

全雄トラフグの種苗生産技術について

長崎県総合水産試験場 種苗量産技術開発センター

魚類科 研究員 濱崎将臣

はじめに

長崎県総合水産試験場（以下、長崎水試）は、2015年にトラフグを選択的に市場価値の高い雄にする全雄トラフグ（以下、全雄）の作出技術を確認しています。高価な白子を持つ雄トラフグは、雌より高値で取引され、さらに白子の需要が高まる12月までの年内に最も高値となります。通常、白子は年明け頃から大きく発達していきますので、それより早く年内に白子が大きくなるトラフグは希少価値が高いため高値で取引されています。このような形質を我々は白子早熟形質と呼んでいます。長崎水試が目指す全雄の姿は、「白子に経済的優位性を持たせた」早熟形質を有する全雄です。現在、長崎水試が開発した全雄は、技術開発の段階から実用化を目指した県内養殖場への普及段階へ移行し、市場導入を進めています。今回は、全雄の市場導入に向けた取組を中心に概要を紹介します。

全雄の作出方法

トラフグの性決定は、ヒトと同じくXX/XY型の遺伝様式を示し、XYが雄、XXが雌となります。このように、Y染色体を保有すると雄になり、この染色体は雄親から子に引き継がれます。雄が生産する精液には、X染色体を保有する精子とY染色体を保有する精子（以下、X精子およびY精子）の2種類が同数含まれますが、Y精子しか生産しない雄個体を作ることができれば、次世代は全てXYの雄、つまり全雄となります。これを可能とする雄が、“超雄トラフグ（以下、超雄）”です。超雄は、Y染色体のみを保有するため、生産する精子にはY精子しか存在しません。したがって、超雄を作出できれば、全雄種苗の生産は実現可能となります。

長崎水試では、超雄を作出する方法

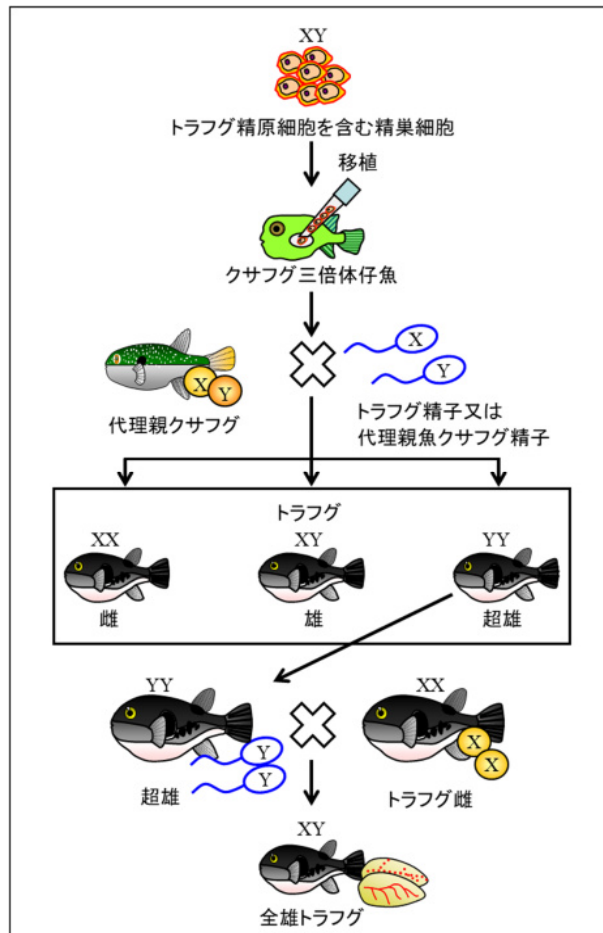


図1. 代理親魚技法を用いた全雄トラフグ種苗生産

として代理親魚技法に注目しました。代理親魚技法とは、生殖細胞の移植により目的の魚の卵や精子を別種の魚、あるいは同種であっても別個体に生産させる技術です。すでに、東京海洋大学の吉崎教授のグループがサケ科魚類を用いた先行研究を行っており、代理親魚ヤマメがニジマスの卵や精子のみを生産することを明らかとしました。さらに、トラフグと同様の性決定様式であるニジマスでは、移植した精原細胞の Y 染色体を保持した卵（以下、Y 卵）が生産され、これを通常の精子と受精させることで YY 型の超雄個体が作出でき、超雄個体（YY）と通常の雌個体（XX）を交配させると、次世代は全て通常の雄と同じ XY の染色体を持つ雄になりました。この一連のサケ科魚類の研究を応用し、トラフグ精巣からトラフグ精原細胞を含む精巣細胞（ドナー細胞）を調製し、トラフグ仔魚に移植することを計画しました。しかし、ここで2つの大きな障害がありました。1つ目は、雌トラフグが成熟するまでに3年を要すること、2つ目はトラフグの成熟サイズが約1kg以上と非常に大きいため大規模な飼育施設が必要となることでした。これを解決するため、トラフグより成熟期間が短く、成熟サイズも小型のクサフグを代理親魚とし、トラフグのドナー細胞をクサフグ仔魚へ移植しました。その結果、代理親魚クサフグは、雄では11ヶ月、雌では2年で成熟し、正常なトラフグ配偶子を生産しました。さらに、これら代理親魚である雌クサフグと雄トラフグを交配することで超雄が作出でき、成熟した超雄から得られた次世代は全て雄トラフグになっていることを確認しました（図1）。

養殖試験

1) 長崎水試による陸上養殖試験

2015年2月に雌トラフグ1尾から得られた卵を6等分し、超雄と通常雄それぞれ3尾分の精子を受精させ6種の種苗を生産しました。受精率は、超雄交配群（全雄種苗）では93~96%、通常雄交配群（通常種苗）では73~89%、ふ化率は、超雄交配群では57~79%、

通常雄交配群では37~84%であり、両者に有意な差は認められませんでした（表1）。また、10cmサイズまでの成長や生残率についても有意な差は認められず、種苗生産期において全雄

表1 超雄交配群（全雄種苗）と通常雄交配群の発生率および雌雄比

雄親魚	受精率 (%)	ふ化率 (%)	雄の割合 (%)		
			日齢5	日齢130	日齢630
超雄 #1	93.2 (124/133)	71.3 (87/122)	100 (50/50)	100 (10/10)	100 (5/5)
超雄 #2	96.3 (105/109)	78.9 (86/109)	100 (50/50)	100 (10/10)	100 (5/5)
超雄 #3	93.1 (94/101)	57.4 (58/101)	100 (50/50)	100 (10/10)	100 (5/5)
通常 #1	72.5 (79/109)	36.7 (40/109)	52 (26/50)	60 (6/10)	60 (3/5)
通常 #2	89.0 (89/100)	84.0 (84/100)	64 (32/50)	40 (4/10)	60 (3/5)
通常 #3	85.2 (104/122)	41.0 (50/122)	58 (29/50)	60 (6/10)	40 (2/5)

種苗はこれまでのトラフグ種苗生産と同様の手法で生産可能であることを確認しました。また形態異常魚の出現もありませんでした。なお、超雄交配群の次世代が雄であることをDNAおよび生殖腺の形態（卵巢腔の有無）から確認しました（表1）。

10cm サイズからそれまで個別に飼育していた6種の種苗を、125尾ずつ個体識別し円形30㎡水槽1つに収容し、出荷サイズ約1kgまで飼育を継続しました。2017年1月に全尾を取上げ、生残尾数、体重、白子重量を測定した結果、全雄種苗は、通常のトラフグ種苗と比較して生残率、成長、白子重量に有意な差は認められませんでした(図2)。以上が、長崎水試施設内で行った陸上養殖試験の結果です。

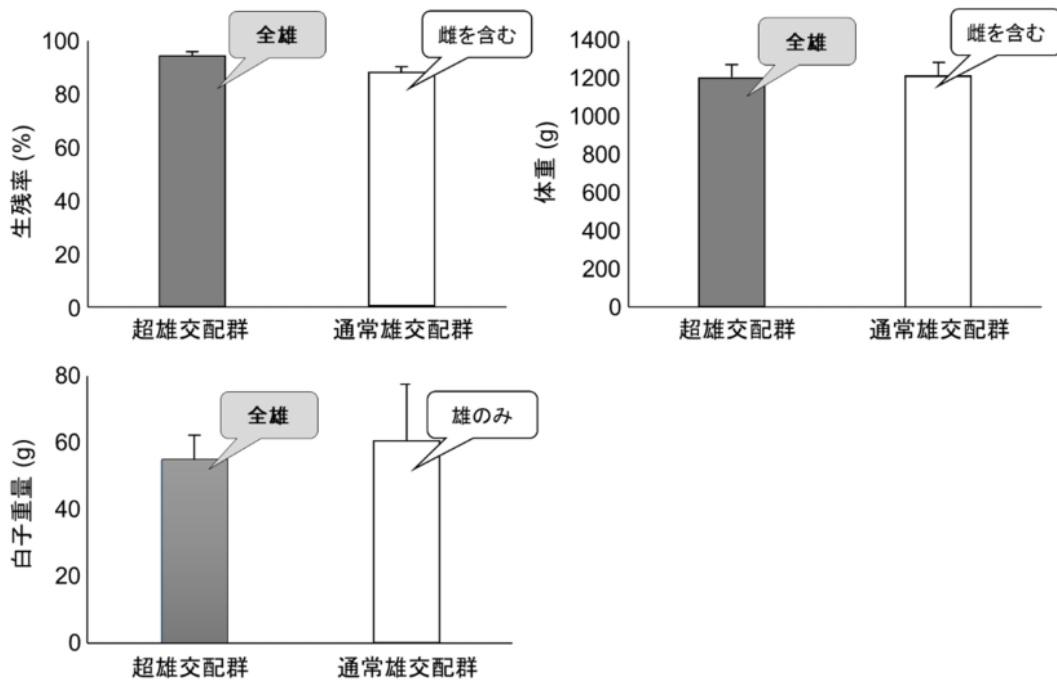


図2. 超雄交配群(全雄種苗)と通常雄交配群の生残率、体重、および白子重量

2) 民間による種苗生産試験と養殖試験

前述の養殖試験では、全雄種苗の生産から養殖までを長崎水試が実施しました。しかし、全雄の養殖を実用化させるためには、民間の種苗生産機関が全雄種苗を生産し、その種苗を購入して養殖業者が養殖を行う体制、つまり現在のトラフグ養殖と同様の体制づくりが必要です。このため、2018年からは民間の種苗生産機関による全雄の種苗生産試験と、生産された全雄種苗を購入した養殖業者による養殖試験に取り組みました。

種苗生産試験は、長崎水試から超雄の精子を種苗生産業者へ提供し、各業者が保有している雌親魚と交配させ全雄種苗生産を実施します。各業者は、受精率、ふ化率、および生残率等の種苗生産に関するデータを長崎水試へ報告します。種苗生産業者に対する禁止事項として、「超雄精子およびこれを用いた受精卵の譲渡および転売」および「養殖試験参加者以外への全雄種苗の販売」を定め、これら試験内容や禁止事項の遵守について長崎水試と試験に参加する種苗生産業者と覚書を締結し、試験を実施しています。これまで5ヶ年間試験を実施してきましたが、受精率等のデータはこれまでのトラフグ種苗と同等の成績でした。民間種苗生産機関においても、これまでのトラフグ種苗生産手法と同様の方法で全雄種苗の生産が可能であることを再確認でき

ました。なお、毎年、各業者が生産した種苗が雄になっているかをふ化仔魚の DNA から雌雄判定し、検査した全ての個体が雄であることを確認しています。

養殖試験の参加者は県のホームページで公募を行い、応募資格として県内の養殖業者であって、長崎県適正養殖業者認定証*を取得している養殖業者としています。参加者である養殖業者に対しては、出荷までの生残率や成長等の飼育に関するデータと市場評価に関するデータの報告と禁止事項として「全雄種苗の譲渡、転売」、「県外への種苗生産用親魚としての販売」を定め、これらの試験内容や禁止事項遵守についての同意書を提出していただいています。

2018 年から 2022 年までに行った養殖試験の経緯を表 2 に示します。当初 7 業者であった養殖業者は徐々に増加しており、これに伴い養殖開始尾数も増加し、県内へ全雄養殖が普及しつつあります。

表 2 全雄トラフグ養殖試験経緯

	年度	種苗生産業者数	養殖業者数	養殖開始尾数
試験終了	2018	1	7	47,000尾
試験終了	2019	4	19	143,500尾
試験終了	2020	6	18	195,300尾
実施中	2021	4	16	178,500尾
実施中	2022	6	15	171,300尾

表 3 全雄トラフグ養殖試験結果

試験年度	生残率	出荷サイズ(成長)	単価	出荷量
2018	6割 (±0)	1.18kg (+50g)	¥2,254 (+¥183)	33トン
2019	4割 (±0)	1.22kg (+50g)	¥2,189 (+¥236)	58トン
2020	5割 (±0)	1.34kg (+80g)	¥2,631 (+¥202)	105トン

※()内は通常トラフグとの差

このうち市場への出荷が完了した 2018 年から 2020 年までの試験結果の概要を表 3 に示します。全雄の生残率は通常トラフグ

と同等で、出荷サイズは大きく成長が良いとの評価でした。そして、最も注目される販売単価ですが、通常トラフグの約 1.1 倍（200 円程度のプラス）の高値で取引さされていました。トラフグは 11 月から 3 月が主な出荷時期であり、表に示した単価はその期間の平均値です。実際、全雄は白子の需要が高まる年内までは高値で取引されている実態が確認でき、12 月に通常トラフグより千円程度高値で取引されている事例もありました。なお、3 ヶ年の出荷実績の合計は 196 トンでした。全雄導入による生産額の増加を、全雄および通常トラフグの出荷尾数、出荷サイズ、販売単価から試算したところ、3 ヶ年合計の生産額の増加は 6,196 万円でした。養殖試験に参加し出荷実績のある養殖業者は延べ 36 業者になるため、1 業者あたり約 170 万円の収益向上に貢献したことになります。

これまでの養殖試験をまとめると、通常のトラフグ種苗と全雄種苗を比較すると生残率に差はなく、成長は良く、さらに高値で取引されている現状から市場でも高い評価を受けていると考えられます。また、これまでのトラフグ種苗生産並びに養殖と同様の手法が活用できることから、新たな設備投資は不要です。

※長崎県適正養殖業者認定証

適正養殖業者認定制度において生産した養殖魚が安全・安心であるという情報提供能力を有する養殖業者に発行する認定証。詳細は長崎ホームページ参照。

<https://www.pref.nagasaki.jp/bunrui/shigoto-sangyo/suisangho/yosyoku/tekisei-yosyoku/>

今後の展望

引き続き、全雄の販売単価を調査し、全雄の導入がトラフグ市場に与える影響を検証することで、供給量を決定する根拠としていく予定です。今後も関係者と協議を行いながら、全雄の供給体制および適正価格を維持していく仕組みを構築していくことが必要と考えます。現在のところ、市場関係者等からは全雄の導入が白子の過剰供給を促したという事実はないとのことでした。したがって、需要に応じ段階的に増産をしていきながら、供給量を見極めていくことが重要となります。

全雄の強みは相場に左右されず高値で取引されることに加え、仲買や料理店のニーズに応じて雄だけを選択的に販売できることが挙げられます。例えば、白子入り雄を1,000尾という注文があった場合、これまでは養殖業者が1尾ずつ触診して白子があるかどうか選別しながら出荷をしていました。しかし、全雄の生簀があれば、そのような労力は必要なく迅速かつ確実に注文に応えることが可能です。

冒頭述べたように長崎水試が目指す全雄は、年内に白子を持つトラフグです。養殖試験では、価格の調査と併せて年内に白子が入っているかの調査も行い早熟性を検証し交配パターンに反映させています。また、長崎水試では、遺伝子の情報を利用して白子早熟形質を有する個体を選抜できる研究開発を進めています。研究が進めば、白子早熟形質を受け継ぐ超雄を効率的に選抜することが可能となり、その子である全雄は早熟の全雄になります。また、早熟形質のトラフグをドナーにすることで高確率に早熟形質の超雄の作出が可能となり、この超雄からも早熟の全雄が誕生します。まずは、早熟の全雄の生産技術を確立し、その後、育種技術を駆使し、消費者および養殖業者ニーズに応えた様々なバリエーションを持つ付加価値の高い全雄の開発に取り組むと考えています。