、アルテミアの栄養強化剤には、スーパーカプセル (同社製) を用いた。

測定は、3, 10, 15, 22, 30 および 51 日齢で行った。測定項目は、体長、体高とし、発育ステージもあわせて調査した。

発育ステージは、有瀧らによるマガレイの発育ステージ区分に従った (有瀧ら、投稿中)。区分の詳細は、C ステージ (開口期上屈前仔魚)、D ステージ (上屈前仔魚)、E ステージ (上屈仔魚)、F ステージ (変態直前期上屈後仔魚)、G ステージ (変態前期上屈後仔魚) である。

これらの 5 ステージにより 3～30 日齢におけるマガレイ仔魚発育ステージを区分した。

測定終了後、10%ホルマリン溶液で固定し、発育ステージ別の消化管内ワムシおよびアルテミア数の解析用サンプルとした。

各群のマガレイ仔魚 1 尾あたりの消化管内ワムシ及びアルテミア数を計数する時は、森らによるヒラメ仔魚期の消化管内ワムシ個体数調査手法に従い⁸⁾、実体顕微鏡下で消化管内ワムシおよびアルテミア個体数を直接計数した。また、同一日齢内における発育ステージのばらつきを考慮し、発育ステージごとに分類したのち解析した。

仔魚の大量斃死が起こらない 10 日齢、それが生じやすい 22 日齢では、日内における給餌後の消化管内ワムシおよびアルテミア数の経時変化を把握するため、給餌前、給餌 3 時間後、給餌 6 時間後で各群の仔魚を 20 尾ずつサンプリングした。さらに、これらの日齢では仔魚空胃個体の割合 (仔魚空胃個体率) を調べた。その際、仔魚の消化管内にワムシ卵のみが含まれている場合は空胃とした。

10, 22 日齢以外の 15, 30 日齢は、給餌 3 時間後のみサンプリングした。

試験終了時には、各群の稚魚をサンプリングし、生残率、有眼側体色正常率、眼位正常率を調べた。

結 果

1. 仔魚の体長と体高の推移

各群における仔魚の 51 日齢までの体長と体高の推移を比較すると、体長では 10 日齢以降から差が生じ始め (t 検定, 有意水準 1%), 51 日齢では 18 群が 15 群よりも 2 mm 大きくなった (Fig. 1)。体高では、10 日齢では差がないものの、15 日齢以降から差が生じはじめ (t 検定, 有意水準 5%) 22 日齢以降その差が大きくなり (t 検定, 有意水準 1%), 51 日齢では 18 群が 15 群よりも 0.8 mm 大きくなった (Fig. 1)。

2. 各群における仔魚の発育ステージの推移

10日齢では、両群ともにCステージで差が見られないものの、15日齢以降から同一日齢内における発育ステージ組成に差が生じ、22日齢でその差が顕著となり、以降15群よりも18群の方が早くGステージに移行する傾向が見られた (Fig 2)。

3. 各群における仔魚の生残率、有眼側体色および眼位正常率

各群の51日齢における生残率は、群間のばらつきが異なることを考慮すると有意差が検出されないものの (t検定, 有意水準5%), 15群67.2%, 18群41.0%と、15群のほうが若干高い傾向を示した (Table 1)。一方、体色正常率は、両群とも80%以上と高く、眼位正常率も両群とも80%以上となり、差が認められなかった (t検定, 有意水準5%) (Table 1)。

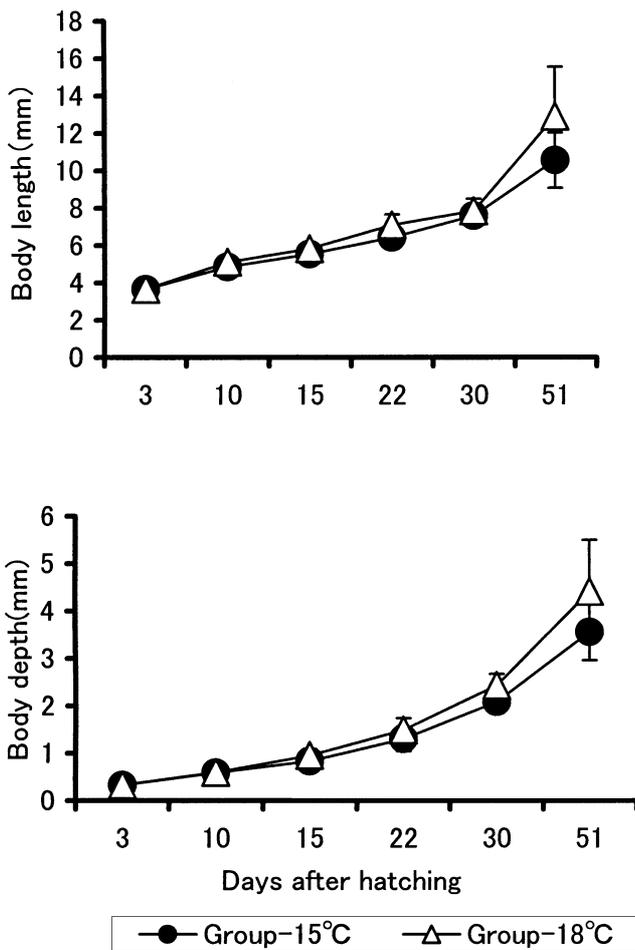


Fig.1 Growth curves of larvae and early juveniles in brown sole *Pleuronectes herzensteini*. Symbols and vertical bars represent means and SD.

4. 各群のマガレイ仔魚消化管内ワムシおよびアルテミア個体数の成長に伴う経時変化

18群は、CからDステージにかけて急激に消化管内ワムシ個体数が12.7(個体/尾)から33.6(個体/尾)と多くなった (t検定, 有意水準1%)。その増加傾向は、15群より顕著であった。しかし、DからEステージにかけて15群、18群とも減少したが、特に18群の方が消化管内ワムシ個体数33.6(個体/尾)から5.5(個体/尾)と急減し、Eステージ以降は常に15群よりも少なかった (t検定, 有意水準1%) (Fig 3, Table 2)。

16日齢から給餌開始したアルテミアに関しては、18群の消化管内アルテミア個体数は、Eステージの段階で、5.9(個体/尾)と15群の15.5(個体/尾)より少なかった (t検定, 有意水準1%)。Fステージで15群と同じとなり (t検定, 有意水準1%)、Gステージでは、15群の2倍の46.6(個体/尾)となった (Fig 3)。

また、両群ともDからEステージにかけて消化管内ワムシ個体数が減少するにともない、消化管内アルテミア個体数が緩やかに増加したが、18群が2.0(個体/尾)から5.9(個体/尾)、15群が4.0(個体/尾)から15.5(個体/尾)と18群の方が消化管内アルテミア個体数の増加率が低かった (Fig 3, Table 2)。

Table 1 Survival rate, rate of normal pigmentation and rate of normal eye position

Experimental lot no.	Survival rate (%)	Rate of normal pigmentation (%)	Rate of normal eye position (%)
Group -15°C	67.2 ^{a*} (59.7, 74.6)	84.0 ^b (82.5, 85.5)	90.8 ^c (91.0, 90.5)
Group -18°C	41.0 ^a (25.0, 56.9)	88.3 ^b (84.5, 92.0)	86.3 ^c (84.5, 88.0)

*Values having the same superscripts in the same column are not significantly different (p<0.05).

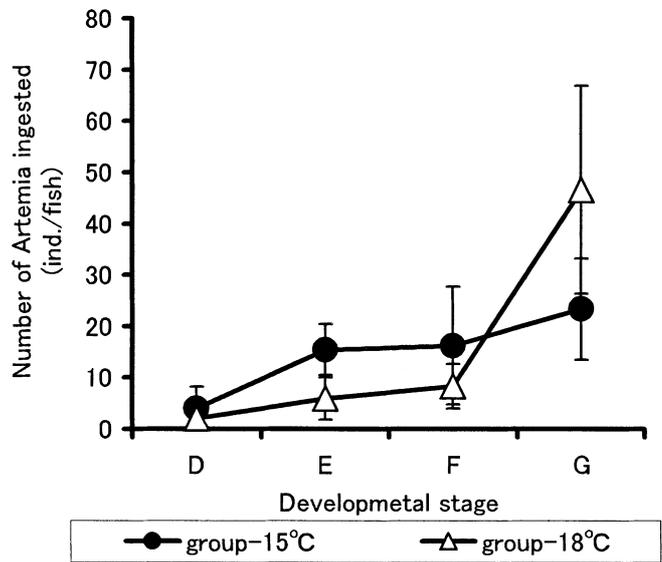
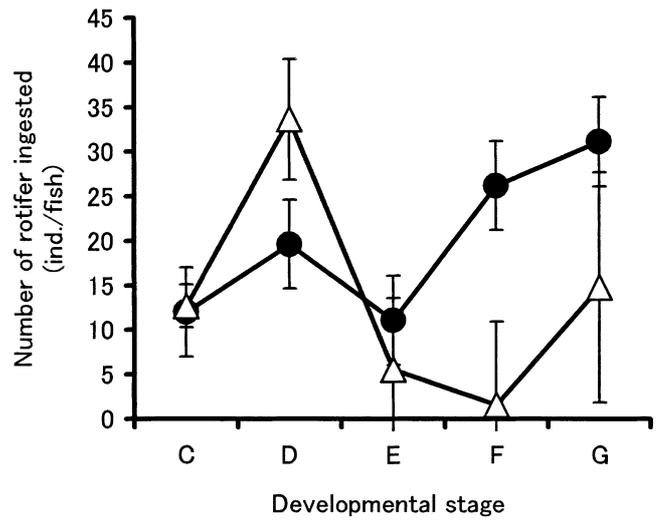
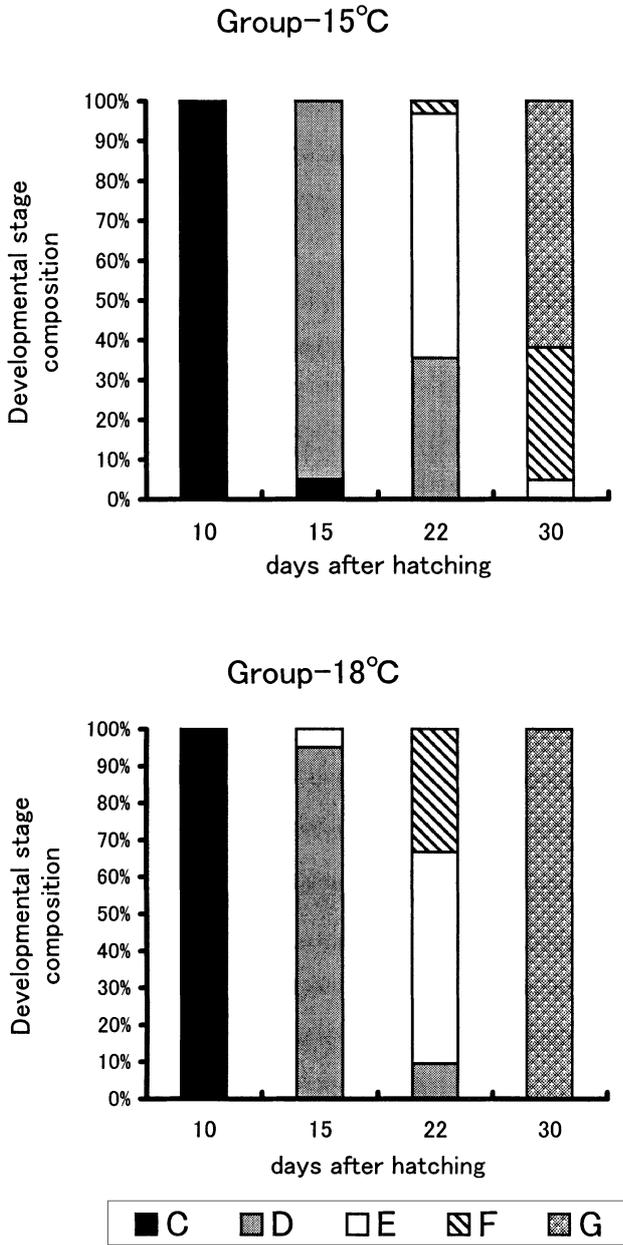


Fig.2 Developmental stage composition of larvae in brown sole. Each developmental stage (C ~ G) was modified from Aritaki et al.

Fig.3 Changes in the number of rotifer and Artemia ingested by larval brown sole under water temperature conditions of 15 or 18. Symbols and vertical bars represent means and SD.

Table 2 Number of rotifer and Artemia ingested in one larva in each of the developmental stages.

Group-15°C			
Stage	Number of rotifer ingested by one fish	Number of <i>Artemia</i> ingested by one fish	total number of experimental fish
C	12.0±2.4*1	-	20
D	19.6±6.8	4.0±4.2	27
E	11.1±6.8	15.5±5.0	13
F	26.2±9.4	16.3±11.5	8
G	31.2±12.9	23.4±9.9	13
Group-18°C			
Stage	Number of rotifer ingested by one fish	Number of <i>Artemia</i> ingested by one fish	total number of experimental fish
C	12.7±2.3	-	20
D	33.6±12.8	2.0±0.87	21
E	5.5±7.9	5.9±4.1	13
F	1.6±1.8	8.3±4.3	7
G	14.8±12.2	46.6±20.2	21

*1 Mean ± SD

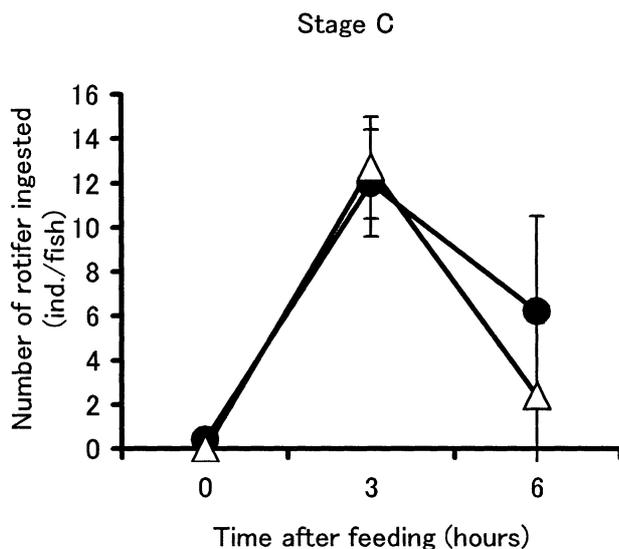


Fig.4 Changes in the number of rotifer ingested by larval brown sole under the water temperature conditions of 15 or 18 at 10 DAH. (10 DAH mean 10 days after hatching) Symbols and vertical bars represent means and SD.

5. 各群の10日齢, 22日齢における給餌後のマガレイ仔魚1尾当たりの消化管内ワムシ個体数経時変化
10日齢では, 両群とも発育ステージが全てCステージ

であったものの (Fig 2), 22日齢では, 両群においてD~Fステージと発育ステージがばらつきを示したため (Fig 2), 各群においてステージごとに消化管内ワムシ個体数を解析した。なお, 15群でFステージに相当する個体は1個体のみで18群との比較は行うことができなかった。

10日齢 (Cステージ) における消化管内ワムシ個体数は, 給餌前から給餌3時間後までに両群とも増加し, 給餌3時間後から6時間後にかけて減少した。また, 18群の方が15群より給餌後3時間から6時間にかけての消化管内ワムシ個体数の減少割合が高い傾向が見られた (Fig 4)。

次に, 22日齢についてみると, Dステージでは, 両群とも給餌前から給餌6時間後まで増加したが, 18群は15群と比べて増加傾向が緩慢であった (Fig 5)。

Eステージでは, 15群はDステージと同様に10.4 (個体/尾, 平均値) から14.3 (個体/尾, 平均値) と上昇したが, 18群は, 給餌3時間後に4.2 (個体/尾, 平均値) と15群より少なく, 給餌6時間後の時点で4.3 (個体/尾, 平均値) と増加しないまま推移した (Fig 5)。

6. 各群の10日齢, 22日齢における給餌後のマガレイ仔魚1尾当たりの消化管内アルテミア個体数経時変化
消化管内ワムシ個体数と同様の手法で各群においてステージごとにアルテミア個体数を解析した。

D, Eステージにおいて両群とも給餌3時間後まで増加した後, 給餌後6時間にかけて減少したが, 18群は15群と比べて給餌3時間後の個体数が約半分ないし半分以下であり, 6時間後も15群より少なくなった (Fig 6)。

18群では, 22日齢においてFステージが33.3%の割合を占めた (Fig 2), この発達ステージで消化管内アルテミア個体数が給餌3時間後まで増加し, 6時間後まで減少せずに個体数が維持される傾向が見られた (Fig 6)。

7. 発育ステージ別仔魚空胃個体率

両群における各発育ステージの仔魚サンプル数ならびに各発育ステージの仔魚空胃個体率をTable 3に示した。

Cステージでは, 給餌3時間後で, 両群とも差は認められなかったが, 給餌0, 6時間後で18群が15群より高かった (Table 3)。Dステージでは, 18群は給餌3時間後から6時間後にかけて増加したが, 15群は変わらなかった。また, 給餌前では, 18群の方がより低かった (Table 3)。Eステージでは, 給餌前では18群が15群より若干低かったが, 給餌3時間後から6時間後にかけて増加した (Table 3)。Fステージでは, 給餌3時間後から6時間後にかけて変わらなかった (Table 3)。

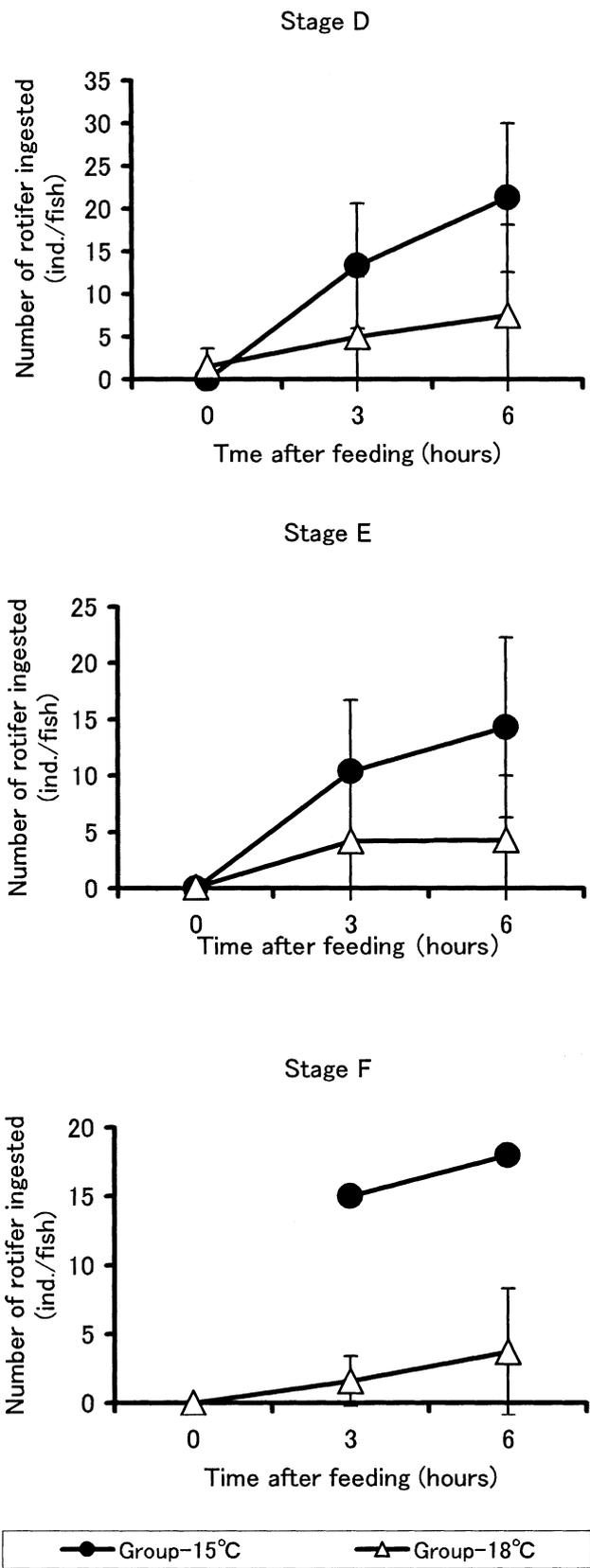


Fig.5 Changes in the number of rotifer ingested by larval brown sole under water temperature conditions of 15 or 18 (22 DAH). Symbols and vertical bars represent means and SD.

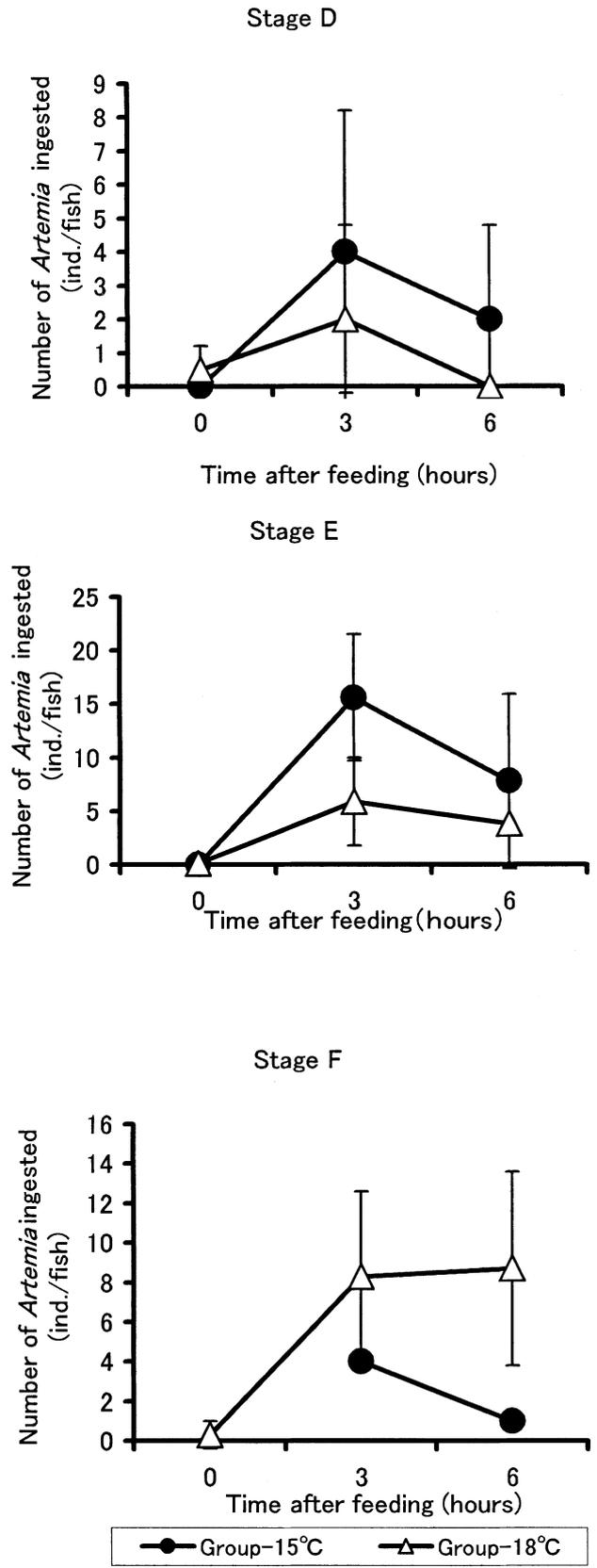


Fig.6 Changes in the number of Artemia ingested by larval brown sole under water temperature conditions of 15 or 18 (22 DAH). Symbols and vertical bars represent means and SD.

Table 3 Total number of examined fish (TN) and the rate of empty gut (EG) in each of time after feeding under Group-15 or Group-18

Stage	Time after feeding (hours)											
	0				3				6			
	Group-15°C		Group-18°C		Group-15°C		Group-18°C		Group-15°C		Group-18°C	
	TN	EG(%)	TN	EG(%)	TN	EG(%)	TN	EG(%)	TN	EG(%)	TN	EG(%)
C	20	65	20	100	20	0	20	0	20	0	21	38
D	10	100	2	50	10	0	2	0	4	0	2	50
E	10	100	12	92	12	0	12	0	13	0	13	23
F	0	100	7	100	1	(0)	7	0	1	(0)	6	0

考 察

石川県産のマガレイ親魚を用いた高水温飼育, 早期アルテミア給餌によるマガレイ形態異常防除に関する知見²⁾では, 水温21 以上に設定すると生残率が安定しないと述べている。本試験では, この知見中で推奨されている18 で飼育した場合, 生残率が15 群と比較し, ばらつきが大きくなった (Table 1)。このことから, 北海道産マガレイ仔魚に対する18 という温度帯は石川県産マガレイ仔魚に対する21 という温度帯と同じく, マガレイ仔魚にとって限界と感知しはじめる高水温帯であると考えられた。

体色正常率については, 18 群と15 群とで有意差は認められないものの, 若干18 群の方が高い傾向が見られた (Table 1)。北海道産マガレイ仔魚も既報²⁾の通り, 高水温飼育による有眼側体色異常防除効果が認められ, 15 よりも低い水温で飼育すると有眼側体色異常率が高くなると思われる。今後, 北海道産マガレイにおける有眼側体色発現の機構を検討する上で, 最も体色異常の起こりやすい限界低水温について検討が必要である。

本試験では飼育水温15 と18 での仔魚の摂餌に関して, 消化管内ワムシ個体数とアルテミア個体数の経時変化を比較した。まず, 各成長段階における消化管内ワムシおよびアルテミア個体数では, 18 群は, D ~ E ステージにかけて15 群よりも消化管内ワムシ個体数が急減したにも関わらず, D ~ E ステージにかけての消化管内アルテミア個体数の増加率が15 群より低かった (Fig 3)。

10日齢 (C ステージ) における給餌後の経時変化では, 18 群の消化管内ワムシ個体数は, 給餌3 時間後までは15 群と同様に増加するが, その後6 時間後までの減少傾向が15 群より大きかった (Fig 4)。

22日齢での給餌後の経時変化でも, 消化管内ワムシおよびアルテミア個体数では, D, E ステージにおいて18 群は, 15 群よりも明らかに少ない傾向が見られた

(Fig. 5, 6)。

さらに, 10日齢 (C ステージ) での給餌6 時間後, 22日齢 (D, E ステージ) における給餌6 時間後で18 群の仔魚空胃個体率が15 群より高かった (Table 3)。また, 結果には示さなかったが, 消化管内生物餌料の計数時に行った観察では, 18 群の方が消化管内の餌料充満度のばらつきがより大きい傾向が見られた。これらは, 18 群の摂餌量がより少なかったことを示唆しており, これが15 群より生残率のばらつきが大きくなった一因と考えられる。

また, D から E ステージにかけてワムシからアルテミアへの切り替えが徐々に行われる過程で仔魚が生残するには, 仔魚の摂取したアルテミア個体数が消化管内ワムシ個体数の減少分を補い, なおかつ仔魚の生残にとって必要な量の餌料を摂取する必要があると思われる。18 群は, 消化管内アルテミア個体数の増加割合が, 15 群より緩やかである点でアルテミアにより餌料の必要摂取量を充足できる可能性が15 群より低く, このことも生残率に影響していると推測された。今後, マガレイ仔魚に対するワムシおよびアルテミアの餌料価値並びに両者の併用時期における仔魚への影響も検討する必要がある。

なお, 消化管内の生物餌料個体数は, 消化速度にも影響される。本試験では消化速度は求められなかったが, 消化速度は水温に影響されることが知られており⁹⁾, 今後の検討が必要である。また, マガレイの摂餌機構を把握するとともに北海道産マガレイ仔魚の摂餌が不能となる限界温度についても詳細な検討が必要である。

要 約

15 と18 で飼育した場合におけるマガレイ仔魚の消化管内ワムシおよびアルテミア個体数の経時変化を比較し, さらに2 水温帯それぞれの仔魚の生残率, 有眼側体色および眼位正常率, 成長速度を比較検討し, 北海道

産マガレイ仔魚期の適正な飼育水温を把握することを目的として飼育試験を行った。

1. 18 群は, 15 群と比較し, 15日齡以降成長が早くなり, 22日齡以降その成長差が顕著になり, 有眼側体色および眼位正常率は変わらないものの, 生残率のばらつきが大きかった。
2. 18 群における発育ステージ別の消化管内ワムシ個体数の経時変化は, DからEステージにかけて15群より急減し, 以降15 群より低いレベルで推移した。
3. 18 群における発育ステージ別の消化管内アルテミア個体数の経時変化は, EからFステージまで15群より低いレベルで推移した。
4. 大量減耗の危険性が高い22日齡における給餌後の消化管内ワムシ個体数およびアルテミア個体数の経時変化でも, 18 群が15 群より低いレベルで推移した。
5. これらのことから, 北海道産マガレイ仔魚期の飼育水温は, 18 よりも15 の方が望ましいと判断された。

謝 辞

本試験を行うにあたり, 採卵用親魚の搬入等にご協力いただいたえりも町役場水産課の三戸係長ならびに芳賀技師, 南茅部町白尻地先の沿岸水温データの提供をいただいた北方生物圏フィールド科学センター白尻実験所の野村氏に深謝いたします。また, 本論文の御校閲をして頂いた東京水産大学水族養殖学講座の竹内俊郎教授に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 長倉義智, 有瀧真人: マガレイの形態異常魚の種苗性について. 日本海ブロック試験研究集録. 水産庁 日本海区水産研究所, (19), 37-43 (1990)
- 2) 有瀧真人, 青海忠久, 小林真人: マガレイ仔魚の高水温飼育とアルテミア幼生早期給餌による形態異常の出現防除. 日水誌. 62(6), 857-864 (1996)
- 3) 佐藤敦一, 杉本卓: 栽培漁業技術開発試験研究マガレイ種苗生産技術開発. 北海道立栽培漁業総合センター事業報告書. 12-13 (2001)
- 4) 尼岡邦夫, 仲谷一宏: 北日本魚類大図鑑. 北海道, 北日本海洋センター, 1997, 314.
- 5) 南 卓志: 北海道沿岸におけるカレイ亜科魚類の産卵期について (総説). 北水研報告, 59, 69-80(1995)
- 6) 堀田又浩, 有瀧真人, 田川正朋, 田中 克: 水温を変えて飼育したマガレイの変態期における甲状腺ホルモンの動態 (短報). 日水誌. 67(6), 1120-1121 (2001)
- 7) 三原行雄, 上田吉幸: 漁業資源に関する調査研究 マガレイ. 北海道立函館水産試験場事業報告書. 4-7 (1999)
- 8) 森立成, 草刈宗晴, 三浦宏紀, 斉藤節雄, 中島幹二: ヒラメ仔魚期のワムシとアルテミアの給餌量について. 北水試研報 34, 9-20 (1990)
- 9) 竹内俊郎: “3 消化と栄養”. 魚類生理学. 東京, 恒星社厚生閣, 1991, 67-101.