

短 報

閉鎖循環システムを用いた低塩分条件下での トラフグ量産飼育

片山貴士*・森田哲男*・今井 正*・山本義久*

Mass Seed Production of Ocellate Puffer *Takifugu rubripes* in Closed Recirculating System

Takashi KATAYAMA, Tetsuo MORITA, Tadashi IMAI and Yoshihisa YAMAMOTO

We conducted a mass seed production trial of ocellate puffer *Takifugu rubripes* in low salinity rearing water conditions under a closed recirculating system. The trial was operated in a 20kL rearing tank at two different salinity conditions of 16 and 32psu. In this trial, we could successfully produce 125,000 (ca. TL 17.4mm) in 16psu and 150,000 (ca. TL 16.3mm) juveniles in 32psu at 35 days post hatch, respectively. The total number harvested was 275,000 juveniles and their survival rate was 42.2%. These values using the closed recirculating system were comparable with previous results from mass seed production under flow-through system. This is the first report of mass seed production of ocellate puffer seedlings under a closed recirculating system in Japan. Previous findings on the effectiveness of low salinity (16psu) on growth of larval and juvenile ocellate puffer during 28 to 35 days post hatch were reconfirmed by the present study.

2011年10月3日受付, 2012年3月12日受理

トラフグ *Takifugu rubripes* は、フグ亜目フグ科のトラフグ属 *Takifugu* に属している、全長 80 cm、体重 10 kg 以上に達する大型種で、北海道以南から台湾まで分布しており、フグ料理の最高級材料である^{1,2)}。また、本種は全国で放流を目的とした種苗が年間 300 万尾を超えて生産されており、栽培漁業の重要な対象種となっている³⁾。

トラフグ仔稚魚は、産卵場である水深 10 ~ 50 m の海底から湾奥部の干潟域や河口域等の低塩分域に移動することが知られており⁴⁾、実際に仔稚魚や幼魚の成長に対する低塩分の有効性が、韓ら⁵⁾や神谷ら⁶⁾によって報告され、稚魚の低塩分耐性は LEE *et al.*⁷⁾によって浸透圧の観点から明らかにされている。

一定条件の飼育環境を維持しやすい閉鎖循環システムを用いて、荒井ら⁸⁾や今井ら⁹⁾によって低塩分でのトラ

フグ種苗生産試験も行われており、今井らは飼育水の浄化機能も考慮すると、16 psu での飼育が最適としている。

そこで、本研究ではこれまでの知見をもとに閉鎖循環システムを用いた低塩分条件下でのトラフグの量産飼育技術を確立するため、実用的な規模の 20 kL 容量 (水量 18 kL) で飼育試験を行ったので、その結果を報告する。

材料と方法

供試魚 採卵用親魚には、香川県三豊市仁尾町沖の定置網で漁獲された天然 1 歳魚を水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所 (以下、瀬水研) 屋島庁舎にて 6 ~ 9 年間養成したものを供した。当該親魚は早期に受精卵を得るため、2011 年 1 月上旬から 2 月中旬にかけて 17℃ まで段階的な加温処理を行い、3 月 18 日に LHRH ホル

* 独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所 (屋島庁舎)

〒761-0111 香川県高松市屋島東町 234

Yashima Laboratory, National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research Agency, Takamatsu, Kagawa 761-0111, Japan

duma@affrc.go.jp

モンペレットによるホルモン処理を行った後、3月23日に人工授精を行った。人工授精には雌4尾と雄4尾を供し、受精卵202万粒(3,017g)を得た。得られた受精卵は20ℓ容量のハッチングジャー(MPC-20)4基にそれぞれ50万粒ずつ収容し、水温17~18℃に調温した海水を用いてふ化までかけ流し条件下で管理した。3月30日から3月31日にふ化した仔魚の耳石にアリザリンコンプレクソン(ALC)標識(25 ppm, 12時間)を付けた後、本試験に用いた。

閉鎖循環システム 試験に用いた閉鎖循環システムは、瀬水研屋島庁舎内の閉鎖循環飼育棟内に設置されており、20ℓ容量(水量18ℓ)の飼育水槽、2.1ℓ容量の受水槽、泡沫分離装置(FS-040P, TAS環境エンジニアリング(株)製)、7.8ℓ容量の生物ろ過槽、5.7ℓ容量の水量調整槽、紫外線殺菌装置(フロライザーFDL-4, 千代田工販(株)製)、400及び750W自吸式ポンプ(40PSPZ-4033B, 40PSPZ-7533B, 三相電機(株))で構成され(図1)、通気はルーツブローア(BE50, アンレット(株)製)を用いた。生物ろ過槽のろ材には、サンゴ(長さ5~10mm)1,690ℓ及びセラミックス(FB-3, フィルテック(株)製)1,630ℓを用いた。ろ材の熟成は、試験開始1ヶ月前から適量の塩化アンモニウムをろ過槽に添加することで硝化細菌の増殖を促し、添加後のアンモニア態窒素の速やかな減少と硝酸態窒素の増加を指標に、十分な硝化が行われていることを確認して試験を開始した。

試験区の設定 本試験では塩分16psu(50%海水)区と32psu(100%海水)区の2つの試験区を設け、前述の閉鎖循環システムを備えた飼育水槽を1面ずつの計2水槽を用いた。飼育水には急速ろ過器(全自動上向流式急速ろ過器SW-A-200, 石垣化工機(株))及びけり式2

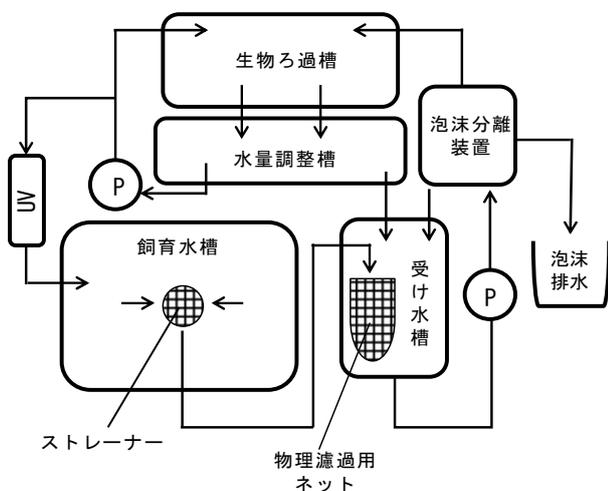


図1. 閉鎖循環システムの模式図
飼育水槽及び生物ろ過槽には熱交換管及び通気用配管が設置されている

次ろ過器((有)栄和商事製作)を通した地先海水を用い、曝気した水道水で塩分を調整した後、試験に用いた。

試験方法 ALC標識装着直後の日齢0-1の合計32.6万尾(18,100尾/ℓ)の仔魚を2つの飼育水槽にそれぞれ収容し、日齢35まで飼育試験を行った。飼育期間中の水温はボイラーによるチタン製熱交換機を用いて加温を行い21℃を維持した。表面照度は、照明器具を切り替えることにより日齢28まで1,500~2,000lx、日齢29からは噛み合いを防止するため100~250lxとなるように調整した。試験開始から日齢12までは止水飼育とし、日齢13から試験終了までは閉鎖循環飼育を行った。閉鎖循環システムへの循環水量(日間循環率)は、日齢13から14まで3.8ℓ/分(30%)、日齢15から32まで12.5ℓ/分(100%)、日齢33から35まで18.8ℓ/分(150%)とした。

餌料にはS型シオミズツボワムシ(以下S型ワムシとする)を日齢2から25まで、北米ソルトレイク産アルテミア幼生(以下アルテミアとする)を日齢17から試験終了まで、配合飼料(おとひめB1~B3(日清丸紅飼料(株)製)及びえづけるS, M(中部飼料(株)製)を日齢21から試験終了まで用いた。S型ワムシは、スーパー生クロレラV12(クロレラ工業(株))を用いて24時間の栄養強化後、30個体/ml以上の密度を維持するように毎日1~2回給餌した。また、飼育水中のワムシの飢餓防止と栄養強化を図るため100~600mlのスーパー生クロレラV12を、毎日1~2回飼育水に添加した。アルテミアは、ハイパーグロス(マリンテック(株)製)を用いて16~22時間の栄養強化を行ってから給餌した。配合飼料は体重の4%前後を基準に与えた。給餌開始から3日までは手蒔き、4日目以降は自動給餌機(ヤマハ発動機(株)製DF-100S, DF-220BO)を用いて05:00から19:00の間で7~12回の頻度で与え、特に朝夕の時間帯の給餌間隔を高め設定した。なお、飼育水槽中央にはストレーナー(魚体に合わせた目合い351μmまたは761μmのポリエチレンネット)を設置し、循環水は、受け水槽に設置した物理濾過用ネット(目合い50μm)で濾過した。

本試験では7日毎に30尾を無作為に取り上げて全長測定を行い、試験終了時(日齢35)には50尾を取り上げ、全長、湿重量及び乾燥重量を測定した。生残尾数については、実験終了後の日齢37で魚数計(FCH10A稚魚カウンター, 日本海洋株式会社)を用いて全数計数を行い、生残率を算出した。アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、及び硝酸態窒素はHACH社製のDR5000を用いて分析した。

結果

試験結果を表1に、日齢毎の両区の平均全長を図2

表1. 閉鎖循環システムを用いた低塩分でのトラフグ種苗生産結果概要

試験区	開始時 (日齢0) ^{*1}			終了時 (日齢35)				
	水量 (kℓ)	収容尾数	全長 (mm)	生残 ^{**2} 尾数	生残率 (%)	全長 (mm)	湿重量 (mg)	乾燥重量 (mg)
16 psu [50%海水]	18	326,000	2.8 ± 0.2	125,079	38.4%	17.4 ± 1.6 ^a	111.9 ± 33.0 ^a	16.6 ± 5.7
32 psu [100%海水]				149,875	46.0%	16.3 ± 2.0 ^b	87.1 ± 32.4 ^b	14.6 ± 6.0

※1: 水槽への収容は、25 ppmでALC標識を付けた後に、日齢2 (H23.4.1)で行った。

n = 50

※2: 計数は魚数計 (FCH10A 稚魚カウンター, 日本海洋株式会社)を用いて、日齢37で行った。

アルファベットの違いは、有意差を表す。(p < 0.05)

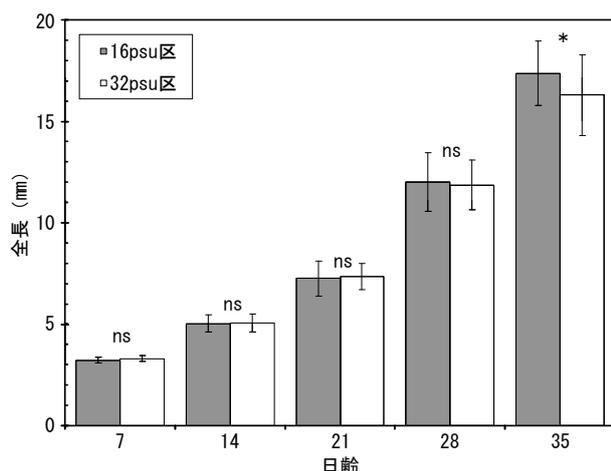


図2. 異なる塩分で飼育した日齢毎のトラフグ仔稚魚の平均全長結果は平均と標準偏差で示した。
ns: 有意差無し, *: P < 0.05

に示す。両区の平均全長は、日齢28までは差がみられなかったが、日齢35では16 psu区 (17.4 ± 1.6 mm) が、32 psu区 (16.3 ± 2.0 mm) よりも有意に大きかった (*Student-t* 検定, $p < 0.05$)。日齢35での湿重量及び乾燥重量は、16 psu区が111.9 ± 33.0 mg及び16.6 ± 5.7 mg、32 psu区では87.1 ± 32.4 mg及び14.6 ± 6.0 mgとなり、いずれも16 psu区の方が大きく、湿重量では有意差がみられた (*Student-t* 検定, $p < 0.05$)。生残率は、16 psu区が38.4%、32 psu区では46.0%となり、32 psu区の方が高かった。

飼育水中の窒素三態の濃度を図3に示す。アンモニア態窒素は、両試験区とも止水飼育期間中は徐々に上昇し2.5 mg/l前後に達した。日間循環率を100%とした後は減少し、概ね0.5 mg/l前後で推移した。亜硝酸態窒素は、両区とも循環濾過飼育開始後の硝化作用が始まってから上昇し、概ね0.05 ~ 0.20 mg/lで推移した。硝酸態窒素は、両区とも日齢15以降は徐々に上昇し、日齢35で5 mg/l程度となった。

なお、本試験で生産した種苗は、試験終了後に分槽して全長30 mmまで引き続き瀬水研屋島庁舎で中間育成を行った。その後は、瀬水研玉野庁舎及び瀬水研百島庁舎へ4トンの活魚車で陸送し、両庁舎で全長70 mmま

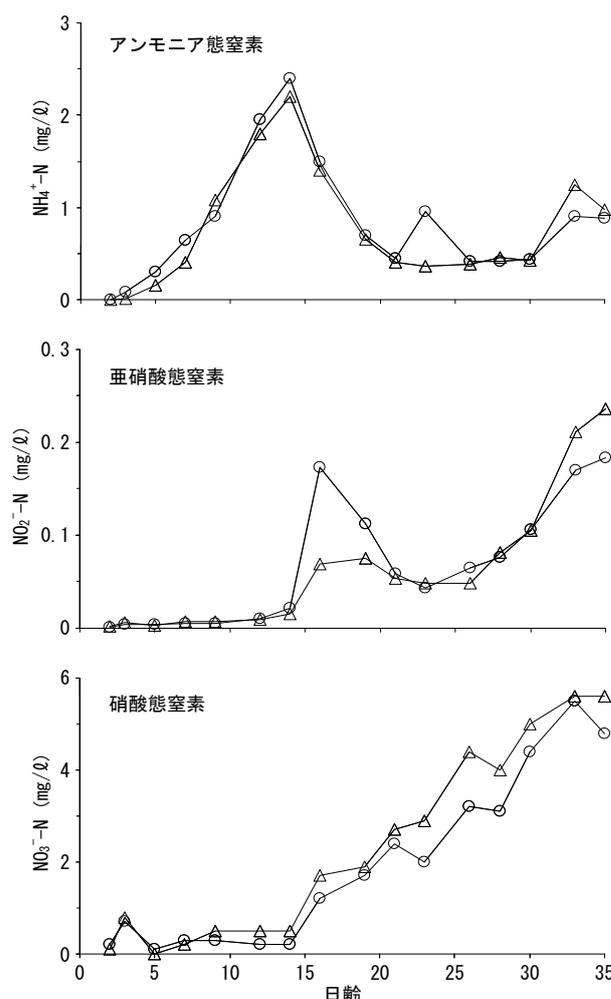


図3. 飼育水中のアンモニア、亜硝酸、硝酸態窒素濃度
○: 16 psu区, △: 32 psu区

で育成された後に、右胸鰭カットと有機酸(酢酸)標識処理が行われ、広島県福山市田尻漁協沖で放流された。本種苗は、標識処理後も活力が高く放流直後に散逸したことから、放流用の種苗としても問題はなかった。

考 察

我が国における海産魚での閉鎖循環システムを用いた試験研究は、養殖分野では、ヒラメやウナギを用いた研

究が行われており^{10,11)}、種苗生産分野では、瀬水研屋島庁舎を中心に、マダイの飼育手法に関する試験研究¹²⁾や濾過装置、濾材、人工海水及びシステムに関する研究^{13,14,15)}が行われている。トラフグについても前述の通り荒井ら⁸⁾や今井ら⁹⁾によって、低塩分を用いた5kl規模での飼育試験が行われており、数々の知見が蓄積されつつある。今回の試験では、これらの知見を参考に実用規模での閉鎖循環システムを用いた低塩分条件下でのトラフグ量産飼育の有効性について実証試験を行った。その結果、本研究の生残率は、16psu区では38.4%、32psu区では46.0%となり、2008～2010年に瀬水研屋島庁舎で行った同規模・同期間のかけ流し式流水飼育でのトラフグ種苗生産の平均生残率37.6%(26.7～70.6%)に比べて、遜色ない結果であった。また成長についても、上記のかけ流し式流水飼育では日齢35時点の全長が15mm前後となっており、本試験の結果と大差なかった。今回の実用規模における閉鎖循環システムを用いたトラフグ量産飼育に成功した結果は、国内で最初の事例となる。

本試験では、アンモニア態窒素は低レベルで推移した。アンモニア態窒素に占める強毒性の非解離アンモニアの割合は、概ね3%未満であり、一般的な魚類に対する安全な濃度以下であった。また、亜硝酸態窒素も0.3mg/l以下と低レベルで推移した。以上のことから、試験期間を通して閉鎖循環システムは順調に機能したと考えられる。試験期間中の2水槽合計の総排水量(換水量)は、閉鎖循環飼育を行った22日間の泡沫分離装置による排水約0.4klと、斃死個体及び配合餌料の残餌を取り除くために試験期間中に合計2～3回行った底掃除による排水約3.0klの合計3.4kl程度であり、全飼育水量に対する総排水量の割合は10%以下に過ぎなかった。このように、閉鎖循環飼育ではかけ流し式流水飼育に比べて排水量が著しく少ないという利点があり、上記の総排水量は、2010年に同規模同期間で行った本種のかけ流し式流水飼育での総排水量500kl(15～60kl/日程度の換水を20日間実施)と比較すると僅か1%以下であった。その結果、加温に要した灯油使用量(約1,000kl、当該時期の屋島庁舎における灯油使用量から算出)は、当該かけ流し式流水飼育での使用量(約4,900kl、同上)と比べて、概算で7割以上削減出来た(未発表)。これらのことから、本試験に用いた閉鎖循環システムは、量産規模での飼育に省エネの観点からも十分機能することが明らかになった。

ここで本種の塩分と成長の関係について言及したい。韓ら⁵⁾は、トラフグの初期発育段階では、全長10～29mmの稚魚期には高塩分(25.6～32.0psu)での成長、生残が良好で、全長37～72mmの若魚期になると低塩分ほど成長が優れる傾向があると指摘し、神谷・辻ヶ堂⁶⁾、荒井ら⁸⁾、及び今井ら⁹⁾は、全長4mm前後(日齢10)の初期発育の段階から低塩分が成長に好影響を

及ぼすと指摘している。最近、多賀・山下¹⁶⁾によって本種の成長にとって好適な塩分の発育に伴う変化が明らかになり、その結果によると30日齢以降の発育段階では、低塩分において成長が早い傾向が認められると報告されており、本試験結果を支持する。そのため、低塩分の成長に対する効果は、更なる飼育の継続でより明確に現れると考えられる。今後本種の低塩分条件下での本システムを利用した場合の適切な摂餌量や飼料転換効率、及び飼料開発などが確立されれば、更なる効率的な種苗生産技術に発展するものと期待される。

閉鎖循環飼育は、かけ流し式流水飼育とは異なり飼育水を再利用するため、今回の低塩分条件のような通常の飼育とは異なる環境を長期間維持することが容易になる。また、加温費削減による省エネ効果、VNN等の疾病防除効果(未発表)等の利点もあることから、種苗生産及び養殖分野への本技術の更なる普及推進が期待される。

謝 辞

本試験の結果をまとめるにあたり、ご協力、ご助言を賜りました独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区分水産研究所増養殖部長奥世田兼三博士に深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) 松浦修平(1997)生物学的特性、トラフグの漁業と資源管理(多部田修編)、恒星社厚生閣、16-26pp.
- 2) 落合明・田中克(1986)トラフグ、カラス、新版魚類学(下)、恒星社厚生閣、1024-1026pp.
- 3) 水産庁・(独)水産総合研究センター・(社)全国豊かな海づくり推進協会(2011)種苗生産放流実績(放流用)－魚類、平成21年度栽培漁業種苗生産、入手・放流実績(全国)～資料編～、東京、34-36pp.
- 4) 日高健・高橋実・伊藤正博(1988)トラフグの資源生態に関する研究I。福岡水試研報、14、1-11.
- 5) 韓慶男・莊恒源・松井誠一・古市政幸・北島力(1995)トラフグ稚魚の成長、生残、および餌料効率に及ぼす飼育水塩分の影響。日水誌、61、21-26.
- 6) 神谷直明・辻ヶ堂締(1995)トラフグ稚魚に対する塩分の影響。栽培技研、23、113-115.
- 7) LEE, K. M., T. KANEKO and K. AIDA (2005) Low-salinity tolerance of juvenile fugu *Takifugu rubripes*. *Fish. Sci.*, 71, 1324-1331.
- 8) 荒井大介・小金隆之・西郷晃一・千田直美・山本義久(2009)閉鎖循環飼育システムを用いたトラフグ種苗生産での低塩分条件の有効性。栽培漁業センター技報、9、24-26.
- 9) 今井正・荒井大介・森田哲男・小金隆之・山本義久・千田直美・遠藤雅人・竹内俊郎(2010)閉鎖循環式種苗生産

- におけるトラフグの成長，生残および飼育水の浄化に及ぼす低塩分の影響．水産増殖，**58**，373-380.
- 10) 鈴木祥広・丸山俊朗・佐藤大輔・神田 猛・道下 保 (2000) 閉鎖循環式泡沫分離・硝化システムを用いたヒラメの飼育における飼育水水質および物質収支．日水誌，**66**，1-9.
 - 11) 鈴木祥広・丸山俊朗・竹本 進・小田リサ (1999) 泡沫分離・硝化脱窒システムによるウナギの閉鎖循環式高密度飼育．水環境学会誌，**22**，896-903.
 - 12) 鴨志田正晃・山崎英樹・山本義久 (2006) 閉鎖循環システムを用いたマダイの種苗生産．栽培技研，**33**，67-76
 - 13) 山本義久・鴨志田正晃・岩本明雄 (2008) マダイを対象とした閉鎖系循環飼育－I 生物ろ過層の機能向上について．栽培漁業センター技報，**7**，23-28
 - 14) 山本義久 (2005) マダイを対象とした閉鎖系循環飼育－II 人工海水の利用．栽培漁業センター技報，**3**，30-36
 - 15) 山本義久・荒井大介 (2009) マダイを対象とした閉鎖循環飼育－III 種苗生産段階に適したろ材の探索．栽培漁業センター技報，**9**，27-31
 - 16) 多賀 真・山下 洋 (2011) トラフグ仔稚魚の成長における低塩分の有効性とその要因．水産増殖，**59**，225 -233.