

高密度飼育によるクロマグロ初期減耗の軽減

中川至純^{1*}, 宮下 盛²

(¹ 養殖グループ, ² 人工種苗グループ)

近畿大学水産研究所白浜実験場

クロマグロ(*Thunnus orientalis*)は2002年に近畿大学水産研究所が完全養殖を達成したが,¹⁾ 初期減耗, 屈曲期以降の共喰い, および稚魚期以降の衝突死などの障害により大量安定生産には至っていない。初期発育における生残率は非常に低く, 孵化後10日間までに90%以上が斃死することがある。²⁾ クロマグロ人工種苗の量産化を図るには, 高い初期減耗率を軽減するのが最も有効であり, 解決すべき重要な課題の一つになっている。

これまでクロマグロの初期減耗に関する研究は, さまざまな視点から行われてきた。初期減耗を物理学的に捉えた場合, 現象的には沈降死の割合が最も大きいので,³⁾ 日齢に伴う仔魚の密度の変化や夜間の通気量の増加により, 解決に迫る研究が行われている。^{4), 5)} また, 餌料の質・量そしてその環境は, 仔魚を飼育する上で最も重要なポイントであることから, クロマグロについても餌料サイズ,⁶⁾ *Nannochloropsis oculata* (以下ナノクロ)の添加密度⁷⁾ そして飼育水槽内の生物群集⁸⁾ 等に関する研究がおこなわれ, クロマグロ仔魚の最適な仔魚飼育法の開発に貢献してきた。しかし, クロマグロの初期減耗率は依然として高く, 現在行われているクロマグロ仔魚の飼育方法を, さらに詳細に検証していく必要がある。

一般に仔魚飼育を行うとき, 飼育水槽にナノクロ等の微小藻類を添加する。これは水槽中のワムシの活力および魚類の必須脂肪酸などの栄養価

⁹⁾ を維持する効果がある。特に, エイコペンタエン酸(EPA)やドコサヘキサエン酸(DHA)等の高度不飽和脂肪酸は, 仔魚の成長および生残に影響することが報告されている。¹⁰⁾ そのため, 初期飼育方法では, これらの栄養素を強化したワムシ(強化ワムシ)が給餌されている。

しかし, 初期飼育時には仔魚の摂餌性は乏しく, 栄養価に問題のあるワムシを与えると, 成長や生残率は急激に低下する。¹¹⁾ また, この時期は一般的に換水率が低く, 飼育水中にワムシが残留しやすくなる。¹²⁾ 特に, 飼育水のナノクロの密度が低いときは, 時間と共にワムシのタンパク質や脂肪酸含量が低下する。¹³⁾ また, クロマグロ仔魚はワムシの増殖に適した高水温で飼育されるので, 水槽内に残存するワムシの増殖速度は高く維持される。⁷⁾ すなわち, 栄養強化されていない残餌ワムシが飼育水槽内で増殖することになる。残餌ワムシは仔魚にとって餌料価値は低く, 仔魚の成長および生残に影響することになる。

そこで本研究では, 仔魚を高密度で飼育することで仔魚の摂餌圧を上げ, 水槽内の残餌ワムシの密度を減少させる飼育方法の是非について検討した。同時に従来法と高密度飼育での仔魚の飢餓耐性の違いを調べた。

試料および方法

仔魚飼育実験 クロマグロの高密度仔魚飼育実

験に用いた受精卵は、本学水産研究所奄美実験場で2008年7月2日に自然産卵されたもので、採取したのち本学水産養殖種苗センター白浜事業場へ輸送した。収容時の平均卵径および油球径(平均 ± 標準偏差)は、 1.09 ± 0.02 および 0.29 ± 0.03 mm で、卵の平均正常孵化率は87.5%であった。

これまで通常の仔魚の飼育密度(通常区)と、高い飼育密度との飼育結果を比較するため、猪師⁷⁾の方法に準じて、それぞれ受精卵を1万2500粒/*kl* および12万5000粒/*kl* に設定して収容し、さらに、高密度におけるワムシの個体密度を、通常区と同じ10 ind./*ml*(高密度10区)と、その倍の20 ind./*ml*の実験区(高密度20区)になるよう設定し、合計3試験区を設けた。

クロマグロの仔魚飼育は、本学水産養殖種苗センター白浜事業場において、2008年7月3日から16日(孵化後12日)まで行った。通常区では受精卵を2,500粒、高密度10区および高密度20区ではそれぞれ25,000粒を、200 lパンライト水槽3基に収容し、各処理に3重複区を設けて実施した(合計9基)。ふ化・飼育水にはUV滅菌海水を用い、換水率は通常区ではふ化3日齢まで止水で、それ以降は日齢×10%に設定した。高密度10区および高密度20区においては卵収容時から換水率40%で注水し、ふ化2日齢の午後から4日齢までは60%、以降2日ごとに20%ずつ換水率を上げた。エアレーションには直径3 cmの丸型のエアストーンを使用し、通気量は昼間250 ml/min、夜間450 ml/minとした。また、照明は蛍光灯を用いて水面1000 lxとし、光周期を12 h 明期(7:00~19:00):12 h 暗期(19:00~7:00)とした。飼育期間中は、各試験区の水温、溶存酸素濃度およびpHを、多項目水質計を用いて測定した。

給餌は2日齢の午後から行った。ワムシは実験期間を通して、給餌前に市販の栄養強化剤で栄養強化し、設定の密度になるように8:00 および13:00に給与した。3日齢の午前から給餌前に残餌ワムシを計数し、設定密度となるよう不足分を投与した。ワムシの計数は、ルゴール溶液で固定してから実体顕微鏡下で行った。

本研究では、各試験水槽におけるワムシの総個体数および携卵個体数を計数した。この操作は3回繰り返して行い、それらの平均値を求めて総個体数を携卵個体数とした。飼育水には、市販の冷蔵濃縮ナンノクロプシスを、ワムシ給餌前に100万 cell/*ml*になるように投与した。飼育実験は12日齢で終了し、終了時に全生残尾数を計数して生残率を算出した。7日齢と12日齢に各水槽から20尾を採集し実体顕微鏡下で全長測定も行った。

仔魚の飢餓耐性実験 クロマグロ仔魚の飢餓耐性を、ふ化11日齢の各試験区の仔魚を供試して行った。しかし、通常区では3水槽のうち2水槽が10日齢で全滅したため、通常区は1回のみで行った。すなわち、それぞれの試験水槽から仔魚を無作為に10尾ずつ300 mlビーカーに移し、水温25°C、無通気および暗条件下で斃死まで温置した。斃死魚がみられたときはピペットで取り除き、6, 16, 24, 40 および45時間後の生残尾数を求めた。

結果

仔魚の全長と生残率 7日齢の全長は、通常区、高密度10区および高密度20区の順にそれぞれ 5.06 ± 0.07 , 4.48 ± 0.10 および 4.74 ± 0.15 mm であり、

通常区で有意に最も大きかった ($p < 0.05$)。12 日齢における全長は、通常区、高密度 10 区および高密度 20 区の順にそれぞれ 6.67 ± 0.34 , 5.52 ± 0.51 および 5.47 ± 0.07 mm であった。仔魚の全長は通常区が有意に高かった ($p < 0.05$)。高密度 10 区と高密度 20 区の間全長に有意差はみられなかった。

12 日齢における仔魚の生残率は、通常区、高密度 10 区および高密度 20 区の順に、それぞれ 5.7 ± 9.1 , 10.3 ± 0.2 および $21.7 \pm 0.8\%$ であった。終了時の仔魚の生残率は、高密度 20 区で他の実験区より有意に高かった。通常区と高密度 10 区の間、生残率の有意差は認められなかった。

仔魚の飢餓耐性 開始 6 時間後の生残率は、通常区、高密度 10 区および高密度 20 区で、それぞれ 60.0 ± 0.0 , 72.0 ± 19.4 および $90.0 \pm 8.90\%$ であった。16 時間後には、それぞれ 40.0 ± 14.1 , 52.0 ± 22.3 および $87.0 \pm 8.20\%$ であり、高密度 20 区で最も高かった。高密度 10 区と 20 区の間有意差がみとめられた。その後 24 時間後まで高密度 20 区が他の区に比べて高値を維持した。生残率は時間の経過とともに低下し、通常区および高密度 10 区では 40 時間後、高密度 20 区においては 45 時間後に全滅した。

考察

残餌ワムシが仔魚の成長生残に及ぼす影響 仔魚の初期減耗における生物学的な要因の一つとして、生物餌料として給与されるワムシの栄養価が挙げられる。¹⁴⁾ これまでの海産仔魚に関する栄養学的研究により、ワムシの ω -3 系高度不飽和脂肪酸 (ω -3 HUFA) 含量が、仔魚の生残に大き

な影響を及ぼすことが報告されている。¹⁰⁾ 現在、一般的な淡水クロレラを用いる通常のワムシ培養では、DHA やタウリン等の含量を増やすことが期待できない。そのため、海産魚類の種苗生産では、ワムシを給餌する前に、栄養強化剤を用いて培養し栄養価レベルを向上させている。しかし、飼育水槽内に給餌されたワムシの栄養価は時間とともに低下する。^{13,15)} ナノクロを添加した飼育水に強化ワムシを収容した場合、EPA は増加するが、DHA は 24 時間で 50% 減少する。¹⁵⁾ また、飼育水槽内のナノクロの密度が低い時、あるいは、添加されない時には、 ω -3 HUFA¹³⁾ や各種栄養成分(タンパク質、脂質、糖質、ビタミン、窒素、リンなど)は減少する。¹⁴⁾ 仔魚が摂餌せず飼育水に残留したワムシは、強化直後に比べて栄養価が極端に低下することになる。

クロマグロの初期飼育環境は、ワムシにとっても増殖しやすい環境にある。本研究で用いたワムシは S 型ワムシであった。S 型ワムシは L 型ワムシに比べて適水温は高く、 20°C 以上で増殖し、 30°C 付近が至適水温である。¹⁶⁾ 初夏から晩夏に集中するクロマグロの初期飼育では、飼育水温は一般的に 27°C 前後でマダイやヒラメに比べて高い。本研究における水温は最高で 25.9°C であった。猪師⁷⁾ によると、クロマグロ仔魚の飼育水温が最高で 28.7°C であった。S 型ワムシの増殖にとっては好適な水温条件であることから、特に、開口仔魚の低摂餌性と飼育水の低換水率は、飼育水槽内での残留ワムシの増殖を促進することになる。

終了時における通常区の生残率は、3 重複区の 2 区が全滅したことで高密度区に比べて低く、特に、高密度 20 区より有意に低下した。飼育期間における通常区のワムシ密度は、7 日齢までは 20 ind./ml で推移し、高密度区に比べて常に高か

った。従って、通常区において生残率が低くなったのは、クロマグロ仔魚が栄養価の低い残餌ワムシを多く摂餌して、必要な栄養を獲得することができなかつたことによると考えられる。しかし、終了時における全長・体重は高密度区より通常区で優れていた。通常区で生存したクロマグロ仔魚は、斃死した仔魚より摂餌活性が高く、栄養価の低いワムシを多量に摂取して、成長のための栄養素を重複させていた可能性がある。いずれにしても、今後に留意すべき検討課題である。水槽内にワムシが十分に存在することは、初期発育段階にある仔魚の生残・成長にとって重要なファクターであるが、その生物餌料の栄養価も初期発育に影響を与える要素であることが示された。

飼育終了後に行った飢餓耐性試験においては、開始して24時間後までは、通常区、高密度10区、20区の順で仔魚の生残率が高く、16時間後では生高密度20区で有意に高かった。この結果も、残餌ワムシの低い栄養価が、クロマグロ仔魚の生残率を低下させるとする推察を、支持しているのかもしれない。仔魚の飢餓耐性の向上に高度不飽和脂肪酸やEPAおよびDHAの強化が有効であることが報告されている。¹⁷⁾ 高密度20区では栄養価の高い強化ワムシを、給餌後の比較的早い時間に摂取して、十分な栄養素を確保していたことがうかがえる。一方、高密度10区および通常区では、強化ワムシの給餌量および残餌ワムシの摂取で、栄養素だけでなく代謝機構に変調をきたしていた可能性が考えられる。

仔魚の初期餌料として給餌されるワムシの質・量の重要性を報告する研究はこれまで数多くあるが、クロマグロよりも飼育水温が低いマダイやヒラメ等の魚種を対象にしたものがほとんどである。¹⁰⁾ これら魚種ではクロマグロに比べて成長が大きく

劣ることから、残餌ワムシの栄養価レベルの低下が、初期飼育や種苗生産に及ぼす影響は小さくなるのであろう。

高密度飼育による初期減耗軽減効果 飼育初期における仔魚の摂餌性が乏しいこと、換水が低いことに加えて、飼育水温の高さにより、クロマグロ仔魚飼育水槽ではワムシが残留して、増殖しやすい環境下にある。給餌前の水槽内のワムシ個体密度は、高密度区では常に通常区よりも低い値で推移した。したがって、高密度飼育によって残餌ワムシの密度が低下することが示された。生残率も高密度20区で最も高かった。高密度飼育による水質悪化も懸念されるが、アンモニア性窒素濃度や溶存酸素濃度には、通常区のそれらと区間差は認められなかった。クロマグロ仔魚の高密度飼育によって、生残率が向上することを本研究で示唆できた。

しかし、高密度飼育においても、高密度10区の生残率は高密度20区より低かった。さらに、高密度20区の仔魚の全長が最も小さくなった。この原因としては、密度効果や餌あたりの悪さ等を考えることができるが、高密度仔魚飼育法を開発する上では、給餌量や給餌回数といった点を明らかにする必要がある。

謝辞

本研究を行うに当たり、クロマグロ仔魚の飼育およびデータの解析のご助力を賜りました本学大学院農学研究科博士前期課程1年池上祐馬氏に心より感謝申し上げます。

引用文献

- 1) Sawada Y et al. Completion of the Pacific bluefin Tuna, *Thunnus orientalis*, life cycle under aquaculture conditions. *Aquaculture Res.* 2005; **36**: 413-421.
- 2) 宮下 盛. クロマグロの種苗生産に関する研究. 近畿大学水産研究所報告 2002; **8**: 1-171.
- 3) 宮下 盛. クロマグロ種苗生産における初期の沈降死 おおよび浮上死とその防止策. *アクアネット* 2008; **10**: 24-27.
- 4) 坂本 亘ら. クロマグロ仔魚の成長に伴う比重変化. *日水誌*, 2005; **71**: 80-82.
- 5) Takashi T et al. Diel and ontogenetic body density change in Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis* (Temminck and Schlegel), larvae. *Aquaculture Res.* 2006; **37**: 1172-1179.
- 6) Sawada Y et al. Rotifer size selectivity and optimal feeding density of bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, larvae. *Suisanzosyoku* 2006; **48**: 169-177.
- 7) 猪師直人. クロマグロ初期飼育におけるナンクロロプシスの最適添加密度の検討. 平成 19 年度卒業論文 2008.
- 8) Nakagawa Y et al. Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, larvae utilize energy and nutrients of microbial loop. *Aquaculture* 2007; **267**: 83-93.
- 9) Nass KE et al. Enhanced first feeding of halibut larvae (*Hippoglossus hippoglossus* L.) in green water. *Aquaculture* 1992; **105**: 143-156.
- 10) Watanabe T et al. Requirement of Juvenile Striped Jack *Longirostris delicatissimus* for n-3 Highly Unsaturated Fatty Acids. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1989; **56**: 1111-1117.
- 11) Blaxter JHS. Development of sense organs and behaviour of teleost larvae with special reference to feeding and predator avoidance. *Trans. Am. Fish. Soc.* 1986; **115**: 98-114.
- 12) Makridis P, Olsen Y. Protein depletion of the rotifer *Brachionus plicatilis* during starvation. *Aquaculture* 1999; **174**: 343-353.
- 13) 吉松隆夫ら. メナダ仔魚の必須脂肪酸要求と飼育槽へのナンクロロプシス添加効果. *日水誌* 1995; **61**: 912-918.
- 14) 竹内俊郎ら. DHA 強化ワムシのマダラ仔魚に対する栄養価. *日水誌* 1994; **60**, 641-652.
- 15) 團 重樹, 小磯雅彦. 種苗生産水槽へ添加した微小藻類のワムシ n-3 高度不飽和脂肪酸含量に及ぼす影響. *水産増殖* 2008; **56**: 603-604.
- 16) 伊藤史郎ら. 系統の異なるシオミズツボワムシの形態 および増殖適温. *長崎大学水産学部報告* 1981; **51**: 9-16.
- 17) 佐藤敦一ら. マガレイ仔魚の生残, 成長, 飢餓耐性能に及ぼす栄養強化ワムシの給餌効果. *北水試研報* 2005; **69**: 139-144.
- 18) 友田 努ら. 増殖ステージが異なるシオミズツボワムシのマダイ仔魚に対する餌料価値. *日水誌* 2004; **70**: 573-582.