

以上のことより、前作にエダマメを栽培し、後作として秋ダイズを栽培する二毛作によって、収量性を高めることは可能であり、耕作地の利用率の向上と、農家の収益率の向上に有効であることを示唆した。

よって、本論文は博士(農学)の学位論文として価値あるものと認める。なお、審査にあたっては、論文に関する専攻内審査および公聴会など所定の手続きを経たうえ、平成21年2月9日、農学研究科委員会において、論文の価値ならびに博士の学位を授与される学力が十分であると認めた。

氏 名	きむ やん すう 金 良 洙 (Kim, Yang-Su)
学位の種類	博 士 (農学)
学位記番号	農 第 1 3 0 号
学位授与の日付	平 成 2 1 年 3 月 2 1 日
学位授与の要件	学位規程第4条第1項該当
学位論文題目	交雑魚マダイ×クロダイの生物および栄養学的研究 (Biological and Nutritional Studies on Hybrid between Red Sea Bream and Black Sea Bream)
論文審査委員 (主 査)	教 授 滝 井 健 二
(副主査)	教 授 太 田 博 巳
(副主査)	教 授 澤 田 好 史
(副 査)	教 授 村 田 修

## 論文内容の要旨

交雑魚マダイ、*Pagrus major* 雌×クロダイ、*Acanthopagrus schlegelii* 雄 ( $F_1$ ) は、1960年代に世界で初めて本学水産研究所白浜実験場で作出され、魚体重180 gまではマダイに類似する優れた成長を示すこと、形質は両親魚種の間であること、高・低水温、低比重および低DOに対する耐性が高く、しかも、不稔であることなどが明らかにされている。これら $F_1$ における特性・形質は、魚類の養殖生産地を拡大するのに適しており、特に、冬季に低水温で養殖被害が発生する寒冷地において、新養殖魚種として普及できる高い可能性が推察される。そこで、本研究では(1)  $F_1$ の初期発育、成長および環境耐性について詳細に検討した後、(2) タンパク質、脂質およびビタミンC (AsA) を中心に、栄養要求に関する基礎的知見を集積し、次いで、(3) 実用配合飼料開発のために大豆粕 (SBM) の利用とフィターゼの添加効果について検討した。最後に、(4)  $F_1$ 受精卵、稚魚および成魚を韓国に輸送し、種苗生産や養成について問題点の抽出をおこなった。本研究の成果が東南アジア、とりわけ、韓国および中国の魚類養殖産業の発展に貢献できれば望外の喜びである。

(1)  $F_1$ の生物学的特性の一端を明らかにするため、卵発生、初期発育、成長、環境耐性および形態異常について検討した。 $F_1$ 受精卵の受精率と浮上率には両親魚種との間に種間差はなく、正常孵化率は低かったが、ふ化仔魚全長は2.3 mmでマダイとクロダイの間であった。ふ化300日後までは $F_1$ の成長が両親魚種より優れていたが、それ以降はマダイより劣った。沖出し前および後における $F_1$ 稚魚の高・低水温と低比重に対する耐性は、両親魚種の間であった。次に、ふ化2日から62日後までの形態異常についてみると、いずれの魚種でもふ化22日後までは徐々に減少したが、それ以後は増加する傾向がみられ、 $F_1$ における出現率は15~30%と両親魚種より高く、その過半数は椎骨の形態異常・癒合および脊椎骨縦彎のいずれか、あるいはそれらの複合によるものであった。このように $F_1$ はマダイに比べて、稚魚期の成長や環境耐性は優れていたが、正常ふ化率は若干低く形態異常も多かったことから、 $F_1$ の種苗生産には細心の注意を払う必要があることが示唆された。しかし、マダイ卵の採取は容易であるので、種苗生産に当たって大きな問題はないと考えられた。

(2)  $F_1$ のタンパク質、脂質およびAsA要求性・量について検討した。沿岸魚粉

(FM) とスケトウダラ肝油 (PLO) の配合割合を相補的に変化させた飼料で、魚体重0.32および3.7 gの $F_1$ 稚魚を飽食給与して、それぞれ2週間(試験-1)および4週間(試験-2)飼育した。試験-1では、FM62%・PLO5%飼料区の各種飼育成績、栄養素およびエネルギー蓄積率などが優れていた。同様に飼育したマダイでは $F_1$ よりかなり劣ったが、FM69%・PLO0%飼料区が高かった。試験-2では、 $F_1$ はFM46%・PLO15%、マダイはFM54%・PLO10%の飼料区で優れた飼育成績、栄養素およびエネルギー蓄積率が得られた。また、 $F_1$ の肝臓GPT活性はマダイより有意に低かった。次いで、 $F_1$ のAsA要求性・量をL-AsA-2-モノリン酸Mg塩 (APM) を用いて調べた。FM46%・PLO15%飼料にAPMを0, 50, 100および200 mg/kgに添加して6週間飼育したところ、飼育成績や栄養素蓄積率にAPM添加量の違いに基づくと考えられる差異はなく、AsA欠乏症も認められなかった。しかし、脳や肝臓のAsA含量はAPM50 mg/kg飼料以上の添加区ではほぼ等しい高い値が得られた。以上の結果から、 $F_1$ 稚魚はマダイ稚魚に比べて飼料タンパク質要求量は低く、逆に脂質利用能が優れていること、さらに、 $F_1$ 稚魚はAPMをAsA源として利用でき、その要求量は50 mg/kg飼料、AsAに換算すると18 mg/kg飼料か、それ以下であることが明らかになった。

(3) FM46%・PLO10%の魚粉飼料 (C) と、その魚粉を減量してSBMを20および40%配合した $S_{20}$ および $S_{40}$ 、そして $S_{40}$ にフィターゼを2500 unit/kg飼料で添加した $S_{40}P$ などを、魚体重49 gの $F_1$ 稚魚に飽食給与して12週間飼育した。成長や飼育成績、各種蓄積率、消化率などはSBMの増加に伴って低下し、Cと $S_{40}$ 区間に有意な区間差がみられたが、全魚体と肝臓の一般成分に差異はなかった。一方、 $S_{40}P$ 区の成長や飼育成績、各種蓄積率などは $S_{40}$ 区より有意に改善し、リン排泄量は他の区より著しく少なかった。そこで、至適なフィターゼ添加量を調べるため $S_{40}$ 飼料にフィターゼを1000, 2000, 3000そして4000 unit/kg添加した飼料で、魚体重76.1 gの $F_1$ 稚魚を16週間飼育したところ成長や飼育成績、タンパク効率、各種蓄積率などに有意な区間差はなかったが、フィターゼ添加量が増加するに伴って改善する傾向がみられ、2000 unit/kg以上の添加区ではほぼ一定の高い値が得られた。また、リン消化率と脊椎骨のリン含量およびリン排泄量は、2000 unit/kg以上の添加区で優れていた。以上の結果から、40%SBM飼料への至適なフィターゼ添加量は2000 unit/kgであり、飼料価

## 論文審査結果の要旨

格の低減に資する貴重な知見が得られた。

(4) これまでの本研究から、交雑魚 $F_1$ は速い成長、高い環境耐性、低タンパク質とAsA要求性そして高いSBM利用性を持つことが示され、新養殖魚種として優れた形質を持つことが判明した。そこで、冬季低水温でマダイが斃死する韓国に実際に移植し、種苗生産および養成飼育における問題点を把握しようとした。受精卵を空輸および陸送で慶尚南道統営市の民間種苗生産施設に輸送・収容し、通常の餌料系列で初期飼育を行ったところ、種苗までの生残率に大きな問題はなかったが、その殆どに脊椎骨の変形をはじめとする形態異常が認められた。その主な原因として輸送による酸素欠乏が考えられるが、現地の種苗生産技術の低さも無視できないことも示唆され、韓国の選抜育種クロダイと近大系マダイを用いた人工受精を現地で実施する有効性が推察された。一方、 $F_1$ 稚魚と成魚を海路で慶尚南道統営市の民間養殖施設に運搬し、網生養で冬季を含む長期間の飼育試験を行ったところ、稚魚および成魚はマダイと同等の優れた成長を示し、高い生残率を維持した。したがって、 $F_1$ は韓国を含めた寒冷地でも安定的な生産が可能であると判断され、新養殖魚種として有望であることを確認した。

以上の本研究から、 $F_1$ は養殖魚種の多様化、養殖可能範囲の拡大、飼料コストの低減、富栄養化の防止など、多くの経済および環境的な利益を提供する新養殖魚として価値あることを示すことができた。

我が国における魚類養殖は、長引く景気低迷による消費の落ち込みで、価格や生産量が急激に減少し、将来に対する大きな不安を抱えている。しかし、海外における魚類養殖は急激に拡大して、生産量は大幅に増加している。今後は、魚類養殖もこれまでのように、限られた地域・国内における事業にとどまるのではなく、東アジア、東南アジア、さらには地球規模での展開が必要になる。そこで、本研究ではこの先駆けの一つとして、魚類養殖が不適当であった環境・海域での生産を可能にし、良質タンパク源・食糧の確保を進めるために、新養殖魚種マダイ、*Pagrus major* 雌×クロダイ、*Acanthopagrus schlegeli* 雄 ( $F_1$ ) に関する研究を実施した。 $F_1$ は本学水産研究所白浜実験場で1960年代に世界で初めて作出され、両親魚種の中間的形質を発現し、マダイに類似する優れた成長や、高・低水温、低比重および低DOに対する高い耐性を持ち、しかも、不稔であることなどが明らかにされている。まず第1章では、 $F_1$ の初期発育、成長および環境耐性について詳細に検討し、第2章でタンパク質、脂質およびビタミンC (AsA) を中心に、栄養要求に関する基礎的知見を得た。次いで第3章では、実用配合飼料開発のために大豆粕 (SBM) の利用性とフィターゼの添加効果について検討し、第4章では、 $F_1$ 受精卵、稚魚および成魚を韓国に輸送・飼育し、実際の種苗生産や養成について問題点の抽出をおこなっている。それらの詳細は以下のようなものである。

第1章： $F_1$ の卵発生、初期発育、成長、環境耐性および形態異常について検討し、 $F_1$ 受精卵の受精率と浮上率に両親魚種との差異はなかったが、正常孵化率は低く、ふ化仔魚全長はマダイとクロダイの間であった。ふ化300日後までは $F_1$ の成長が両親魚種より優れ、それ以降はマダイが優れていたが、 $F_1$ 稚魚の高・低水温と低比重に対する耐性は、マダイより高くクロダイより低かった。次に、形態異常はいずれの魚種でもふ化してから22日後まで徐々に減少し、それ以後は増加したが、 $F_1$ における出現率は両親魚種より高く、主に、椎骨の形態異常・癒合および脊椎骨縦彎のいずれか、あるいはそれらの複合によるものであった。このように $F_1$ は稚魚期の成長や環境耐性は優れているが、形態異常が多かったことから、 $F_1$ の種苗生産には細心の注意を払う必要があることが示唆された。

第2章： $F_1$ のタンパク質、脂質およびAsA要求性・量について検討した。魚体重0.32および3.7 gの $F_1$ 稚魚にタンパク質/脂質比が異なる飼料を飽食給与して飼育した

ところ、いずれにおいてもF1ではマダイに比べて低いタンパク質・高脂質飼料で優れた飼育成績と肝臓のGPT活性がえられた。また、F<sub>1</sub>のAsA要求性・量をL-AsA-2-モノリン酸Mg塩 (APM) を用いて調べたところ、飼育成績および脳や肝臓のAsA含量から、APMの要求量は50 mg/kg飼料付近であることを示した。これはAsAに換算すると18 mg/kg飼料で、マダイよりかなり低いことを明らかにした。

第3章：魚粉代替源としてF<sub>1</sub>のSBMに対する利用性について検討した。飼料魚粉を減量してSBMを20および40%配合したS<sub>20</sub>およびS<sub>40</sub>、そしてS<sub>40</sub>にフィターゼを2500 unit/kg飼料で添加したS<sub>40</sub>Pなどを、魚体重49 gのF<sub>1</sub>稚魚に飽食給与して12週間飼育したところ、成長や飼育成績、各種蓄積率、消化率などはSBMの増加に伴って低下したが、全魚体と肝臓の一般成分に差異はなかった。一方、S<sub>40</sub>P区の成長や飼育成績、各種蓄積率などはS<sub>40</sub>区より有意に改善し、リン排泄量は他の区より著しく少ないことが分かった。そこで、至適なフィターゼ添加量を調べるためS<sub>40</sub>飼料にフィターゼを1000, 2000, 3000そして4000 unit/kg添加した飼料で、魚体重76.1 gのF<sub>1</sub>稚魚を16週間飼育したところ、成長や飼育成績、タンパク効率、各種蓄積率などに有意な区間差はなかったが、フィターゼ添加量が増加するのに伴って改善がみられ、2000 unit/kg以上の添加区でほぼ一定の高い値が得られた。以上の結果から、40%SBM飼料への至適なフィターゼ添加量は2000 unit/kgであり、飼料価格の低減に資する貴重な知見を得ることができた。

第4章：これまでの各章から、交雑魚F<sub>1</sub>は速い成長、高い環境耐性、低タンパク質とAsA要求性そして高いSBM利用性を持つことが示され、新養殖魚種として優れた形質を持つことが判明した。そこで、冬季低水温でマダイが斃死する韓国に実際に移植・飼育したところ、種苗までの生残率に大きな問題はなかったが、その殆どに脊椎骨の変形をはじめとする形態異常が認められた。その主な原因として輸送による酸素欠乏が考えられるが、現地の種苗生産技術の低さも無視できないことも示唆された。一方、F<sub>1</sub>稚魚と成魚を海路で慶尚南道統営市の民間養殖施設に運搬し、網生簀で冬季を含む長期間の飼育試験を行ったところ、稚魚および成魚はマダイと同等の優れた成長を示し、高い生残率を維持した。

以上の本研究から、F<sub>1</sub>は東アジアにおける養殖魚種の多様化、養殖可能範囲の拡大、飼料コストの低減、富栄養化の防止など、多くの経済および環境的な利益をもたら

す新養殖魚として価値あることを明らかにし、魚類養殖産業の発展に寄与できる貴重な知見を集積することができた。

よって本論文は博士（農学）論文として価値あるものと認める。

なお、審査に当たっては、論文に関する専攻内審査および公聴会など所定の手続きを経た上、平成21年2月9日の農学研究科教授会において、論文の価値ならびに博士の学位を授与される学力が十分であると認められた。