

低水温下におけるワカサギ *Hypomesus nipponensis* 仔魚の飼育方法およびシオミズツボワムシに対する摂餌サイズ

山崎哲也*, 佐藤敦一, 高畠信一

北海道立総合研究機構栽培水産試験場

Rearing larval Japanese smelt *Hypomesus nipponensis* fed cultured rotifer *Brachionus plicatilis* in low temperature and food size

TETSUYA YAMAZAKI*, NOBUKAZU SATO and SHINICHI TAKABATAKE

Mariculture Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Muroran, Hokkaido 051-0013, Japan

The activity and feeding size of L-type rotifers on Japanese smelt larvae were investigated under low-temperature and salinity conditions. Additionally, the rearing methods of Japanese smelt at low temperatures (approximately 10°C) were compared between running and stagnant water trials. The long-term activity of the rotifers was confirmed in a culture test at a salinity of 1 PSU. Larvae of hatching after 1 d fed rotifers whose sizes were 194 µm in average lorica length (range 107–265 µm) and average lorica width 128 µm (range 93–156 µm). The survival rate of larvae in the stagnant-water trial (46.0%) was higher than that in the running-water trial (20.6%). These results suggested that high rotifer activity contributes to the high survival rates of larvae in stagnant water-rearing systems.

キーワード：シオミズツボワムシ, 仔魚, 低水温, ワカサギ

ワカサギ *Hypomesus nipponensis* は、人為的に導入された湖沼を含め沖縄県を除く日本各地に分布し（浜田, 1980）、冬期に結氷する網走湖や大沼など北海道各地にも生息する冷水魚である（落合・田中, 1986）。本種は漁業のみならず遊漁としても利用され、産業価値が高い。しかし、漁獲量は1957年の7,341 tをピークに減少を続け、2022年には過去最低の675 tまで低迷した（農林水産省内水面漁業生産統計調査, https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/naisui_gyosei/, 2024年11月13日）。そのため、全国各地で資源の増大および安定化を目的としたふ化仔魚放流が実施されており（井塚, 2005；橘川ら, 2006）、これに用いる卵の多くを北海道から入手している。主な種卵の供給地である網走湖のワカサギは全国各地の湖沼への種卵供給源として重要な役割をはたしている（隼野ら, 2016）。一方で、北海道においても漁獲量は減少傾向にあり、それに伴い、卵の供給量も減り（網走水産試験場, 2020）、全国各地で種卵の入手が難しくなっている。

ワカサギの産卵盛期は、西日本で2月中旬、中部日本で2月上旬から3月下旬、東北地方で3月下旬から4月上旬、北海道で5月から6月である（落合・田中, 1986）。卵のふ化適温は6.0～17.5°Cと広く、ふ化日までに要する日数は水温に依存し概ね11～38日である（稲葉, 1967）。ふ化直後から仔魚は摂餌をはじめ、3週間後まで約90～290 µmの動物プランクトンを摂餌する（堀・位田, 1977）ことが報告されている。この時期における初期餌料の多寡が資源量に大きく関与し（浅見, 2004）、特にふ化後約2週間の減耗が大きい（熊丸, 2003）。この初期減耗を回避するため、これまでに、汽水環境で止水（岩井・田中, 1989）および閉鎖循環式飼育（小林ら, 1999, 2000；増田・宮本, 2020；Masuda *et al.*, 2023）などで仔魚の飼育技術開発が行われてきた。また、これら事例の飼育水温は14～26°Cと高く、ワカサギ資源が多くふ化時期の水温が低い北日本で飼育する場合、飼育水温を加温する必要があり、加温コストがかかることや閉鎖循環式飼育を用いる場合、設備コストが

かかるなどの課題がある。

ワカサギ仔魚の飼育には、多くの海産魚および淡水魚の仔魚同様に、初期餌料として汽水性であるシオミズツボワムシ *Brachionus plicatilis* sp. complex (以下、ワムシ) が用いられた (小林ら, 1999, 2000; 新井・松原, 2001; 増田・宮本, 2020; Masuda *et al.*, 2023 など)。ワムシはサイズが異なる SS 型, S 型, L 型があり、それぞれの培養最適水温は 35°C, 30°C, 20~25°C である (伊藤ら, 1981; Hagiwara *et al.*, 1995)。この中でも L 型は 16°C 以下でも増殖が可能であり、低水温に適応している (伊藤ら, 1981)。産卵期が 4~6 月と最も遅い北海道において本種の仔魚を飼育する場合、飼育水に用いる湖水や河川水等の水温は低く、ワムシの培養水温との差が生まれ、この差が給餌後のワムシの活力 (遊泳力) を低下させる (Fielder *et al.*, 2000)。同じキュウリウオ科のアカ *Plecoglossus altivelis* は、活力が低下したワムシよりも活力の高いワムシへの積極的な摂餌行動を示し (山本, 2008)、摂餌活動にはワムシの活性が重要であると考えられる。

ワカサギ仔魚は低水温に加え、淡水あるいは人工海水を加えた低塩分で飼育される。低水温で培養可能な L 型は、自然海水と同程度の塩分 34 よりも 7~20 で増殖率が高くなることが報告されている (小磯・日野, 2001)。しかし、ワカサギ仔魚の飼育を行う、より低塩分環境におけるワムシの活性については不明である。以上から、ワムシの培養水温とワカサギの飼育水温を近づけ、低塩分においても活力が高いワムシを用いることで、仔魚の生残率を向上できる可能性がある。

ワカサギ仔魚は小型のワムシに対し高い選択性が認められ (井塚, 2005)、生物餌料として SS 型 (増田・宮本, 2020; Masuda *et al.*, 2023) あるいは S 型ワムシ (井塚, 2005) が用いられた。しかし、これらワムシは 15°C で減耗がみられ (小磯ら, 2013)、低水温での培養には不適である。そのため、低水温で培養が可能な L 型ワムシを用いたワカサギ仔魚の飼育技術の開発は仔魚の飼育成績の向上のみならず飼育にかかるコストの低減に寄与すると考えられる。一方で、L 型ワムシは SS 型および S 型よりも大きく、L 型に対する摂餌選択性は不明である。

本研究では、飼育するワカサギ仔魚の餌料としての有用性を評価するため、低水温、低塩分環境下における L 型ワムシの活力を調べた。また、低水温下におけるワカサギ生産技術開発のため、L 型ワムシを用いて仔魚の摂餌サイズを選択性を調べ、低水温環境におけるワカサギ仔魚の飼育方法、特に掛け流し飼育および止水飼育について比較した。

試料及び方法

ワムシの培養 北海道立総合研究機構栽培水産試験場 (以下、栽培水試) において、水温 20°C で継代培養している L 型ワムシを、2020 年 4 月 2 日に北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場 (以下、さけます内水試) に移送した。移送後は生クロレラ (スーパー V12, クロレラ工業株式会社) を給餌し、水温 18°C から 14°C まで徐々に水温を低くした。2020 年 5 月 1 日以降は水温 14°C、塩分 10.9~17.2 で培養し、以下の試験すべてに供した。

ワムシの培養可能な低塩分濃度の比較試験 14°C で培養したワムシを本試験に使用した。試験区は淡水で培養水を 10 倍希釈 (10 倍 1 PSU 区) および 100 倍希釈 (100 倍 0.1 PSU 区) した 2 区を設けた。各試験区は 50 mL の細胞培養フラスコ (Falcon 社製, γ 線滅菌済) を 3 個用い、Table 1 に示した溶液にワムシを含む培養水 (以下、試料) を計 50 mL になるよう加えた。希釈前における培養水の塩分は 10 倍 1 PSU 区および 100 倍 0.1 PSU 区それぞれ塩分 15.3 および 14.8 であり、希釈後の塩分はそれぞれ 1 および 0.1 に調整した。試料を入れた細胞培養フラスコを、9°C に設定したインキュベーター (MIR-151, 三洋電機株式会社製) 内に設置した振とう機 (SK-L180-E, DLAB 社製, 回転数 60 rpm) の上に置いた。細胞培養フラスコに培養水を入れた直後から 1 日に 1 回、試料を 1 mL 取り、実体顕微鏡でワムシの生存個体数および抱卵個体数を計数した。また活力の指標として遊泳の有無を観察した。遊泳している個体数が 2 日連続 0 となった時点で実験を終了し、全滅日は同 2 日間のうち、1 日目とした。

ワカサギ仔魚のワムシサイズに対する摂餌選択性 ワカサギ卵は 2020 年 4 月 23 日に洞爺湖漁業協同組合 (壮瞥町) で入手し、さけます内水試に移送した。卵管理水槽は 30 L 円形水槽を使用し、淡水の止水環境で管理した。ウォーターバス方式で水温を約 10°C に管理し、ふ化した仔魚を供試魚とした。仔魚は卵管理水槽から 8 L の角型水槽 (実水量 5 L) に 300 個体収容し、飼育期間は 2020 年 5 月 19 日から 6 月 9 日とした。ウォーターバス

Table 1 Breakdown of cultured solution for culturing rotifer experiment under low temperature and low salinity conditions

Trials	Solution (mL)		Chlorella (mL)	Sample* (mL)	Salinity (PSU)
×10 (1 PSU)	DW	44.8	0.2	5	1
×100 (0.1 PSU)	DW	49.3	0.2	0.5	0.1

DW; distilled water

*; Culture solution including rotifers

方式で水温を約 14℃ (13.8 ~ 14.3℃) に管理した。通気は仔魚の遊泳を妨げないよう、弱通気とした。餌料はワムシを用いて、給餌前に水槽内のワムシについて生存状況を確認し、水槽内の個体数密度が 5 ~ 30 個体/mL になるよう給餌した。試験期間中は、仔魚投入直前、1 ~ 3 日後、5 日後、6 日後、15 日後、17 日後、19 日後および 20 日後の計 10 日給餌した。収容から 1 日後、4 日後、10 日後、21 日後 (以下、Day 1, Day 4, Day 10, Day 21) に仔魚および飼育水中のワムシを無作為に抽出し、仔魚の脊索長、ワムシの背甲長および背甲幅を測定した。仔魚はサンプリング後直ちに万能投影機で投影し、脊索長を測定した。その後、光学顕微鏡を用いて、虎尾 (2010) に従い発育ステージを識別した。仔魚の消化管内および飼育水中のワムシの背甲長および背甲幅はイメージングソフトウェア cellSens (Olympus 社製) を用いて測定した。

仔魚の消化管内におけるワムシはすべての個体について、仔魚の消化管に対し、ワムシの長軸が平行になっている状態で観察された。そのため、背甲幅は消化管の幅に規定され、背甲長と背甲幅の関係から摂餌されたワムシの背甲幅を推定した。ワムシの背甲長と背甲幅の関係を求めるため、Day 1, Day 4, Day 10, Day 21 で測定した飼育水槽中のワムシの背甲長および背甲幅を用いて、両者の関係について回帰直線を求めた。その後、回帰直線の有意性を単回帰分析で検定した (有意水準 1%)。また、飼育日数別において仔魚に摂餌されたワムシの背甲長および背甲幅について、Shapiro-Wilk 検定で正規分布を、Bartlett 検定で項目間の等分散性を確認し、一元配置分散分析 (one-way ANOVA) を用いた。多重比較には Tukey-Kramer 法 (等分散の場合) あるいは Dunnett T3 法 (不等分散の場合) を用いて項目間の有意性を判定した。仔魚の脊索長サイズグループ別に摂餌されたワムシの背甲長および背甲幅については正規性 (Shapiro-Wilk 検定) および等分散性 (Bartlett 検定) が認められなかったため、クラスカル・ウォリス検定を用いた。多重比較にはスティーラー・ドゥワース法を用いて項目間の有意性を判定した。摂餌試験におけるサンプリング時の仔魚が摂餌したワムシおよび飼育水槽中のワムシの背甲長と背甲幅は F 検定で項目間の等分散を確認し、Student's *t* 検定を用いて有意差を確認した。

ワカサギ仔魚の止水飼育の有効性評価 ワカサギの受精卵は西網走漁業協同組合 (網走市) で入手し、2020 年 4 月 17 日にさけます内水試に移送した。到着後直ちに、30 L 円形水槽に受精卵を収容した。収容した卵は淡水止水環境で水温 14℃ に管理し、得られたふ化仔魚を供試魚とした。30 L の円形水槽 (実水量 20 L) 2 基にそれぞれ

仔魚を 1000 個体収容し、飼育期間は 2020 年 5 月 5 日から 5 月 26 日とした。試験区として注水量を 20 L/日 (1 回転/日) の淡水掛け流し (掛け流し区) と、止水 (止水区) とした 2 つを設けた。両試験水槽はウォーターパス方式により水温を約 10℃ に管理した。通気は仔魚の遊泳を妨げないよう、弱通気とした。餌料はワムシを用いて、飼育水槽内のワムシ個体数が 5 ~ 13 個体/mL になるよう 1 日に 1 回、午前 8 ~ 9 時にワムシを含む培養水を両試験水槽に投入した。実験開始 1 日後以降、給餌前に飼育水槽内におけるワムシの個体数および抱卵数を計数した。実験開始 11 日後、水槽内をゆっくりとかき混ぜ、2 L すくい上げて仔魚を計数し、容積法で生存個体数を推定した。実験終了時には、全数計数で生残率を求めた。また無作為に仔魚を抽出し、直ちに万能投影機に投影して仔魚の脊索長を測定した。その後、光学顕微鏡を用いて、虎尾 (2010) に従い発育ステージを識別した。実験終了時における飼育方法別の仔魚の脊索長を F 検定で項目間の等分散を確認し、Student's *t* 検定を用いて有意差を確認した。

結 果

ワムシの培養可能な低塩分濃度の比較試験 両試験区における個体数密度、抱卵率、遊泳率それぞれの推移を Fig. 1 に示した。投入直後の個体数密度が 34.0 ± 9.1 個体/mL であった 10 倍 1 PSU 区は、2 日後まで増加し (43.0 ± 4.5 個体/mL)、その後、減少傾向を示し、10 日後 (9.0 ± 2.9 個体/mL) に 10 個体/mL を下回った。さらに減少を続け、14 日後 (2.7 個体/mL) には 5 個体/mL を下回り、その後横ばい傾向を示した。10 倍 1 PSU 区的全滅は 22 日後、27 日後および 28 日後にそれぞれ確認した。100 倍 0.1 PSU 区は、投入直後は 7.0 ± 2.2 個体/mL だったが、1 日後に 3 試行すべて全滅した。10 倍 1 PSU 区の抱卵率は投入直後 ($3.2 \pm 1.2\%$) から 2 日後 ($22.4 \pm 10.6\%$) にかけて増加し、12 日後までは $3.2 \sim 16.7\%$ で推移した。13 日後以降は $25.0 \sim 61.1\%$ であった。投入直後の 10 倍 1 PSU 区の遊泳率は $22.7 \pm 22.7\%$ で低かったものの、翌日以降、 $50.0 \sim 100.0\%$ と向上した。

ワカサギ仔魚のワムシサイズに対する摂餌選択性 収容時における仔魚の脊索長 (±標準偏差) は 5.4 ± 0.6 mm、その後、Day 1, 2, 10, 21 でそれぞれ 5.6 ± 0.2 mm, 6.2 ± 0.4 mm, 7.5 ± 0.5 mm, 9.0 ± 0.9 mm に成長した (Fig. 2)。また発育ステージは各サンプリング日で Phase A (ふ化から卵黄吸収の完了まで) および B (卵黄吸収の完了から背鰭原基の出現直前まで) のみが観察され、Day 1 ではすべて Phase A であった。Day 4 は

Phase A および B はそれぞれ 62.5%, 32.5% であり, Day 10 は 68.8% および 31.3% であった。Day 21 はすべて Phase B であり, 飼育日数が増すについて, Phase B の割合が増加した。

Day 1, Day 4, Day 10 および Day 21 それぞれにおける飼育水中におけるワムシの背甲長および背甲幅の組成を Table 2 に示した。背甲長 (x) と背甲幅 (y) の関係式は $y = 0.399x + 50.375$ (単回帰分析, $N = 170, p < 0.01$) であった。各サンプリング日に仔魚が摂餌したワムシの背甲長および上記式で算出した推定背甲幅を Fig. 3 に示した。Day 1, 4, 10 の背甲長はそれぞれ $194 \pm 39 \mu\text{m}$ ($107 \sim 265 \mu\text{m}$), $211 \pm 24 \mu\text{m}$ ($161 \sim 252 \mu\text{m}$), $195 \pm 32 \mu\text{m}$ ($127 \sim 272 \mu\text{m}$) で日数間に有意差は認められなかった (one-way ANOVA, $p > 0.05$)。Day 21 は $240 \pm 35 \mu\text{m}$ ($177 \sim 313 \mu\text{m}$) で Day 1 と Day 10 との間に有意差が認められた (one-way ANOVA, $p < 0.01$)。また, 仔魚が摂餌したワムシの背甲長は Day 1, 4, 10 において, 背甲幅は Day 1, 4 において飼育水槽内のワムシより有意に小さく (Student's t -test, $p < 0.01$), 同種の中でも選択的により小さなワムシを食べる傾向があった。一方で, 背甲長では Day 21, 背甲幅では Day 10, 21 で有意差はな

く (Student's t -test, $p > 0.05$), 無作為に食べていた。

ワムシの推定背甲幅 (平均 $\pm$ 標準偏差 (最小 $\sim$ 最大)) は Day 1, 2, 10, 21 でそれぞれ $128 \pm 16 \mu\text{m}$ ($93 \sim 156 \mu\text{m}$), $134 \pm 10 \mu\text{m}$ ($115 \sim 151 \mu\text{m}$), $128 \pm 13 \mu\text{m}$ ($101 \sim 159 \mu\text{m}$) および $146 \pm 14 \mu\text{m}$ ($121 \sim 175 \mu\text{m}$) であった。背甲長同様に Day 21 は Day 1 および Day 10 との間に有意差が認められた (one-way ANOVA, $p < 0.01$)。また仔魚の空胃率はそれぞれ 0.0%, 25.0%, 56.3%, 0.0% であり, ワムシに対する平均摂餌個体数は 3.3 ± 1.6 個体, 1.4 ± 1.8 個体, 1.5 ± 2.3 個体, 3.7 ± 1.5 個体であった。

仔魚の脊索長を 5 以上 6 mm 未満, 6 以上 7 mm 未満, 7 以上 8 mm 未満, 8 以上 9 mm 未満, 10 以上 11 mm 未満の 5 グループに分け, 摂餌されたワムシの背甲長および推定背甲幅を Fig. 4 に示した。背甲長は脊索長 10 以上 11 mm 未満グループが最も大きく ($232 \pm 22 \mu\text{m}$), 次いで 8 以上 9 mm 未満グループであった ($227 \pm 50 \mu\text{m}$)。他の 3 グループの背甲長は $197 \sim 202 \mu\text{m}$ でほとんど差がなく, 5 グループ間に有意差はなかった (one-way ANOVA, $p > 0.05$)。推定背甲幅は各グループそれぞれ $130 \pm 15 \mu\text{m}$, $131 \pm 8 \mu\text{m}$, $129 \pm 13 \mu\text{m}$, $141 \pm 20 \mu\text{m}$ および $143 \pm 9 \mu\text{m}$ で, 背甲長同様にグループ間

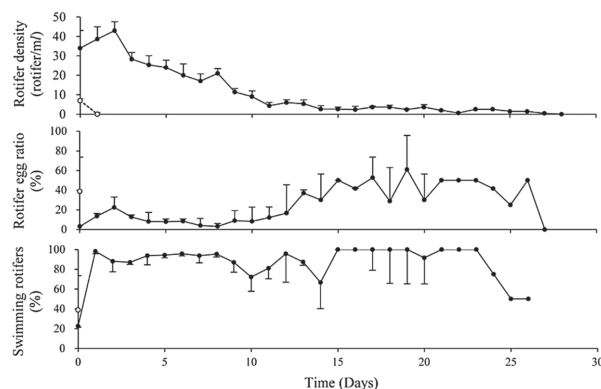


Fig.1 Changes in rotifer density, rotifer egg ratio, and swimming rotifer ratio in rotifer activity experiments. Solid circles, $\times 10$ (1 PSU) trial; Open circle, $\times 100$ (0.1 PSU) trial. Each vertical bar represents the standard deviation of the mean.

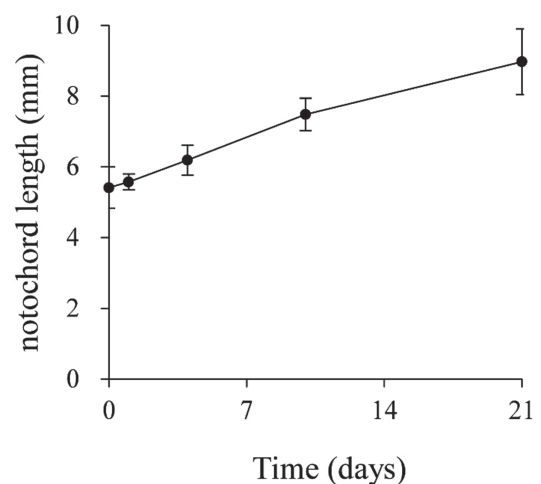


Fig.2 Changing in notochord length of Japanese smelt larvae. The vertical bar indicates the standard division of the mean ($n = 3-16$).

Table 2 Lorica size (lorica length and width) distribution of *Brachionus plicatilis* in breeding water on Days 1, 4, 10, and 21

Samling day	Day 1	Day 4	Day 10	Day 21
N	50	40	40	40
lorica length* (Min~Max))	$240 \pm 36 \mu\text{m}$ (119~348 μm)	$222 \pm 41 \mu\text{m}$ (114~315 μm)	$221 \pm 35 \mu\text{m}$ (151~310 μm)	$241 \pm 37 \mu\text{m}$ (163~305 μm)
lorica width* (Min~Max))	$144 \pm 20 \mu\text{m}$ (107~199 μm)	$143 \pm 25 \mu\text{m}$ (77~179 μm)	$136 \pm 21 \mu\text{m}$ (102~180 μm)	$148 \pm 20 \mu\text{m}$ (107~181 μm)

*, μm , Mean $\pm$ SD

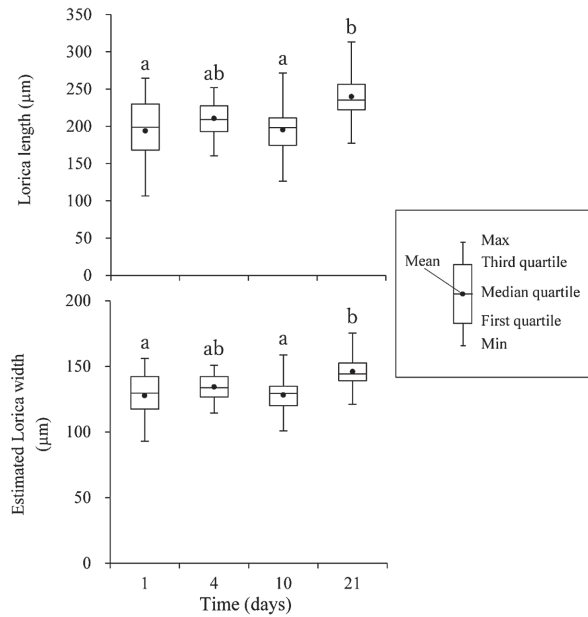


Fig. 3 Box plot of lorica size (upper: lorica length, below: estimated lorica width) of Japanese smelt fed with rotifer to compare the rearing days. Different letters over the bars indicate significant differences between the groups.

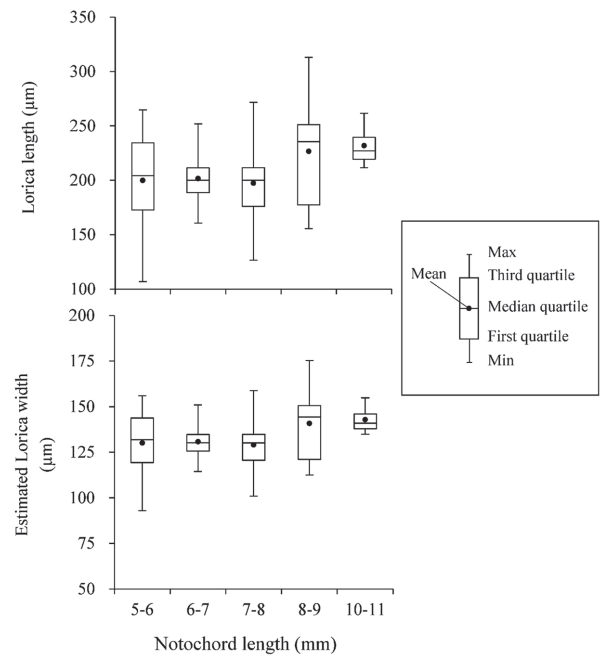


Fig. 4 Box plot of lorica size (upper: lorica length, below: estimated lorica width) in Japanese smelt in different size classes (notochord length).

に有意差はなかった (one-way ANOVA, $p > 0.05$)。

ワカサギ仔魚の飼育方法の比較 試験期間中の水温および塩分の推移を Fig. 5 に示した。掛け流し区は試験期間を通し、平均水温 10.3°C ($9.8 \sim 12.0^{\circ}\text{C}$)、塩分 0 であった。止水区の平均水温は 10.3°C ($9.5 \sim 10.9^{\circ}\text{C}$)、塩分は 11 日後まで 0.0 であったが、給餌した培養水に含まれる塩分の蓄積により、12 日後から上がり始め実験終了時には 3.1 に上昇した。

ワムシの給餌量、飼育水中のワムシ個体数密度および抱卵率を Fig. 6 に示した。掛け流し区は、3 日後に初めてワムシを確認し、0 ~ 2.7 個体 /mL であったが、抱卵個体は確認されなかった。止水区では 11 日後以降、徐々に増加し 0 ~ 70.7 個体 /mL であった。また 6 日後以降に抱卵個体を確認され、飼育期間を通して抱卵率は 0.0 ~ 66.7% であった。また飼育 16 日後、17 日後および 20 日後は前日の給餌前の個体数 (個体数 /mL) と給餌個体数を足した個体数よりも 6.0 ~ 18.0 個体 /mL 多く、飼育水槽内で増殖したと考えられる。

実験期間中の仔魚の生残率を Fig. 7 に示した。止水区の生残率は 11 日後で 59.0%、実験終了時で 46.0% であった。掛け流し区ではそれぞれ 38.0% および 20.6% で、止水区の生残率が高かった。実験終了時における脊索長は、止水区 (7.5 ± 0.8 mm) と掛け流し区 (7.4 ± 0.7 mm) で、有意差は認められなかった (Student's t -test,

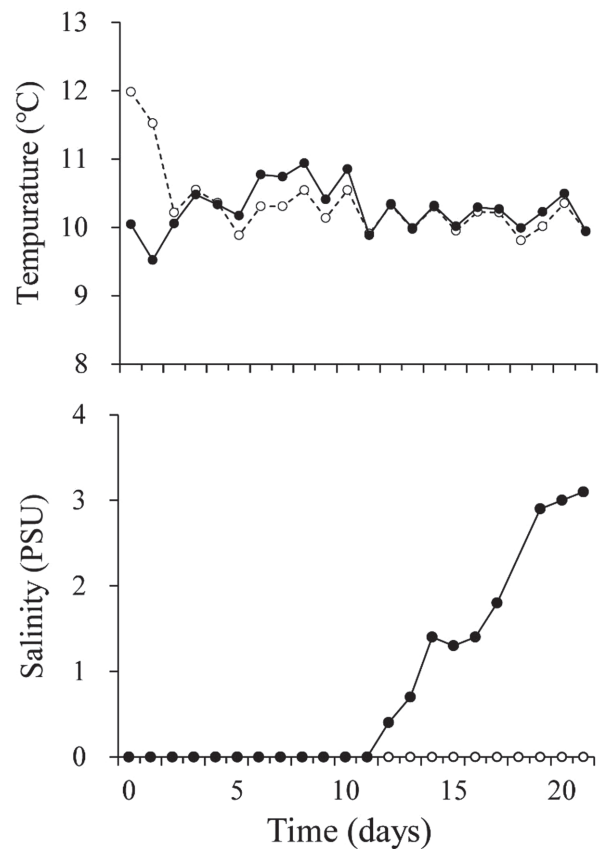


Fig. 5 Daily temperature (upper) and salinity (below) of two experimental trials (Open circle: Running water trial, Solid circle: Stagnant water trial).

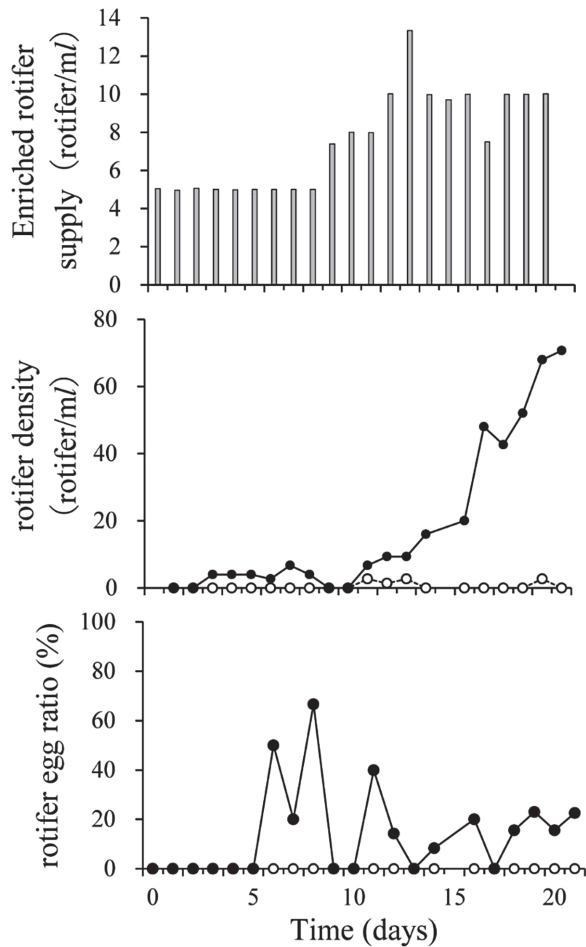


Fig.6 Enriched rotifer supply to the experiment tanks (upper) changes in rotifer density (middle), and changes in rotifer egg ratio (below) in the experiment tanks. Open circles indicate the running water trial. Solid circles indicate the stagnant water trial.

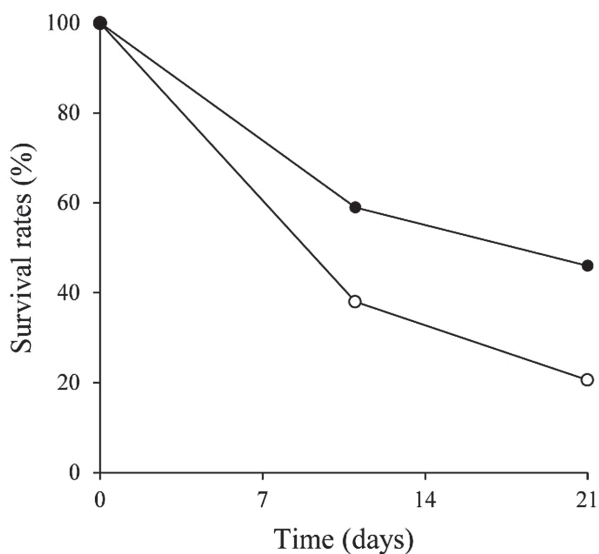


Fig.7 Survival rates of Japanese smelt larvae under different rearing methods (Open circles: flowing water; Solid circles: stagnant water).

$p > 0.05$). また実験終了時における発育ステージは、両実験区ともにすべての個体で Phase B であった。

考 察

代田 (1970) は、ワカサギは摂餌開始時に 170 μm 未満の餌料が摂餌可能であること、また井塚 (2005) はふ化後 30 日以内では背甲長 140 μm 以下のワムシを選択的に摂餌することを報告した。そのため、増田・宮本 (2020) および Masuda *et al.* (2023) は SS 型ワムシを、井塚 (2005) は S 型ワムシを餌料に用いた。本研究では、低水温での培養が可能な L 型ワムシを用いた。堀・位田 (1977) はワカサギ仔魚が摂餌した動物プランクトンの頭部が消化管の後端部に向けて一列に並んでいたことから、仔魚が摂餌可能な大きさとして体幅を用いている。本研究においても、仔魚が摂餌したワムシの長軸は消化管に対し平行して並んでいた。飼育開始翌日 (Day 1) の仔魚は背甲長が 170 μm を超えたワムシを摂餌しており、背甲幅は 156 μm 未満であったことから、ふ化後 1 日以内の仔魚は L 型ワムシのうち比較的小型の個体の摂餌が可能であった。

脊索長 5 ~ 11 mm の仔魚において、特定のサイズのワムシを選択的に摂餌する傾向はみられなかった。初期減耗が大きく、資源量の多寡に大きく関与するふ化後 2 ~ 3 週間 (熊丸, 2003; 浅見, 2004) において、仔魚の餌料サイズは体幅 90 ~ 290 μm (堀・位田, 1977) と報告されている。本研究の摂餌試験において、仔魚が摂餌した L 型ワムシの背甲長は 107 ~ 313 μm 、背甲幅は 93 ~ 175 μm であった。背甲幅は、堀・位田 (1977) が報告した摂餌サイズ範囲内になっていた。低水温条件下で 3 週間程度の飼育期間である場合、SS 型ワムシや S 型ワムシに比べ低水温耐性を持っている L 型ワムシを給餌することも可能であると考えられる。

本研究では、約 10℃ の低水温環境において止水区は、掛け流し区よりも生存率が高かった。両試験区は淡水で試験を開始し、仔魚にワムシを給餌する際に塩分を含む培養水も飼育水槽に投入された。それにより、止水区では 11 日目から塩分の増加が確認され、試験終了時には 3.1 となった。一方で、掛け流し区では 1 回転/日で淡水を注水したため、試験期間中は 0.0 であった。ワムシの個体数密度は、掛け流し区が 0.0 ~ 2.7 個体/mL であったのに対し、止水区では 0 ~ 70.7 個体/mL と多かった。止水区では塩分が増加したことによりワムシの活性が下がりやすく、給餌翌日も水槽内でワムシを確認することができたと考えられる。掛け流し区では淡水の注水により塩分が上がらなかったことによるワムシの活力低

下や、排水とともにワムシが流出したと考えられる。

止水区において給餌後に飼育水槽内でワムシの増殖が確認された。ワムシの低塩分培養試験において、10倍1 PSU区では2日後まで個体数は増加し、22～28日間の生存を確認した。1 PSUに希釈した場合、より低塩分の0.1に希釈した場合と異なり、長期間の生存および活力の維持が確認された。アユ仔魚では活発に遊泳するワムシに対し積極的な摂餌行動を示す(山本, 2008)ことが報告されている。止水区では給餌後1日経過してもワムシが生存している日数と個体数は掛け流し区よりも多く確認され、仔魚の摂餌機会が増加したと考えられる。このことから、止水飼育において、飼育水の塩分を1以上に維持することで給餌から翌日あるいは数日間、ワムシの活力を維持し、給餌回数の削減が可能であると考えられた。

本研究では、大型のワムシであるL型を用いてワカサギ仔魚を止水環境で飼育することで、かけ流し環境よりも生残率の向上およびワムシの活力維持が確認された。また低水温環境に耐性が強いL型ワムシに対する摂餌サイズを明らかにした。霞ヶ浦においてワカサギは、ふ化後2週間以内の減耗が大きいことが報告されている(熊丸, 2003)。さらに、網走湖では、初期餌料であるワムシからカイアシ類に食性が変化する時の餌生物量(カイアシ類)と初期生残に相関がみられたことが報告されている(浅見, 2004)。また、これまで行われてきたふ化仔魚放流では、ふ化直後における餌生物量とのマッチ・ミスマッチがその後のワカサギ仔魚の生残に大きく影響するとされる(宮本ら, 2016)。現在、ミスマッチを軽減するために、短期的に飼育した仔魚の放流が試験的に始まっている。今後、効率的な資源増殖に向けた放流用仔魚の適正な飼育期間および放流サイズの検討が望まれる。

謝 辞

ワカサギ卵を供して頂いた洞爺湖漁業協同組合および西網走漁業協同組合の皆様、本研究を行うにあたり北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場の浅見大樹博士、楠田聡博士および水産研究・教育機構水産技術研究所宮本幸太博士から様々な助言を頂きました。本研究は令和2年度環境収容力推定手法開発事業の一環として行った。ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

網走水産試験場. ワカサギ・シラウオ. 「平成30年度道

総研網走水産試験場事業報告書」, 網走. 2020 ; 41-45.

新井肇, 松原利光. ワカサギふ化仔魚における初期餌料試験. 群馬県水産試験場研究報告 2001 ; 7 : 55-58.

浅見大樹. 網走湖産ワカサギの初期生活に関する生態学的研究. 北海道水産試験場研究報告 2004 ; 67 : 1-79.

Fielder DS, Purser GJ, Battaglene SC. Effect of rapid changes in temperature and salinity on availability of the rotifers *Brachionus rotundiformis* and *Brachionus plicatilis*. *Aquaculture* 2000; 189: 85-99.

Hagiwara A, Kotani T, Snell TW, Assava-Aree M, Hirayama K. Morphology, reproduction, genetics, and mating behavior of small, tropical marine *Brachionus* strains (Rotifera). *J.Exp.Mar.Biol.Ecol.* 1995; 194: 25-37.

浜田啓吉. ワカサギー弱いものは強い. 「日本の淡水生物 侵略と攪乱の生態学 (川合禎次, 川那部浩哉, 水野信彦編)」東海大学出版会, 東京. 1980 ; 49-55.

隼野寛史, 佐藤一, 眞野修一. 網走湖におけるワカサギの資源監視型漁業. 「海洋と生物」生物研究社, 東京. 2016 ; 35 : 490-495.

堀直, 位田俊臣. ワカサギの人工種苗生産技術の開発に関する研究ー1 仔魚が摂餌可能な餌の大きさなどについて. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告 1977 ; 14 : 11-19.

稲葉伝三郎. ワカサギの増殖. 「淡水増殖学 (稲葉伝三郎編)」恒星社厚生閣, 東京. 1967 ; 246-253.

伊藤史郎, 坂本久, 堀正和, 平山和次. シオミズツボワムシの形態および増殖適温. 長崎大学水産学部研究報告 1981 ; 51 : 9-16

岩井寿夫, 田中秀具. ワカサギ稚仔の初期飼育について. 水産増殖 1989 ; 37 : 49-55.

井塚隆. ワカサギ. 「淡水魚 (隆島史夫, 村井衛編)」恒星社厚生閣, 東京. 2005 ; 103-113.

橘川宗彦, 大場基夫, 工藤盛徳. 粘着性除去したワカサギ卵の孵化器による孵化管理. 水産増殖 2006 ; 54 : 231-236.

小林保博, 黒沢静男, 吉沢和俱. ワカサギ飼育試験ー1. 群馬県水産試験場研究報告 1999 ; 5 : 84-86.

小林保博, 松原利光, 黒沢静男, 茂木実. ワカサギ飼育試験ーII. 群馬県水産試験場研究報告 2000 ; 6 : 59-63.

小磯雅彦, 日野明徳. 培養水の塩分がシオミズツボワムシの増殖, 培養コスト, 栄養強化に及ぼす影響. 水産増殖 2001 ; 49 : 41-46.

小磯雅彦, 手塚信弘, 榮健次. 国内の種苗生産期間で利用されている主要なシオミズボウムシ複合種6株の異なる水温と塩分での日間増殖率. 水産増殖 2013 ; 61 : 1-7.

熊丸敦郎. 霞ヶ浦における近年のワカサギ資源変動について. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告 2003 ; 38 : 1-18.

増田賢嗣, 宮本幸太. ワムシと配合飼料のみによるワカサギ初期飼育. 水産増殖 2020 ; 68 : 327-335.

Masuda Y, Miyamoto K, Sekine S. Recirculation rate of rearing water affects growth of Japanese smelt *Hypomesus nipponensis* larvae. *Fish.Sci.* 2023; 89: 53-60.

宮本幸太, 沢本良宏, 河野成実, 星河廣樹, 花里孝

幸. 温暖化影響対策からみえてきたワカサギの効率的な増殖方法. 「海洋と生物」生物研究社, 東京. 2016 ; 35 : 544-548.

落合明, 田中克. ワカサギ. 「魚類学 下 (落合明, 田中克編)」恒星社厚生閣, 東京. 1986 ; 477-488.

代田昭彦. 魚類稚仔期の口径に関する研究. 日本水産学会誌 1970 ; 36 : 353-368.

虎尾充. 網走湖産ワカサギ降海移動期の発育段階と栄養状態. 北海道立水産孵化場研究報告 2010 ; 64 : 23-27.

山本章造. 飼育実験によるアユの摂食生態を探る. 「稚魚学 多様な生理生態を探る (田中克, 田川正朋, 中山耕至編)」生物研究社, 東京. 2008 ; 167-173.