

原著論文

小型水槽飼育におけるクロマグロ仔魚の初期生残の向上

田中庸介*・久門一紀*・樋口健太郎*・江場岳史*・西 明文*・二階堂英城*・塩澤 聡*

Survival of Pacific Bluefin Tuna Larvae in Small Voluminal Tanks

Yosuke TANAKA, Kazunori KUMON, Kentaro HIGUCHI, Takeshi EBA, Akefumi NISHI,
Hideki NIKAIDO and Satoshi SHIOZAWA

To improve the survival of Pacific bluefin tuna larvae in rearing tanks, an investigation was conducted using two experimental factors, temperature (25 or 28 °C) and nighttime aeration rate (strong or weak), to prevent the larvae from sinking. At 7 days after hatching (DAH), survival rates of larvae reared at 25 °C were significantly higher than those reared at 28 °C. Survival rates at 7 DAH of larvae reared with strong aeration were significantly higher than those reared with weak aeration. The results indicate that tank rearing at 25 °C and with strong nighttime aeration significantly improved the survival of Pacific bluefin tuna larvae.

2010年4月22日受付, 2010年7月5日受理

クロマグロ *Thunnus orientalis* は高付加価値、高成長という特性を有しているため、養殖産業が長崎県、鹿児島県等を中心に近年活発に西日本各地で展開されている。養殖種苗は天然稚魚に依存しているため、供給が不安定であるとともに資源への影響が懸念され、クロマグロ人工種苗の安定的生産および供給が急務とされている。近畿大学水産研究所がクロマグロの完全養殖に成功したが、安定的に人工種苗を供給するためには解決すべき問題が残されている¹⁾。とりわけ、10日齢までの飼育初期において生残率が低く、この原因として、クロマグロ仔魚が夜間に水槽底面に沈降し死亡することが考えられている^{2,3)}。その沈降による死亡原因として、水槽底面への接触による外傷⁴⁾や水槽底面における局所的な酸素不足⁵⁾等が想定されている。このクロマグロ仔魚の沈降への対処として通気や水中ポンプを用いた飼育水の攪拌が行われており、高い生残率を示す事例も認められるが、その生残率はいまだ不安定である^{3,6)}。

種苗生産における様々な減耗要因¹⁾を検討するためには小型水槽（容量500ℓ前後）を用いて飼育実験を行うことに利便性があるが、これまで小型水槽における飼育初期の生残率は低く、精緻な飼育実験を行うのは困難

であった。小型水槽飼育における初期生残率の向上させることにより、様々な実験が可能となりクロマグロ種苗生産の技術開発に大きく貢献すると考えられる。中川ら⁷⁾は、500ℓ水槽を用いた飼育実験を行い、夜間の通気量を増大させ飼育水を攪拌することによりクロマグロ仔魚の生残率が向上したことを報告している。一般的に仔稚魚の生残、成長は飼育水温の影響を受けるが、中川ら⁷⁾は飼育水温の検討は行っておらず、適正飼育水温にも着目する必要がある。そこで本研究では、通気による飼育水の攪拌と飼育水温がクロマグロ仔魚の初期生残に与える影響を明らかにすることを目的として、小型水槽を用いて産卵時期を想定した飼育水温を設定した実験区、沈降死防止のための夜間の飼育水攪拌を設定した実験区を組み合わせた飼育実験を行った。

材料と方法

クロマグロ養成親魚および採卵 奄美栽培漁業センター地先海面において円形生簀（直径40m）に保有している5歳魚より2009年7月2日に自然産卵された受精卵を飼育試験に用いた。受精卵をオキシダント海水で消毒

* 独立行政法人水産総合研究センター 奄美栽培漁業センター

〒894-2414 鹿児島県大島郡瀬戸内町俵崎山原 955-5

Amami Station, National Center for Stock Enhancement, FRA, 955-5 Hyousakiyamahara, Setouchi, Ohshima, Kagoshima, 894-2414 Japan
yosuket@affrc.go.jp

したのち、自然水温でふ化管理を行った。採卵時の海水温（水深 10 m）は 25.8 °C であった。

飼育実験 独立行政法人水産総合研究センター奄美栽培漁業センターの地先水温は、クロマグロの産卵初期である 5 月下旬では 25 °C 前後、後期である 8 月では 28 °C 以上であり、産卵水温環境は大きく異なる^{6,8)}。従って、これらの受精卵から得られた仔魚を用いて、産卵初期を想定した水温条件下（25 °C）で飼育する実験区と、産卵後期を想定した水温条件下（28 °C）で飼育する実験区を設定し、飼育実験を行った。チラーを用いて 25 °C に冷却調温したウォーターバスおよびヒーターを用いて 28 °C に加温調温したウォーターバスに、それぞれ 200 ℓ 透明パンライト水槽 6 面を設置した。各ウォーターバスに設置した 6 面のうち、3 面において通気量を終日にわたって 0.1 ℓ/分に調整した。残りの 3 面では、午前 6 時から午後 7 時の間に通気量を 0.1 ℓ/分とし、3 日齢から 6 日齢において午後 7 時に数秒かけて通気量を 1.0 ℓ/分に増加させ、翌日午前 6 時まで 1.0 ℓ/分を維持して夜間の飼育水の攪拌を行った。すなわち、飼育水温 25 °C で通気量が終日 0.1 ℓ/分の実験区（以下、25 °C 微通気区、 $n=3$ ）、飼育水温 25 °C で通気量が昼間 0.1 ℓ/分、夜間 1.0 ℓ/分の実験区（25 °C 夜間強通気区、 $n=3$ ）、飼育水温 28 °C で通気量が終日 0.1 ℓ/分の実験区（28 °C 微通気区、 $n=3$ ）、飼育水温 28 °C で通気量が昼間 0.1 ℓ/分、夜間 1.0 ℓ/分の実験区（28 °C 夜間強通気区、 $n=3$ ）の 4 実験区を設定した。エアストーンは水槽中央に 1 個設置した。中川ら⁸⁾は 500 ℓ 水槽を用いた飼育実験を行い、夜間の通気量が 1.5 ℓ/分でクロマグロ仔魚の生残率が向上したことを報告している。本研究では、200 ℓ 水槽を用いたことから、夜間の通気量を 1.0 ℓ/分に設定することとした。

各水槽に 1 日齢のクロマグロ仔魚を約 2000 尾収容した。収容後、各水槽で柱状計数を行い実験開始時の収容尾数とした。2 日齢より L 型シオミズツボムシ *Brachionus plicatilis* を 5～10 個体/ml となるよう給餌した。飼育水には市販の濃縮ナンノクロロプシス（マリーンプレッシュ：マリーンプライオ（株））を 50 万細胞/ml の密度になるよう適宜添加した。7 日齢で実験終了とし、水槽内の生残個体数を全数計数した。実験開始時の収容尾数をもとに各水槽における生残率を算出した。7 日齢において各実験区のうち 1 水槽より 10 個体を採集し、麻酔した後、万能投影機を用いて全長を測定した。

統計処理 7 日齢における生残率を逆正弦変換した後、飼育水温および夜間の通気量を要因とした二元配置分散分析に処した。また、7 日齢における各実験区的全長を同様に二元配置分散分析に処した。

結 果

7 日齢における 25 °C 夜間強通気区、28 °C 夜間強通気区、25 °C 微通気区、28 °C 微通気区の平均生残率（±標準偏差）はそれぞれ 63.3（± 12.9）%、39.9（± 21.8）%、19.6（± 4.0）%、8.3（± 11.3）%であった（図 1）。二元配置分散分析の結果、夜間の強通気の有無および飼育水温間で有意差が認められ、飼育水温が低い実験区および夜間の強通気を施した実験区で生残率が高いことが明らかとなった（表 1）。また、交互作用に有意差は認められなかったため、飼育水温と夜間の通気量は独立して検討すべき要因であることが示された。

7 日齢における 25 °C 夜間強通気区、28 °C 夜間強通気区、25 °C 微通気区、28 °C 微通気区の平均全長（±標準偏差）はそれぞれ 4.98（± 0.09）mm、5.10（± 0.18）mm、4.73（± 0.28）mm、5.03（± 0.28）mm であった（図 2）。二元配置分散分析の結果、夜間の強通気の有無および飼育水温間で有意差が認められ、飼育水温が高い実験区および夜間の強通気を施した実験区で全長が大きいことが明らかとなった（表 2）。また、交互作用に有意差は認められなかった。

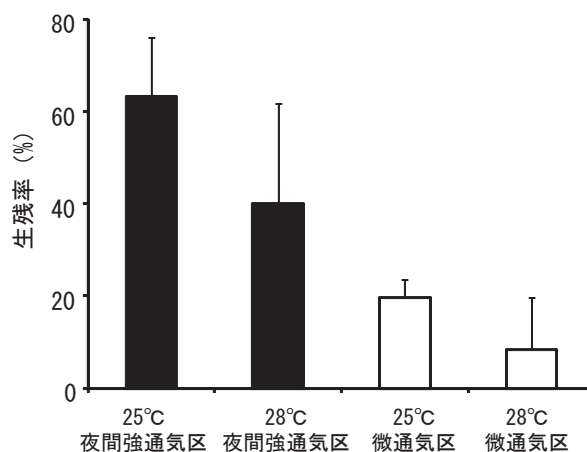


図 1. 7 日齢における各実験区の生残率 (%)
 バーは標準偏差を示す
 日中の通気量を 0.1 ℓ/分とし、夜間強通気区、微通気区では夜間の通気量をそれぞれ 1.0 ℓ/分、0.1 ℓ/分とした

表 1. 二元配置分散分析による 7 日齢における生残率の検定結果

	偏差平方和	自由度	F 値	P 値
夜間の通気量	0.25	1	5.09	0.03
飼育水温	0.48	1	9.70	<0.01
夜間の通気量 × 飼育水温	0.08	1	1.70	0.20
誤差変動	1.78	36		
総変動	2.59	39		

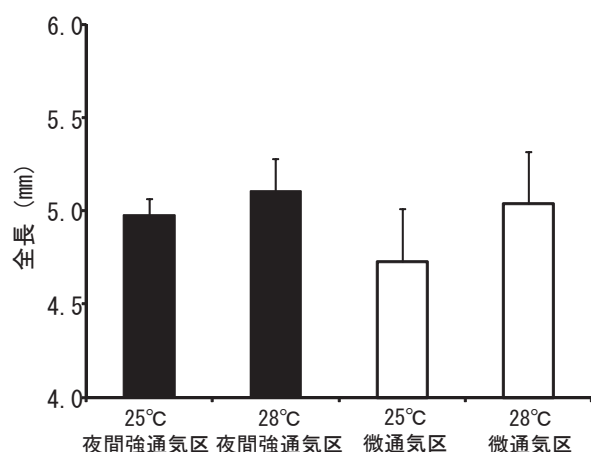


図 2. 7 日齢における各実験区の全長 (mm)
 バーは標準偏差を示す
 日中の通気量を 0.1 ℓ/分とし、夜間強通気区、微通気区では夜間の通気量をそれぞれ 1.0 ℓ/分、0.1 ℓ/分とした

表 2. 二元配置分散分析による 7 日齢における全長の検定結果

	偏差平方和	自由度	F 値	P 値
夜間の通気量	0.25	1	5.09	0.03
飼育水温	0.48	1	9.70	<0.01
夜間の通気量 × 飼育水温	0.08	1	1.70	0.20
誤差変動	1.78	36		
総変動	2.59	39		

考 察

クロマグロの種苗生産では飼育初期における大量減耗が問題となっており、仔魚が夜間に沈降して死亡する、いわゆる“沈降死”が原因と考えられている^{2,3)}。カンパチ⁹⁾、ブリ¹⁰⁾およびマツカワ⁴⁾においてその飼育初期に夜間に仔魚が沈降することが知られており、通気量を増加して飼育水を攪拌することによって減耗の軽減が報告されている。クロマグロにおいても中川ら⁷⁾は、夜間の通気量を増大させて飼育水を攪拌することにより、初期生残率が向上することを明らかにしているが、飼育水温と生残率との関係は明らかではない。

飼育水温では 28 °C よりも 25 °C において生残率が有意に高かった。手塚¹¹⁾は小型水槽 (100 ℓ) を用いて飼育水温 22, 24, 26, 28 °C に設定した飼育実験を行った結果、26 °C で生残率が高かったことを報告している。しかし、7 日齢におけるその生残率は 5.3 および 2.2% と極めて低い。一方、本実験の結果から、25 °C 夜間強通気区の平均生残率は 63.3% と高く 25 °C 微通気区の 3.2 倍、28 °C 夜間強通気区の平均生残率は 39.9% と高く 28 °C 微通気区の 4.8 倍であった。また、25 °C 夜間強通気区

の平均生残率は 28 °C 夜間強通気区の 1.6 倍、25 °C 微通気区の平均生残率は 28 °C 微通気区の 2.3 倍にとどまった。したがって、クロマグロの初期生残には、飼育水温よりも沈降防止のための夜間の飼育水の攪拌が重要な要因であることが推察される。一方で、独立行政法人水産総合研究センター奄美栽培漁業センターの地先水温は、クロマグロの産卵初期である 5 月下旬では 25 °C 前後、後期である 8 月では 28 °C 以上であり、産卵水温環境は大きく異なる^{6,8)}。本研究に用いた受精卵は、地先水温が 25.8 °C で採卵されたものである。飼育水温 25 °C で生残率が有意に高かった原因として、採卵時の水温に近かったこと、あるいは、クロマグロ仔魚の適正飼育水温が 25 °C 前後であることが考えられる。

一方で、飼育水の攪拌を行わなかった場合には、生残率が低く採卵時期や飼育水温と生残率に相関は認められない⁸⁾。飼育水の攪拌によって初期生残率が向上した結果、採卵時期や飼育水温の影響が顕在化することが考えられるため、今後は採卵時の水温と飼育水温がクロマグロの初期生残に与える影響を検討する必要がある。

飼育水温が高い実験区および夜間の強通気を施した実験区で全長が大きいことが明らかとなった。夜間における通気量の増大がクロマグロ仔魚の成長に与える影響は不明であるが、7 日齢の時点ではその影響は小さいと考えられる。

これまで、10 日齢以後の仔魚を対象とした実験を行う際には、50kℓ 規模の種苗生産水槽から小型の実験水槽へ仔魚を移槽していた。この場合、移槽によるハンドリングおよび飼育環境の変化が実験の精度に影響していたと考えられる。本研究の結果から、小型水槽における適正飼育条件の一端が明らかとなった。初期生残が向上したことによって、本種の仔魚期から稚魚期への変態期やふ化仔魚の給餌条件に関する各種実験が種苗生産水槽から移槽せず小型水槽で一貫して行うことが可能となり^{*1)}、実験の自由度や精度が増すことが期待される。

謝 辞

飼育実験を行うにあたり、ご助力いただいた長崎大学学生の石丸千紗子氏、東京海洋大学学生の田崎陽平氏、小松克偉氏、高木祐輔氏、山口十実氏に厚くお礼申し上げます。本研究は、「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業：マグロ類の人工種苗による新規養殖技術の開発 (課題番号 1905)」で行われた。

*1) 田中庸介・田崎陽平・小松克偉・高木祐輔・山口十実・竹内俊郎・久門一紀 (2010) クロマグロ実用技術—小型水槽飼育におけるクロマグロ仔魚の初期生残の向上. 2010 年度日本水産学会春季大会講演要旨集, p182.

文 献

- 1) SAWADA, Y., T. OKADA, S. MIYASHITA, O. MURATA, and H. KUMAI (2005) Completion of the Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* (Temminck et Schlegel) life cycle. *Aquac. Res.*, **36**, 413-421.
- 2) TAKASHI, T., H. KOHNO, W. SAKAMOTO, S. MIYASHITA, O. MURATA, and Y. SAWADA (2006) Diel and ontogenetic body density change in Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis* (Temminck et Schlegel), larvae. *Aquac. Res.*, **37**, 1172-1179.
- 3) TANAKA, Y., K. KUMON, A. NISHI, T. EBA, H. NIKAIDO, and S. SHIOZAWA (2009) Status of the sinking of hatchery-reared larval Pacific bluefin tuna on the bottom of the mass culture tank with different aeration design. *Aquaculture Sci.*, **57**, 587-593.
- 4) 萱場隆昭・杉本 卓・松田泰平 (2003) マツカワ種苗生産における仔魚の大量沈下減耗. 水産増殖, **51**, 443-450.
- 5) 照屋和久・浜崎活幸・橋本 博・片山俊之・平田喜郎・鶴岡廣哉・林 知宏・虫明敬一 (2009) カンパチ仔魚の成長にともなう体密度と水槽内鉛直分布の変化. 日水誌, **75**, 54-63.
- 6) 升間主計 (2008) 水産総合研究センター (旧日本栽培漁業協会) によるクロマグロ栽培漁業技術の開発. 水産技術, **1**, 21-36
- 7) 中川至純・坂本 亘・宮下 盛・村田 修 (2010) 流速制御によるクロマグロ初期減耗の低減. グローバル COE プログラム・クロマグロ等の養殖科学の国際教育研究拠点・平成 20 -21 年度中間成果報告書, 近畿大学水産研究所・近畿大学大学院農学研究科, 131.
- 8) 田中庸介・久門一紀・二階堂英城・江場岳史・西 明文・塩澤 聡 (2009) 採卵時期と飼育水温がクロマグロ仔魚の初期生残と成長に与える影響. 栽培漁業センター技報, **10**, 38-42.
- 9) 塩澤 聡・竹内宏之・廣川 潤 (2003) カンパチ種苗生産方法の改良. 栽培技研, **31**, 11-18.
- 10) 山崎英樹・塩澤 聡・藤本 宏 (2002) 日本栽培漁業協会におけるブリ種苗生産の現状. 水産増殖, **50**, 503-506.
- 11) 手塚信弘 (1996) クロマグロ (2) クロマグロ奄美基地. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成 6 年度), 日本栽培漁業協会, 166-169 pp.