

キツネメバル仔魚の成長と生残に与える光条件および給餌開始日の影響

金田友紀*, 高島信一

北海道立総合研究機構栽培水産試験場

The influence of light and first feeding day on the growth and the survival rate of fox jacopever *Sebastes vulpes* larvae

TOMONORI KANETA* and SHINICHI TAKABATAKE

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

In order to establish the efficient production of fox jacopever *Sebastes vulpes*, we investigated the influence of light and first feeding day on the growth and survival rate of fox jacopever larvae. Fox jacopever larvae were reared for 12 days under high illuminance (1,700 lx), medium illuminance (200 lx), or low illuminance (0 lx), with first feeding day being on days 0, 3, 6, 9, or 12. The total length was measured, the rotifers in the alimentary canal were counted, and the number of dead larvae was counted every 3 days. Under high and medium illuminance conditions, the length and survival rate of the day 0 first feeding groups was greater (survival rates were 86.7% and 61.1% for high and medium illuminance conditions, respectively) than the other groups (survival rates were under 1.3%). Under low illuminance all fish died by day 9, regardless of feeding regime. The larvae could not recover from being starved until 3 days after birth. Hence, illuminance greater than 200 lx and feeding immediately after birth are necessary for the production of fox jacopever.

キーワード：PNR, キツネメバル, 給餌開始日, 生残, 成長, 光条件

キツネメバル *Sebastes vulpes* は日本海沿岸, 神奈川県以北の太平洋及び朝鮮半島の東岸から南部に分布するカサゴ目フサカサゴ科の魚類で, 沿岸の岩礁域に生息している (佐々木, 2003)。また, 大型魚は高値で取引されている水産有用種である。北海道における栽培漁業としては, 日本海の漁業協同組合で種苗生産と放流が行われ, 北海道立総合研究機構栽培水産試験場において, より効率的な放流種苗生産技術の開発が進められている (高島・川崎, 2019)。

一般に仔魚の主摂餌感覚は視覚であるとされる (川村, 1991)。清野・平野 (1978) はクロダイを例に, 光が強いほど餌生物および飼育対象仔魚が正の走光性により集まり, 仔魚の摂餌量が多くなると論じている。しかし, キツネメバルの種苗生産においては, 仔魚が気泡を誤飲してしまうエアークロウ (尾形ら, 1987; 高島, 2011) を防ぐため仔魚の収容水槽は遮光されている。また, 川辺ら (1996) は, シマアジ仔魚において開口後の絶食期間

が長期化すると, その後の摂餌率や生残率は低く, 回復しないことを報告し, その境界日をPoint of No Returnと呼んでいる (Blaxter and Hempel, 1963; Yin and Blaxter, 1986)。このように, 種苗生産における海産仔魚の初期生残には, 水槽の照度と給餌開始日が大きく影響していると考えられるが, 胎生魚であるキツネメバルにおいてはこれらが明らかになっていない。そこで, 本研究では, 効率的なキツネメバル種苗生産技術の確立を目的として, 仔魚飼育における適切な光条件及び給餌開始日を明らかにした。

材料と方法

飼育条件 窓を遮光幕で覆い直射日光が入射しない飼育棟に, 側面を遮光率95%の遮光幕で囲った100 Lポリカーボネート円形水槽15基を設置し, 実験を行った (Fig.1)。水量は80 Lとし, 水温15~16°Cの濾過海水を1

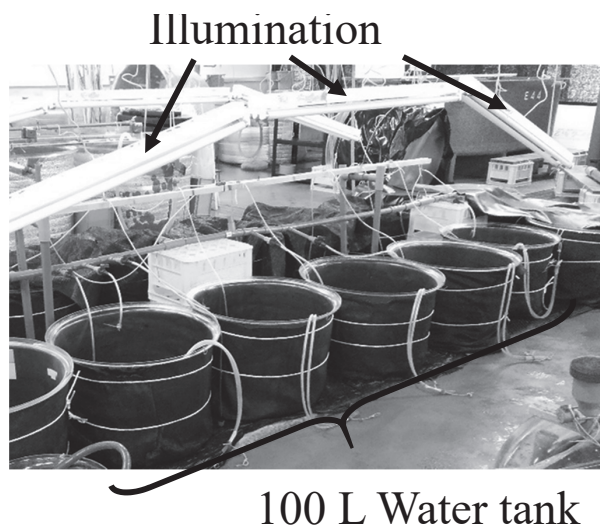


Fig.1 Schema of experimental water tank.

L/minの流量で掛け流した。また、市販のエアストーンによるエアレーションを施し、供給する空気量は気泡の目視で、実験に用いたすべての水槽で同程度とした。

供試魚 キツネメバルの仔魚は2018年12月に人工授精した親魚から、2019年6月27日から28日にかけての夜間に産出されたものを飼育実験に用いた。6月28日9時に、これら仔魚を500尾ずつ、各水槽に収容した。

飼育実験 通常、キツネメバルの種苗生産では、水槽収容日から12日目までの仔魚期にシオミズツボワムシ *Brachionus plicatilis* sp. complex (以下、ワムシと称する) だけを給餌し、その後、成長に合わせアルテミア *Artemia* sp., 配合飼料を給餌する。そこで、本研究の実験期間はワムシの単独給餌期間である水槽収容日から12日目までとした。なお、本研究では、産出日を0日齢とした。

各水槽の上部に蛍光灯 (National, FA42019F-RDM, 40 W蛍光管) を設置し、24時間点灯した。それぞれの水槽上面を、何も覆わない強照度区 (5基)、遮光率85~90%の遮光幕 (日本ワイドクロス株式会社, BK1013) で覆った中照度区 (5基) および黒色のビニールシート (ユニチカ, CS-400) で覆った低照度区 (5基) の3つの実験区を設定した。各照度区の水面直上での照度を照度計 (コニカミノルタ, T-10) にて計測し、強照度区を1,700 lx (実測値 1,618 lx~1,827 lx), 中照度区を200 lx (実測値 190 lx~205 lx) 及び低照度区を0 lx (実測値 0.0 lx) に設定した。

各照度区について、給餌を実験開始日から0日目, 3日目, 6日目, 9日目および12日目に開始する水槽を設定した。給餌開始日以降は毎日9時と16時に、仔魚の成長に合わせワムシの密度を1.0個体/mLから5.0個体/mLへと

増加させて与えた。また、通常の飼育同様、ワムシの栄養強化のため、給餌前に市販の濃縮クロレラ (クロレラ工業株式会社, スーパー生クロレラ-V12) を各飼育水槽内に5 mL注入した。

成長 産出日から3日ごとに、9時の給餌の1時間後に各水槽からキツネメバルの仔魚10尾を無作為に取り上げ、麻酔薬 (DSファーマアニマルヘルス株式会社, FA100) にて麻酔をかけた後、万能投影機に投射して全長を計測した。また、計測日ごとに、0日目給餌開始群の各照度区、ならびに強照度区の0日目給餌開始群および3日目給餌開始群の平均全長について、3群の場合は一元配置分散分析を行い、有意差が認められた場合にはTukeyの方法による多重比較を、2群の場合は t -testによる平均値の差の検定を行った。

摂餌率と摂餌量 上記の計測に用いた標本について、川辺ら (1996) にしたがって、摂餌率=ワムシを摂餌していた仔魚個体数/観察した仔魚尾数 $\times 100$ として摂餌率を求めた。ワムシの摂餌の確認は、全長計測後、直ちに10%ホルマリン溶液にて仔魚を固定し、実体顕微鏡下で仔魚の消化管部分を体外に摘出し、さらに胃・腸壁を破って確認した。摂餌率を求める際に消化管から取り出したワムシについて、判別可能なワムシはそのまま個体数を計数し、ワムシの消化が進み原型をとどめないものについては、ワムシが取り込んだクロレラの塊 (緑色の色素で判別可能) をワムシの代替として計数し、ワムシ摂餌量を求めた。さらに、解剖の際、眼球の黒色素の有無を目視で観察した。また、上記平均全長と同様の方法で、摂餌量についても多重比較を行った。

生残率 実験中の生残率は、3日ごとに各水槽の底掃除を行い、死亡魚を計数して求めた。実験終了時の生残率は、産出日から12日目に、各水槽のすべての個体を取り上げ、生残していた仔魚を計数して開始時収容数500尾から求めた。ただし、計測に用いた供試個体数を開始時収容数から差し引いた。また、尤度比検定により、強照度区および中照度区における0日目給餌開始群の12日目の生残率を比較した。

結果

成長 0日目給餌開始群における各照度区的全長計測結果をFig.2に示す。実験開始時の全長は 5.38 ± 0.14 mmであった。

0日目給餌開始群の全長は、3日齢では強照度区は 5.40 ± 0.17 mm, 中照度区は 5.44 ± 0.10 mmであり、両区の間で有意差はなかったが ($p > 0.05$), 低照度区は 5.10 ± 0.12 mmと、強照度区や中照度区よりも小さく ($p < 0.01$),

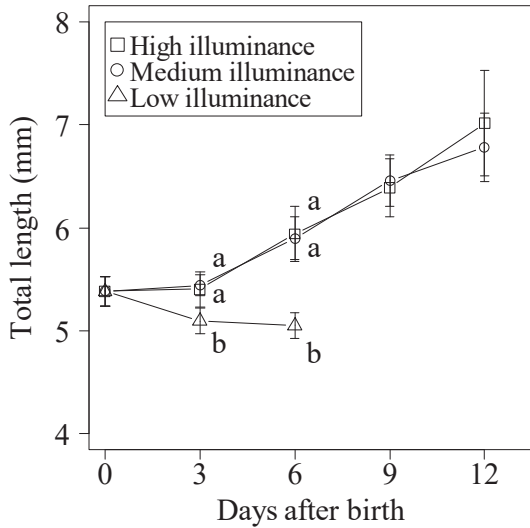


Fig. 2 Growth (mean ± SD) of fox jacopever larvae fed from day zero after birth under low (0 lx), medium (200 lx) and high (1,700 lx) illuminance. All fish under low illuminance died before day 9. Alphabetical letters denote statistically significant differences ($p < 0.001$).

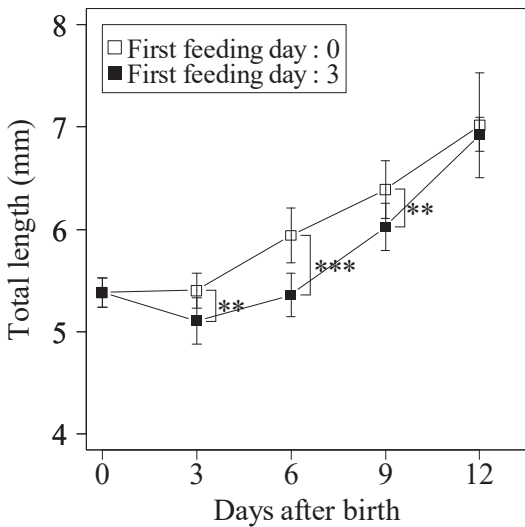


Fig. 3 The influence of first feeding day (Day 0 and Day 3) on the growth (mean ± SD) of fox jacopever larvae under high illuminance (1,700 lx). ** indicates $p < 0.01$, *** indicates $p < 0.001$.

成長に差がみられた。6日齢では強照度区は 5.94 ± 0.27 mm, 中照度区は 5.90 ± 0.21 mmと、両区の間で有意差はなかったが ($p > 0.05$), 低照度区は 5.05 ± 0.12 mmと、強照度区や中照度区よりも小さく ($p < 0.001$), 成長に差がみられた。低照度区では実験開始9日目にはすべて死滅した。実験終了日には強照度区は 7.02 ± 0.51 mm, 中照度区は 6.78 ± 0.33 mmと両照度区間で有意差はなく ($p > 0.05$), 同様な成長を示した。

強照度区における0日目および3日目給餌開始群の全長

計測結果をFig. 3に示す。強照度区における0日目給餌開始群および3日目給餌開始群の全長は、3日齢では0日目給餌開始群が 5.40 ± 0.17 mmと、3日目給餌開始群の 5.10 ± 0.23 mmと比べ有意に大きかった ($p < 0.01$)。6日齢では0日目給餌開始群が 5.94 ± 0.27 mmと、3日目給餌開始群の 5.36 ± 0.21 mmと比べ有意に大きかった ($p < 0.001$)。9日齢では0日目給餌開始群が 6.39 ± 0.28 mmと、3日目給餌開始群の 6.03 ± 0.23 mmと比べ有意に大きく ($p < 0.01$), いずれも成長に差がみられた。12日齢では0日目給餌開始群が 7.02 ± 0.51 mm, 3日目給餌開始群が 6.93 ± 0.17 mmと両群の全長に有意な差はなかった ($p > 0.05$)。

摂餌率と摂餌量 摂餌率をFig. 4に示す。強照度区 (Fig. 4a) においては、0日目給餌開始群では給餌開始日である0日齢以降、ほぼすべての個体の消化管内でワムシを確認できた。3日目給餌開始群では給餌開始日である3日齢には10尾中1尾だけだったが、6日齢以降はすべての個体でワムシを確認できた。6日目給餌開始群は給餌開始日である6日齢以降、すべて空胃であった。

中照度区 (Fig. 4b) においては、0日目給餌開始群では給餌開始日である0日齢以降、すべての個体の消化管内でワムシを確認できた。3日目給餌開始群では給餌開始日である3日齢には10尾中1尾、6日齢には10尾中7尾で、9日齢にはすべての個体でワムシを確認できたが、12日齢には生残していた6尾中5尾でワムシを確認できたが1尾は空胃であった。6日目給餌開始群は給餌開始日である6日齢以降、すべて空胃であった。

低照度区 (Fig. 4c) においては、0日目給餌開始群の3日齢に1個体のみ消化管内でワムシを確認したが、それ以外はすべて空胃だった。

消化管内でワムシを確認できた強照度区および中照度区における0日目および3日目給餌開始群について、消化管内のワムシ数の推移をFig. 5に示す。強照度区においては、0日目給餌開始群では、0日齢のワムシ数は平均19.6個、3日齢は平均40.1個、6日齢は平均79.6個、9日齢は平均102.6個、12日齢は平均98.0個であった。3日目給餌開始群では、3日齢は平均1.0個、6日齢は平均30.4個、9日齢は平均47.4個、12日齢は平均91.5個であった。

中照度区においては、0日目給餌開始群では、0日齢のワムシ数は平均9.2個、3日齢は平均57.4個、6日齢は平均75.4個、9日齢は平均98.0個、12日齢は平均73.4個であった。3日目給餌開始群では、3日齢は平均2.3個、6日齢は平均16.8個、9日齢は平均35.2個、12日齢は平均58.2個であった。

消化管内のワムシ数は、0日目給餌開始群の強照度区と中照度区の間には、0日齢および3日齢で有意な差 ($p < 0.01 \sim 0.05$) があったが、0日齢では強照度区が、3

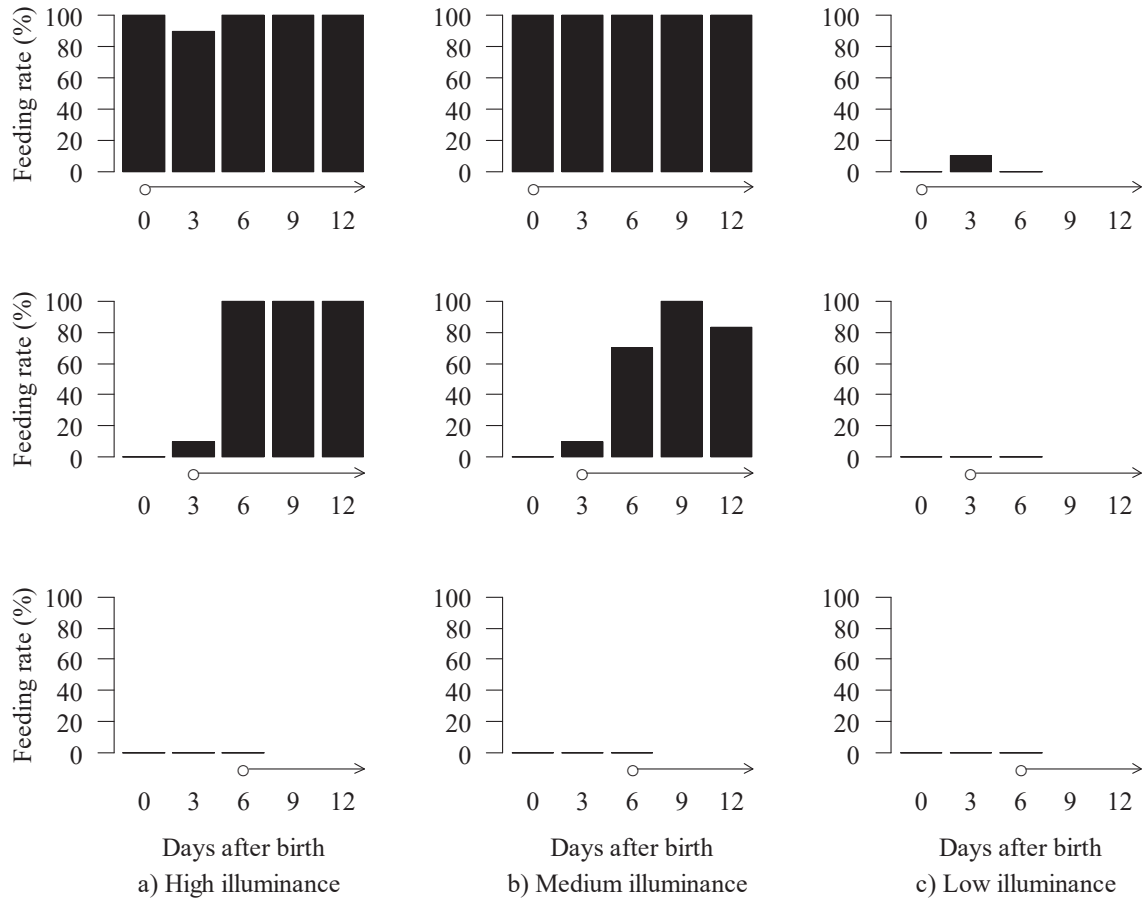


Fig. 4 Feeding rate of fox jacopever larvae on rotifer at a) high (1,700 lx), b) medium (200 lx), or c) low (0 lx) illuminance. Open circles indicate first feeding day. Arrows show the period of feeding.

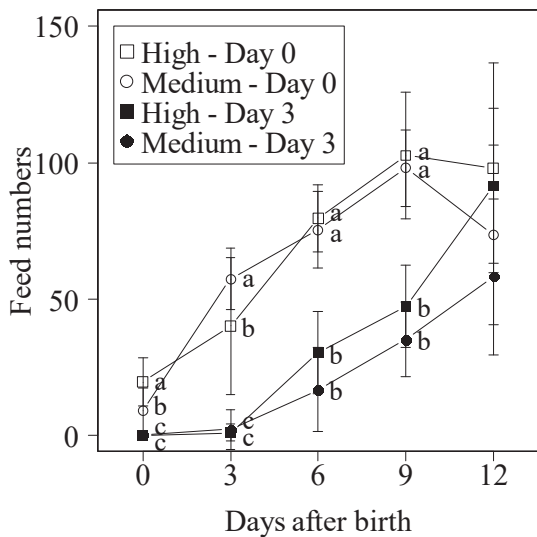


Fig. 5 The influence of light (high (1,700 lx) and medium (200 lx) illuminance) and first feeding day (Day 0 and 3 after birth) on the number of rotifers consumed by fox jacopever larvae (mean \pm SD). Different alphabetical letters denote statistically significant differences.

日齢では中照度区が大きく、明確な傾向はなかった。12日齢を除き強照度区および中照度区のいずれにおいても、0日目給餌開始群のワムシ数は3日目給餌開始群のワムシ数よりも多かった ($p < 0.001 \sim 0.01$)。また、3日目給餌開始群の強照度区と中照度区の間には有意な差はなかった ($p > 0.05$)。

強照度区において、給餌開始から3日目の消化管ワムシ数は0日目給餌開始群と3日目給餌開始群との間で有意差はなかった ($p > 0.05$) が、6日目の0日目給餌開始群は3日目給餌開始群よりも有意に大きかった ($p < 0.001$)。

中照度区において、給餌開始から3日目および6日目の消化管ワムシ数は、0日目給餌開始群が3日目給餌開始群よりも有意に大きかった ($p < 0.001$)。

解剖の際、眼球を目視観察したところ、すべての個体で黒色素が確認できた (Fig. 6)。

生残率 実験期間中の生残率の推移をFig. 7に示す。強照度区 (Fig. 7a) では、0日目給餌開始群の生残率は9日齢まで99.2%から96.6%へと緩やかに低下し、12日齢には86.7%となった。

3日目給餌開始群の生残率は3日齢には96.3%であった

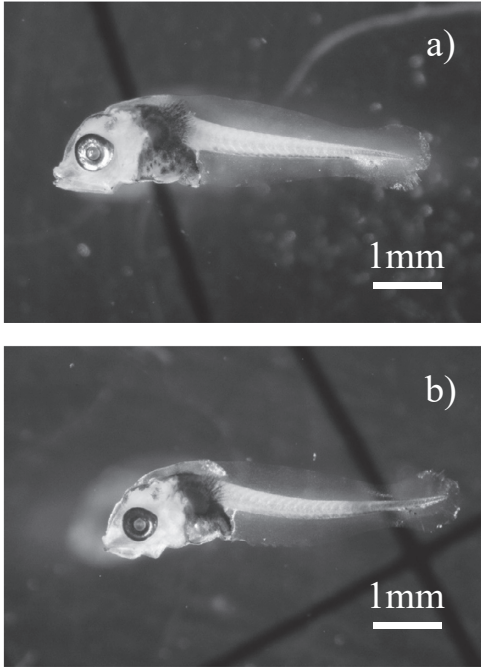


Fig.6 Photographs of fox jacopever larvae on the day of birth a) fed (high (1,700 lx) illuminance) and b) unfed (low (0 lx) illuminance). The eyes are pigmented.

が、6日齢から9日齢には87.3 %から79.4 %に減少し、12日齢には1.3 %となった。6日目以降の給餌開始群の生残率は、いずれも3日齢には95.3~99.6 %であったが、6日齢には77.3~90.4 %に減少し、9日齢には0.0 %となった。

中照度区 (Fig.7b) では、0日目給餌開始群の生残率は9日齢まで99.4 %から93.0 %まで緩やかに低下したが、12日齢には61.1 %となり、強照度区よりも低下の度合いが大きかった。3日目給餌開始群の生残率は3日齢には99.0 %であったが、6日齢から9日齢には88.8 %から76.8 %に減少し、12日齢には1.3 %となった。6日目以降の給餌開始群の生残率は、いずれも3日齢には97.6~99.0 %であったが、6日齢に85.0~89.2 %に減少し、9日齢には0.0 %となった。

低照度区 (Fig.7c) ではいずれの給餌開始群の生残率も3日齢には96.9~100.0 %と強・中照度区と同程度であったが、6日齢には80.0~89.6 %に減少し、9日齢には0.0 %となった。

尤度比検定の結果、実験最終日における0日目給餌開始群の、強照度区の生残率86.7 %は中照度区の61.1 %よりも有意に高かった ($p < 0.001$)。

考 察

0日目給餌開始群において、強照度区および中照度区の仔魚は日数の経過とともに順調に成長した。実験期間

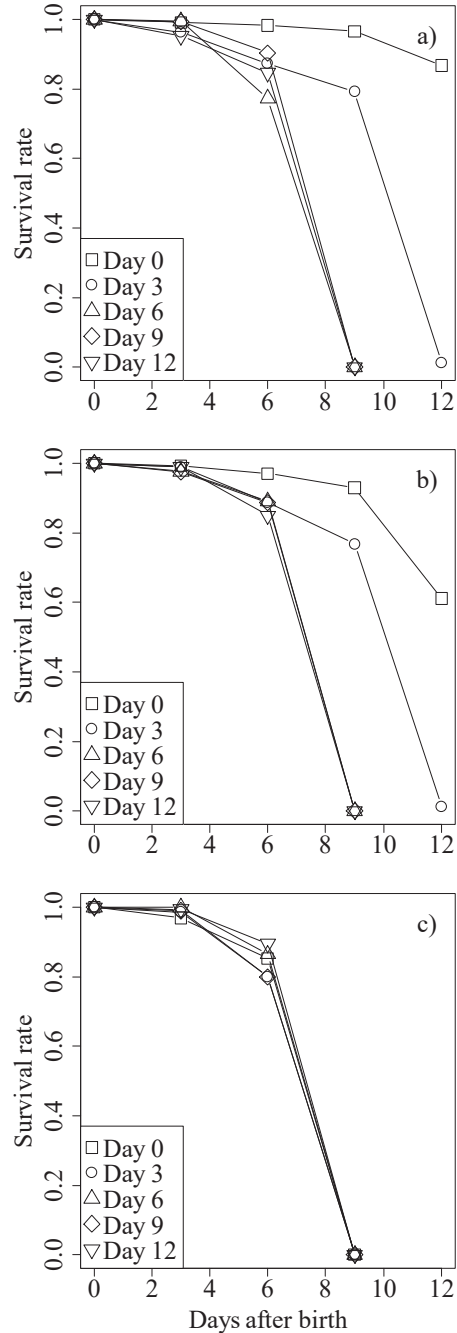


Fig.7 Survival rate of fox jacopever larvae under a) high (1,700 lx), b) medium (200 lx), or c) low (0 lx) illuminance.

中の日間成長率は強照度区で0.14 mm/day、中照度区で0.12 mm/dayであった。これは永沢 (2001) が天然から採取した仔魚の体長計測と耳石を用いた日齢解析で報告している体長9.5 mm未満の仔魚の成長式SL (標準体長) = 0.15D (日数) + 5.59の係数と近い値であり、本実験の強照度区および中照度区における成長は正常であったと考えられる。これらのことから、本実験でのワムシ給餌量はキツネメバル仔魚が健全な成長をするのに十分な量

であったといえる。

水族養殖学や魚類栄養学を専門とし、魚類の消化と栄養についてとりまとめた竹内(1991)は、消化率への影響要因として光は特に言及していない。また、スジアラ仔魚の3~4日齢において24時間明期では自然な光周期よりも消化酵素(トリプシン)の活性が高いとしているが6~7日齢ではその差はなく、暗期でもある程度の活性がみられた(與世田ら, 2003)。これらのことから、一度摂餌された餌は光のある・なしに関わらず消化、吸収されるものとする、成長の良・不良はどれだけ摂餌できるかに依存していると考えられる。0日目給餌開始群の各照度区の成長を比較すると、中照度区は強照度区と遜色なく成長していたが、周囲にワムシが十分にあって低照度区では成長しなかった。また、ワムシ摂餌量は、中照度区では強照度区と同程度であったのに対し低照度区ではほぼ0であったことから、中照度区の設定照度である200 lx程度以上の照度があれば飼育に十分であることがわかった。このことは、清野・平野(1978)が稚仔魚の摂餌活動が停止する明るさは、魚種および餌料によって異なるが、 10^{-2} ~ 10^1 lxであることが多いとし、 10^2 lx程度あればほとんどが摂餌できるとしている光条件に合致する。さらに、実験最終日における生残率は強照度区の方が中照度区よりも高く、本実験の範囲内に限っては、より明るいことが飼育にとって好条件であることが示唆された。一方で、低照度区では摂餌量がないか、もしくは極めて少なかったことから、低照度のためワムシを視認できなかったと推察される。仔魚の眼の発達レベルは低いが(Blaxter and Staines, 1970)、黒色素が認められたときから機能する(石田・川村, 1985)。本実験に用いたキツネメバル仔魚においても産出直後から眼球には黒色素が観察されたことから、照度は視覚に作用していたと考えられる。

仔魚期には重大な飢餓状態を経験すると、その後、餌があっても摂餌量が回復しなくなる限界点PNR(Point of No Return)がある。本研究において、給餌開始日を変えた実験の結果、強照度区や中照度区のように十分な光環境下においても、3日目以降の給餌開始では成長の鈍化および生残率の低下を引き起こした。また、給餌開始日からの日数を揃えて比較すると、3日目給餌開始群のワムシ摂餌量は0日目給餌開始群より少なく、餌があっても摂餌量が回復しなかったことから、多くの仔魚は産出から3日齢日にはすでにPNRを超えていたと考えられる。

水槽で飼育しているキツネメバルでは、産出は夜間に行われることが多い(高嶋, 2011)。産出直後の仔魚は既に開口し餌を食べ始めると考えられるが、種苗生産に

おいては夜間のため餌を与えられない場合や、作業が休日及び場合もある。従って、生残率を低下させず、かつ、人の都合に合わせた給餌管理技術を開発することは種苗生産の効率化の課題として重要である。そこで、産出仔魚の収容水槽はエアリー喰い防止のため遮光環境とし、産出翌朝に収容水槽の遮光幕を外すか仔魚を飼育用水槽に収容し直して200 lx以上の照度の照明を当てるとともに、ただちに餌を給餌することで摂餌不足による成長の停滞や生残率の低下を防ぐことができると考える。なお、今回の実験では、キツネメバル仔魚にエアリー喰いによる障害は認められなかった。

謝 辞

本原稿をまとめるにあたり、有意義なご助言を頂いた道総研栽培水産試験場の森 立成博士、ならびに図書出版委員各位に感謝申し上げます。また、文献の収集、整理にご助力いただいた道総研中央水産試験場(現釧路水産試験場)の園木詩織博士にお礼申し上げます。

引用文献

- Blaxter JHS, Hempel G. The influence of egg size on herring larvae. *J. Cons., Cons. Int. Explor. Mer.* 1963; 28: 211-240.
- Blaxter JHS, Staines M. Pure-cone retinae and retinomotor responses in larvae teleost. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 1970; 50: 449-460.
- 石田健一, 川村軍蔵. 海産魚類の初期生活史7-感覚器の分化過程. *海洋と生物* 1985; 36: 8-14.
- 川辺勝俊, 村井 衛, 隆島史夫. シマアジ仔魚の摂餌・生残におよぼす絶食の影響とPNR. *水産増殖* 1996; 44 (3): 279-283.
- 川村軍蔵. I. 発育過程の形態学的側面1. 感覚器官. 「水産学シリーズ83魚類の初期発育(田中克編)」恒星社厚生閣, 東京. 1991; 9-20.
- 清野通康, 平野礼次郎. 海産魚稚仔魚の飼育環境条件, とくに光条件について. *月刊海洋科学* 1978; 10: 728-733.
- 松岡正信, 三谷卓美. 長崎港近海で採集されたマイワシ卵のふ化・飼育(予報). *西海区水産研究所研究報告* 1989; 67: 15-22.
- 永沢 亨. 日本海におけるメバル属魚類の初期生活史. *日本海区水産研究所研究報告* 2001; 51: 1-132.
- 尾形康夫. キツネメバルの仔稚魚について. *福島県水産種苗研究所研究報告* 1984; 1: 47-50.

- 尾形康夫, 鈴木章一, 石井孝幸, 石川幸児, 泉 茂彦, 菊地正信. キツネメバルの種苗生産に関する研究. 福島県水産種苗研究所研究報告 1987 ; 2 : 57-74.
- 佐々木正義. 41. キツネメバル. 上田吉幸, 前田圭司, 嶋田 宏, 鷹見達也編, 漁業生物図鑑 新 北のさかなたち, 北海道新聞社, 北海道. 2003 ; 194-195.
- 高畠信一. キツネメバルの種苗生産技術開発について. 北水試だより 2011 ; 82 : 5-8.
- 高畠信一, 川崎琢真. 3.2 放流基礎調査事業 (キツネメバル). 平成29年度道総研栽培水産試験場事業報告書 2019 ; 15-16.
- 竹内俊郎. 3. 消化と栄養. 「魚類生理学 (板沢靖男・羽生 功編)」恒星社厚生閣, 東京. 1991 ; 67-101.
- Yin MC, Blaxter JHS. Morphological changes during growth and starvation of larval cod (*Gadus morhua* L.) and flounder (*Platichthys flesus* L.). *J. Exp. Mar. Biol. Eco.* 1986 ; 104 : 215-228.
- 與世田兼三, 團 重樹, 藤井あや, 黒川優子, 川合真一郎. 異なった日周条件がスジアラ仔魚の初期摂餌, 初期生残および消化酵素活性に及ぼす影響. 水産増殖 2003 ; 51 : 179-188.