

低照度条件下での噛み合い抑制によるトラフグ仔稚魚の高密度飼育

古川大・濱田信行・岡部久

Intensive culture of juvenile Ocellate Puffer *Takifugu rubripes* effected by suppressed cannibalism under low intensity of illumination

Dai FURUKAWA*, Nobuyuki HAMADA*, and Kyu OKABE*

緒言

トラフグ *Takifugu rubripes* はフグ亜目フグ科に属する魚類であり、20数種が知られるフグ類のなかでも全長80cm、体重10kg以上に達する大型種である¹⁾。一般には日本魚食文化における最高級食材の筆頭として広く知られており、実際に漁業資源としての価値は高く、沿岸漁業者にとって非常に大きな収入源となり得る水産資源である。

しかしながら近年におけるトラフグの資源水準は日本海・東シナ海・瀬戸内海系群および伊勢・三河湾系群とも資源水準は低位、資源動向は減少傾向と評価されており²⁾、トラフグ資源量の安定に向けた対策が必要である。

トラフグ種苗の生産および放流は資源安定への有力な手段の一つであるが、種苗生産技術の確立には未だ課題が残されている。特にトラフグ仔稚魚を人工飼育した場合に発生する共食い（噛み合い）は、仔稚魚減耗の重要な原因として障害となっている³⁾。仔稚魚を高密度に飼育した場合、水槽内で近接した仔稚魚同士の噛み合いが頻発し、それによって著しい損傷を受けた仔稚魚が死亡して大量死につながることもある^{4, 5)}。また、死に至らなくても、噛み合いによって尾鰭などを欠損した個体は遊泳能力が劣るため放流後の生き残りが悪くなることも示唆されている⁶⁾。このため、トラフグ種苗生産において健全な種苗を育成するためには稚魚を孵化直後から低密度で飼育し、併せて飼育水槽を低照度に保って稚魚どうしの視認を抑制することが一般的であり、水量10kLを超える大型の水槽を用いて10,000尾/kLに満たない密度として通常の室内照度より低照度で飼育する⁷⁾。しかしこのような飼育方法では、大型水槽を常に稼働させ続けることで生産ス

ペースを長期にわたって占有してしまう。また、トラフグ稚魚の飼育には加温海水を使用するため⁸⁾、大型水槽の長期使用は光熱費の増加など生産コストの増大といったデメリットにつながる。

そこで著者らは、初期飼育の省スペース化および低コスト化を目的に、これまでふ化直後から小型水槽を用いて高密度で飼育する育成方法を試行してきた。その結果、水面照度を5Lx以下に低く保つことによって稚魚の噛み合いを抑制しつつ、40,000尾/kLを超える密度で育成できることを確認し、既報⁸⁾を上回る条件での健全な稚魚の育成を達成した。本報告では、その飼育方法の詳細と高密度飼育に与える飼育条件の影響について考察する。

材料と方法

採卵とふ卵

2016年1月および2月に静岡県浜松市舞阪漁港にて水揚げされたトラフグ雌親魚2尾を入手し、国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所ウナギ種苗量産研究センターにて採卵まで養成した。4月25日に親魚2尾に排卵誘発ホルモンを注射して排卵を誘発させ、それぞれから得られた受精卵を混合した上で、4月28日に受精卵700g（推定卵数525,000粒）を当センターに移送した。移送した受精卵はアルテミアふ化水槽（FRP架台付き円形ポリカーボネイト水槽、水量0.5kL）へ収容して、18.5–19.0°Cに調温したろ過海水を換水率1回/時間となるよう流水でふ卵し、得られた仔魚のうち約158,000尾を試験に用いた。

仔魚の飼育

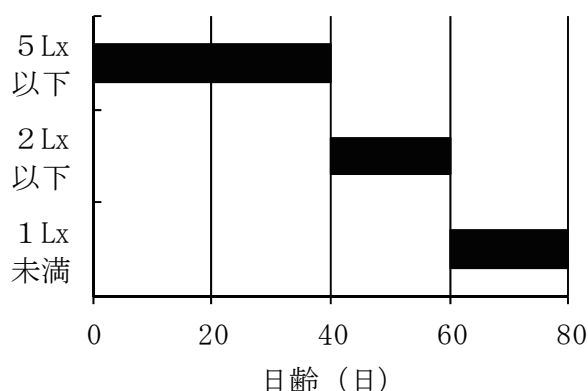
仔魚の飼育は初期飼育と二次飼育に分けて行った。初期飼育は、仔魚約158,000尾を水量1.0kLの円形FRP水槽2槽および水量1.5kLの角形FRP水槽1槽に同じ密度に

なるように分槽して、ふ卵時と同様の流水条件で行った。

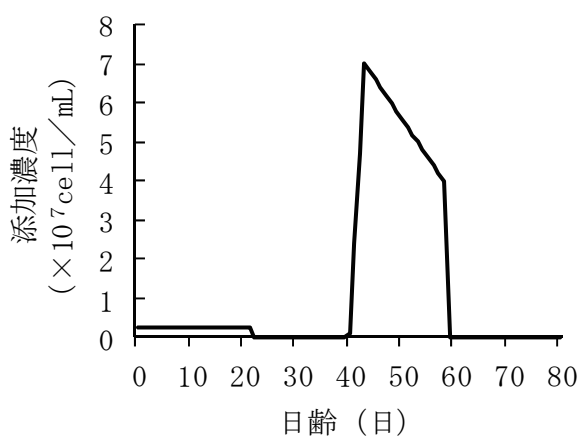
二次飼育は、日齢23日に3水槽からすべての仔稚魚(約40,000尾)を回収して、直径7m、水量30kLの円形コンクリート水槽(以下、円形水槽)1面へ移して開始した。二次飼育での換水率は50日までは2.5回/日、51日目から飼育終了時の79日までは5.5回/日とした。調温は行わず自然水温としたため、二次飼育での水温は19.0–23.0°Cであった。仔稚魚は70日に体長が45mmに達して放流可能サイズになったため、72、77、78、79日の4回に分けて回収し、飼育を終了した。

飼餌料

本県で実施した過去の生産試験と同様とした⁹⁾。初期餌料としてシオミズツボウムシ *Brachionus plicatilis* sp. complex (以下ワムシ) を用いたほか、仔稚魚の成長にあわせてアルテミアふ化幼生および配合飼料を給餌した。



a. 水面照度



b. ナンノクロロプシス添加濃度

図1 照度およびナンノクロロプシス添加濃度の推移

水槽の明るさ抑制

仔稚魚の噛み合いを抑制するため、水槽上面の照度を低下させた。照度の低下操作として、飼育室の窓を暗幕で覆い、室内照明の蛍光灯をポリエステル樹脂膜(ユニチカエステル帆布ライティE6050、ユニチカ株式会社)で覆った。照度は仔稚魚の成長に応じて徐々に低下させることとし、飼育水槽の水面での照度は1–40、41–60、61日以降でそれぞれ5Lx以下、2Lx以下、1Lx未満となるように調整した(図1 a)。

また種苗の噛み合いが見られ始めたため、日齢40日以降は水面照度の低下操作と併せて飼育水にナンノクロロプシス *Nannochloropsis* sp. を1日1回添加してさらに水中の明るさを低下させた。ナンノクロロプシスの添加は40日から開始して、43日までに 7.0×10^7 cell/mLまで増加させ、さらに58日までに 4.0×10^7 cell/mLまで徐々に減少させた。59日以降は添加しなかった(図1 b)。

噛み合いによる尾鰭欠損面積の割合

80日目に稚魚45尾を任意に抽出し、畑中⁵⁾に従って目視による尾鰭側面の観察を行い、噛み合いによる尾鰭欠損面積の割合を測定した。

統計処理

本試験の統計処理には、統計処理ソフト「R version 3.3.2 (2016–10–31), The R Foundation for Statistical Computing.」を用いた。

結果

最終的に4回の回収で得られたトラフグ稚魚数は32,512尾であった。初期飼育および二次飼育での生残率はそれぞれ25.3%、81.3%、通算した生残率は20.6%であった(表1)。飼育密度は初期飼育開始時で45,143尾/kL、同終了時11,429尾/kLであり、二次飼育開始時は1,333尾/kL、同終了時は1,083尾/kLであった(表1)。

水槽内の目視観察では、35日目に初めて明確な噛み合いが確認された。43日目には稚魚が近接する別の稚魚を頻繁に突く行動が複数の個体で確認され、噛み合いが激化していた。これに対し、照度を下げてナンノクロロプシスを添加した44日以降は頻繁な噛み合いは確認できなかった。

尾鰭欠損面積の割合については、尾鰭欠損無しの稚魚が45個体中34個体と75%以上を占め、全ての稚魚の尾鰭残存面積は8割以上であった。

初期飼育中の仔稚魚は個々に別の方向への遊泳を行うことが多く、群れとして同一方向へ遊泳することは見ら

表1 神奈川県および他機関トラフグ種苗飼育の比較

			本試験	他機関 ^{※1}
初期飼育	飼育水槽 a	kL × n ¹	1 × 2	40 × 3
	飼育水槽 b	kL × n ¹	1.5 × 1	-
	飼育期間	Days	22	56
	開始時密度	n ² /kL	45143.0	6242.0 ^{※2}
	終了時密度	n ² /kL	11429.0	476.0 ^{※2}
	生残率 *	%	25.3	15.2
	減少速度	%/day	3.4	1.5
	開始時体長	mm(M±SE)	3.5±0.1	- ^{※3}
	終了時体長	mm(M±SE)	8.1±1.2	29.6±2.0
	成長速度	mm/day	0.2	- ^{※3}
二次飼育	飼育水槽	kL × n ¹	30 × 1	40 × 3, 35 × 4
	飼育期間	Days	51	21
	開始時密度	n ² /kL	1333.0	439.2
	終了時密度	n ² /kL	1083.0	363.5
	生残率 *	%	81.3	86
	減少速度	%/day	0.4	0.7
	開始時体長	mm(M±SE)	8.1±1.2	26.5±4.4
	終了時体長	mm(M±SE)	44.0±5.9	46.0±9.4
	成長速度	mm/day	0.7	0.9
	通算	生残率 *	%	20.6
減少速度		%/day	1.1	1.1
成長速度		mm/day	0.6	- ^{※3}

* : 有意差あり (p < 0.05, カイ 2 乗検定)、n¹ : 水槽数、n² : 仔稚魚数

※1 : 比較対象の他機関として静岡県温水利用研究センター⁸⁾試験結果を引用した。

※2 : 静岡県温水利用研究センター⁸⁾にて最も生残率の高い水槽「No. 3」から算出した。

※3 : 静岡県温水利用研究センター⁸⁾では初期飼育開始時の体長が記述されていないため、初期飼育開始時の体長および成長率、通算生残率は算出しなかった。

れなかった。一方、二次飼育では単独遊泳する仔稚魚は少なく、ほぼすべての仔稚魚が水槽の壁面に沿うように一定の方向性のある群れのような遊泳を見せた。また、仔稚魚の全長は図2のとおりに推移した。日齢35日前後では全長のばらつきが広がる傾向が見られた(図2)。

考 察

これまでの飼育例との比較

本試験および他機関飼育例の比較を表1に示した。比較する他機関として、本試験と同様に伊勢・三河系群由来のトラフグ受精卵を用いて稚魚を生産した静岡県温水利用研究センター⁸⁾の生産試験報告を引用した。

なお、伊勢・三河系群由来のトラフグ受精卵を用いて稚魚を生産している機関として愛知県および三重県があるが、愛知県は生産中に仔稚魚を間引いて飼育密度を低下させているため飼育密度を比較できないこと、三重県は生産過程を初期飼育、二次飼育に分けておらず本試験との比較には適さないと判断したため、両県は比較対象としなかった。

飼育密度に着目すると、今回の生産試験におけるふ化仔魚の飼育密度は初期飼育開始時点で45,143尾/kL、二次飼育開始時点で1,333尾/kLであり、他機関に比べて著しく高かった(表1)。初期飼育の収容密度に明らか

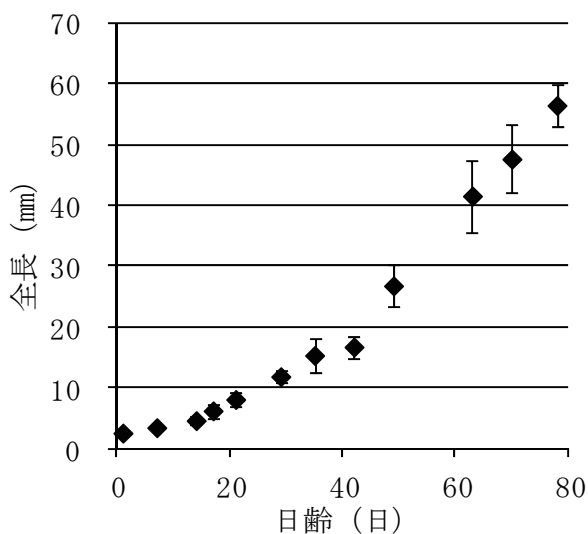


図2 仔稚魚全長の推移

複数の大型水槽を使用して仔魚飼育を開始したことに対して、本試験では少数の小型FRP水槽を使用して飼育を開始したためである。二次飼育収容密度に差が見られる理由についても初期飼育と同様で、飼育水量が本試験では著しく少なかったことが原因であると考えられる。また生残率に着目すると、初期飼育および二次飼育とも有意な差が見られ、初期飼育では本試験が有意に高く、二次飼育では他機関が有意に高かった。初期飼育および二次飼育で差が見られた理由は、飼育期間の長短によるものであることが可能性として考えられる。初期飼育は他機関が本試験よりも期間が長かったことから、より種苗の減耗が進むことで生残率が下がり、同様に二次飼育は本試験が他機関よりも期間が長かったことから、生残率がより低下したことが考えられる。さらに初期飼育開始から二次飼育終了までの通算生残率は本試験が20.6%、他機関では12.6%となり、本試験が有意に高かった。このことから、今回の生産試験では他機関に比べて仔稚魚を高密度に飼育すると同時に、仔稚魚の減耗を抑えることができたと考えられた。

稚魚の成長と噛み合い

本試験での噛み合い発生頻度として日齢35日に明確な噛み合いが見られ、43日には噛み合いの激化を確認した。噛み合いが発生、激化した理由としては全長の大小差による影響が大きいと考えられ、日齢35日前後では全長のばらつきが広がる傾向が見られた(図2)。トラフグ仔稚魚の「噛み合い」はマダイやブリなど他の魚種における「共食い」と同様の条件で発生

するとされる⁵⁾。一般的に人工飼育下の稚魚の「共食い」は、個体間の大小差が大きい場合、餌が不足した場合、あるいは高密度で飼育した場合に大型個体が小型個体を攻撃することで発生する¹⁰⁾。トラフグ仔稚魚の「噛み合い」も、大小差、餌不足、高密度下で発生することが確認されている^{11,12)}。さらに大上ら¹¹⁾は、特に個体間の大小差がトラフグ稚魚の「共食い」の発生要因として強く働くことを報告している。また噛み合いによる尾鰭欠損面積の割合に着目すると、本試験で回収された稚魚は全て尾鰭の残存面積が8割以上であった。一方で他機関が生産した全ての稚魚は尾鰭の残存面積が7割以上であったと報告されており⁷⁾、噛み合いによる尾鰭の欠損頻度は他機関と同程度に抑えることができたと推測された。

明るさ低減の効果

43日目以降に噛み合いが抑制された理由は、第一に明るさを低減させたことによって仔稚魚が互いを視認しにくくなったことが考えられた。トラフグ稚魚の噛み合い発生と照度の関係としては、畑中⁵⁾が高照度下(照度4,000Lx)および低照度下(照度1,000Lx)でトラフグ稚魚を飼育した場合に、高照度下に比べて低照度下では噛み合いが抑制されることを報告しているほか、実際の生産現場においても低照度下で噛み合いが抑制されることが知られていることから^{7,8)}、本試験でも同様の抑制効果が得られたことが推測できる。特に本試験では水面照度を5Lx以下とした上で、さらに40日目以降にはナノクロロプシスを添加して稚魚の飼育環境の明るさを過去の飼育例にはないほどに低減させた。この大幅な明るさの低減が、噛み合いを抑制して高密度の飼育を実現させた可能性が高い。

第二の理由として、極めて低い明るさが稚魚の集群傾向を防いだことが考えられた。トラフグ稚魚は正の走光性を持つことが報告されており¹³⁾、高照度下で飼育した場合、明るい場所に稚魚が集まり稚魚どうしの近接や接触が頻発して噛み合いにつながることを推測される。

稚魚の遊泳行動

日齢6日以降のトラフグ仔稚魚は方向性の定まらない単独的遊泳行動を行い、遊泳中に接触した個体同士が噛みあうことが報告されている⁴⁾。しかし本試験では日齢6日以降の仔稚魚は単独で遊泳を行わず、円形水槽の壁に沿って一方向に泳ぎ続ける群れのような遊泳を見せた。このため、個別に無方向な遊泳を行った場合に比べて仔稚魚の接触頻度が減り、噛み合いが抑制された可能性がある。黒色水槽に収容した日齢45日のトラフグ稚魚は壁

面から少し離れて水槽の壁面に沿って遊泳したことに対し、白色水槽に収容した稚魚はそのような遊泳行動を見せなかったことが報告されている⁵⁾。もし、この黒色水槽での遊泳が本試験で見られた群れのような遊泳と類似したものであるとするなら、低い明るさがトラフグ稚魚の遊泳行動に影響を与え、群れのような一方向の遊泳を発現させた可能性は考えられる。

本試験の結果から、トラフグ仔稚魚を一方向へ遊泳させることで、噛み合いが抑制されるほか、水面の明るさを低く保って飼育することで一方向への遊泳が発現する可能性を示すことができた。しかし、稚魚の遊泳に影響を与える他の要因としては塚本¹⁴⁾がアユ種苗は種苗性によって遊泳行動を変えると報告していることから、トラフグ仔稚魚でも種苗性が遊泳に影響を与える可能性がある。そのほか、水中照度、飼育水槽内の水流、外敵の存在なども要因として推測される。今後の試験では、それらの要因についてもトラフグ仔稚魚の遊泳に与える影響を検討する必要がある。

謝 辞

今年度のトラフグ種苗生産試験の実施に当たり、協力していただいた国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所ウナギ種苗量産研究センターの皆様へ深謝申し上げます。

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, 東京, 16-27.
- 2) 水産庁 増養殖推進部 (2015) : 平成27(2015)年度トラフグ伊勢・三河系群の資源評価, 平成27年度我が国周辺水域の漁業資源評価 (魚種別系群別資源評価・TAC種以外), **3**, 1787-1813.
- 3) 藤田矢郎 (1975) : 稚魚の大量飼育, 「水産学シリーズ8 稚魚の摂餌と飼育 (日本水産学会編)」, 恒星社厚生閣, 東京, 100-113.
- 4) 鈴木伸洋・岡田一宏・神谷直明 (1995) : 人工飼育トラフグ仔稚魚期の器官形成と行動の変化, 水産増殖, **43**(4), 461-474.
- 5) 畑中宏之 (1997) : トラフグ稚魚の成長と尾鰭の形状に及ぼす飼育水槽の色, 照度および飼育密度の影響, 日本水産学会誌, **63**(5), 734-738.
- 6) 松村靖治 (2005) : 有明海におけるトラフグ *Takifugu rubripes* 人工種苗の当歳時の放流効果と最適放流方法, 日本水産学会誌, **71**(5), 805-814.
- 7) 三重県栽培漁業センター (2014) : 平成26年度三重県栽培漁業センター三重県尾鷲栽培漁業センター事業報告書, 公益財団法人三重県水産振興事業団, 三重, 8-9.
- 8) 静岡県温水利用研究センター (2014) : 平成26年度静岡県温水利用研究センター業務報告, 静岡県・静岡県漁業協同組合連合会・静岡県温水利用研究センター, 静岡, 33-38.
- 9) 神奈川県水産技術センター (2013) : 平成25年度神奈川県水産技術センター業務概要, 神奈川県水産技術センター, 神奈川, 35-36.
- 10) 倉田博 (1975) : 飼育条件と発育, 「稚魚の摂餌と発育 (日本水産学会編)」, 恒星社厚生閣, 東京, 45-56.
- 11) 大上皓久・鈴木雄策 (1982) : トラフグ稚魚の歩留まりと共食いにおよぼす飼育条件の検討, 静岡県水産試験場研究報告, **16**, 79-85.
- 12) 韓慶男・松井誠一・古市政幸・北島力 (1994) : トラフグ幼稚仔の収容密度が尾鰭欠損率に及ぼす影響, 水産増殖, **42**(4), 507-514.
- 13) 井上実 (1972) : 魚類の対光行動とその生理, 日本水産学会誌, **38**(8), 907-912.
- 14) 塚本勝己 (1994) : アユの回遊メカニズムと行動特性, 「現代の魚類学 (上野輝彌・沖山宗雄編)」, 朝倉書店, 東京, 100-133.

