

## 閉鎖循環式養殖システムを用いたクエ養殖試験

栗山 功

Rearing trial of kelp grouper *Epinephelus bruneus* using a closed recirculation culture system

Isao KURIYAMA

キーワード：クエ，閉鎖循環式養殖システム

Kelp grouper, *Epinephelus bruneus*, was cultured in a closed recirculating culture system at 26°C, which is considered for rapid growth. The groupers grew up to 1,043.8±422.0g (mean±S.D.) on 675 days after the initiation of the culture, while those cultured in a running water system at ambient temperatures from 13.2 to 28.0°C as control weighted 342.0±114.0g (mean±S.D.). In addition, the death from disease was not confirmed for the examination period in both systems. These result indicates that the closed recirculating culture system is useful to obtain rapid growth and high survival for cultured kelp grouper. At sea farmers in southern part of Mie prefecture it takes three years for kelp grouper to grow to the harvest size 1.0 kg, because of low water temperature in winter. Therefore the closed recirculating culture system reduces the time for culturing kelp grouper to about two years. The closed recirculating culture system is expected as a new effective system for kelp grouper culture.

クエ *Epinephelus bruneus* は南日本沿岸から東シナ海、台湾に分布、沿岸の岩礁域などに生息し、体長1m以上に成長するハタ科の大型魚である。延縄や一本釣りで漁獲されるが、漁獲量は少なく、幻の高級魚として高値で取引されている（阿部・本間1997）。近年、種苗量産技術の開発が進み万単位での種苗の生産が可能となり（土橋ら1999）、人工種苗を用いた養殖試験もおこなわれている（小松・浜渦2001、坂本2002、角原2002、尾鷲市2002）。

一方で、クエは低水温に弱く冬期の水温が20℃を下回る海域での養殖は困難とされ、三重県沿岸域においても冬期には稚魚の死亡率が高く、成長も停滞するため出荷までに3年以上の長期間を要することから、海面での養殖はほとんど行われていない。

閉鎖循環式養殖システムは、飼育水を循環浄化しながら、陸上水槽で魚を養殖するシステムであり、気候の影響を受けずに水温や塩分などを自由にコントロールすることが可能である。この閉鎖循環式養殖システムを用いてクエを適水温で飼育し、高歩留まりや成長等のデータを得、実用化の可能性について検討を行ったので報告する。

なお、本研究は株式会社陸上養殖工学研究所との共同研究「閉鎖循環式養殖システムを利用したクエの養殖技術開発」の中で実施した、成果の一部である。

### 方 法

#### 1. 閉鎖循環式養殖システム

尾鷲水産研究室敷地内に建てたビニルハウス内へ閉鎖循環式養殖システム（陸上養殖工学研究所考案）を設置した。Fig.1-1に閉鎖循環式養殖システムの模式図を、Fig.1-2にその設置状況を示す。飼育水槽（4.5 m<sup>3</sup>）はFRP製で、底面が中央の排水口へ向かって傾斜し、残餌や糞などの固形物が、水流により速やかに排出される構造とした。飼育水槽を出た飼育水は、沈殿槽（0.2 m<sup>3</sup>）へ入り、残餌や糞などの大きめの固形物が沈殿分離され、泡沫分離槽（0.2 m<sup>3</sup>）へ入る。泡沫分離槽では、ブローアーから供給されるエアをユニホースから強曝気し、飼育水中の微細な懸濁物を泡とともに系外へ排出した。泡沫分離処理を経た飼育水は紫外線殺菌装置（フナテック製MSW7000）を通して生物濾過槽（3.0 m<sup>3</sup>）へ入る。生物濾過槽は流動槽と固定槽の2槽に分かれており、流動槽は強曝気により濾材が攪拌される構造とした。濾材には fig.1.3

に示すプラスチック濾材（関西化工製）を合計 1.7 m<sup>3</sup>用いた。生物濾過槽で処理された飼育水は、ヒートポンプ（宮原冷熱製 MCH12AT）を熱源とする熱交換器により調温されて飼育槽へ戻る。飼育水は 133ℓ/min で循環させた。

## 2. 飼育試験

試験区は閉鎖循環式養殖システムを用いた閉鎖循環区と、掛け流し式の流水区を設けた。閉鎖循環区の水温設定は、クエの適水温（井上 2001）と考えられる 26℃を基本とし、外気温を考慮して 6～10 月には 26～28℃、10

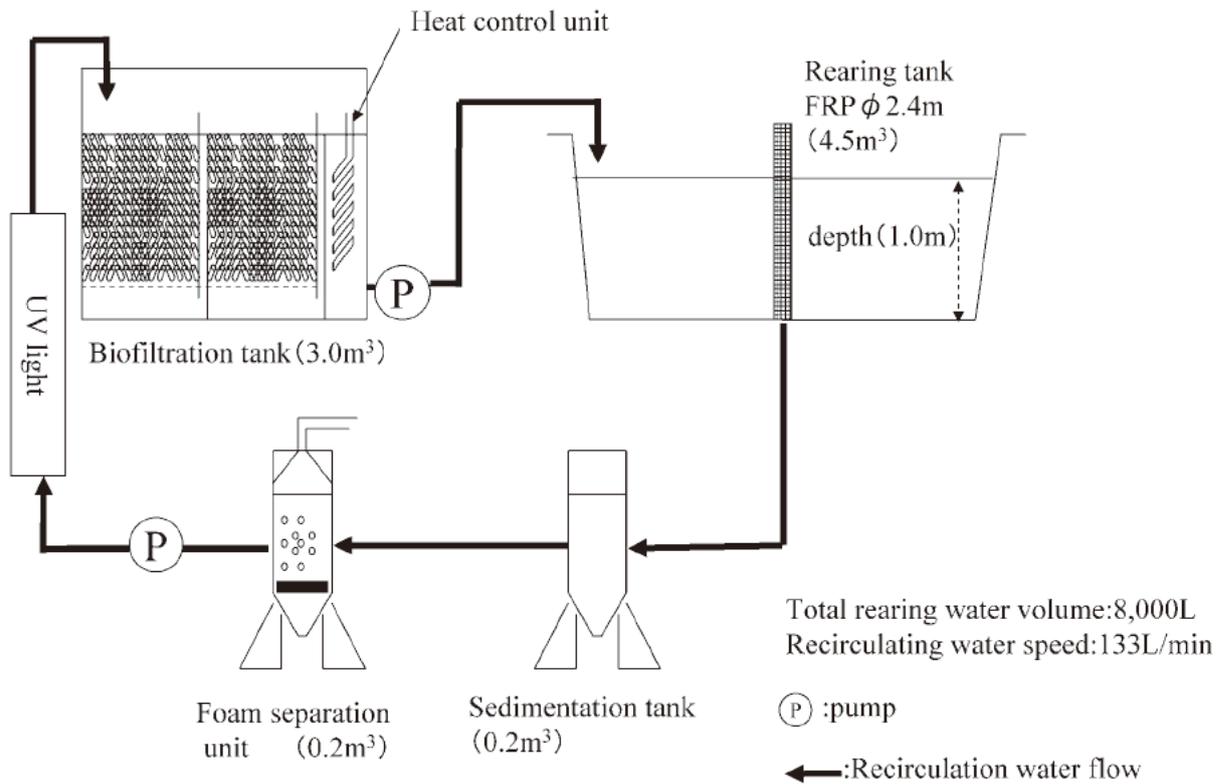


Fig. 1-1 Schematic diagram of a closed recirculating culture system for the rearing experiment of kelp groupers.



Fig. 1-2 Installation situation of the closed recirculating culture system.



Fig. 1-3 Plastic filter used for the closed recirculating culture system.

～6月には25～26℃とした。流水区では、水温調整を行わず紫外線殺菌濾過海水を3.0 m<sup>3</sup>/hで、閉鎖循環区と同型の飼育水槽(4.5 m<sup>3</sup>)に注水した。

供試魚には2002年産クエ稚魚(平均体重37.2g)を用い閉鎖循環区に502尾、流水区には501尾収容した。飼育試験は2002年11月8日から実施し、2003年8月19日にはポンプ停止事故により、流水区の供試魚がほぼ全滅したため、海面生簀で飼育していた供試魚と同ロットのクエを新たに導入して試験を継続した。そこで、死亡事故の直前の測定日である、2003年8月11日までを第1期試験とし、再設定後の2003年9月16日から2004年9月13日までを第2期試験とした。閉鎖循環区は流水区が飼育を中断していた8月12日から9月16日の期間中も飼育試験を継続した。

餌にはトラフグ用EP(マルハ製、粗タンパク質53%、粗脂肪8%、粗灰分18%、粗繊維4%)を用いた。給餌は両区とも魚体測定前日を除き、毎日10:00と16:00の1日2回行った。ただし、閉鎖循環区では平均体重が600gを越えたところから午後の摂餌が不良となったため、2003年12月15日以降は1日に1回午前中のみ給餌した。また、給餌は完全飽食とし、餌が水槽底面へ20粒程度残るまで与えた。

魚体測定は毎月1回、FA100で麻酔して個体重の測定を行った。測定時に、平均体重200gまでは飼育密度10kg/m<sup>3</sup>以下、200gから600gまでは15kg/m<sup>3</sup>以下、600g以上では20kg/m<sup>3</sup>以下となるように、閉鎖循環区では計6回、流水区では計5回の飼育密度調整を行った。

飼育密度調整の方法は、1回目は種苗由来の変形魚を抜き取り、2回目以降では、供試魚の成長とともに魚体重のばらつきが大きくなったことから、体重測定した供試魚を階級分けして個別の水槽に収容し、各階級の全体に占める比率を基に供試魚を抜き取ることで、密度調整の前後での魚体重の構成比が変わらないようにした。

このように途中で密度調整のための間引きを行ったことから、魚体測定時での飼育成績の比較はできるものの、第1期試験、第2期試験としての飼育成績を単純比較できないため、試験期間中に行った各月間の1尾あたりの給餌量(各月の総給餌量/飼育尾数)をもとめ、それを合計して1尾あたりの試験期間中の総給餌量とし、試験開始時および終了時の平均体重を用いて増肉係数などの飼育成績をもとめた。

### 3. 水質測定方法

水質の測定は毎日午前の給餌前に行った。溶存酸素および水温はHORIBA社製水質チェッカーU-10を閉鎖循

環区と流水区の各飼育水槽へ直接投入して測定した。pHは各飼育水100mlをビーカーに取り、HORIBA社製pHメーターF-13を用いて測定した。

また、閉鎖循環区では、HACH社製多項目迅速水質分析計DR2500を用いて、アンモニア態窒素(以降NH<sub>4</sub>Nとする、サリチル酸塩法)、亜硝酸態窒素(以降NO<sub>2</sub>N、ジアゾ化法)、硝酸態窒素(以降NO<sub>3</sub>N、カドミウム還元法)および溶存態リン(以降PO<sub>4</sub>P、アスコルビン酸法)の測定をした。このうちPO<sub>4</sub>Pは1週間に1度測定した。

### 4. 水質の管理

閉鎖循環区では、NH<sub>4</sub>Nの硝化に伴い、NO<sub>3</sub>Nの蓄積やpHの低下がおこる。クエのNO<sub>3</sub>Nに対する耐性は不明であるため、本実験においてはNO<sub>3</sub>Nが200mg/lを越えてからは、1日に180l(全水量の2.6%)の紫外線殺菌濾過海水で換水を行った。さらに、毎月1回の魚体測定時には飼育水約700lを麻酔等に使用したため、その際にも紫外線殺菌濾過海水を補充した。

pHについてはpH自動調整機(イワキ製)を用いて7%NaHCO<sub>3</sub>溶液を飼育水へ滴下してpH7.6～8.0の範囲で自動調整を行った。

閉鎖循環区では蒸発により水が失われ、塩分が上昇するため、2、3日おきに飼育水槽の水位減少分の水道水を注水し、塩分の濃度を維持した。

## 結果および考察

### 1. 水質管理

水質データの推移をFig.2, 3に示す。水温は閉鎖循環区では6～10月には26.9±0.8℃(±は標準偏差)、10～6月には25.6±0.7℃で、飼育期間中の最高、最低水温はそれぞれ29.9℃、22.6℃であった。流水区では13.2～28.0℃の範囲で推移した。溶存酸素は閉鎖循環区7.91±0.26mg/l(最高10.0mg/l、最低4.42mg/l)、流水区6.22±0.64mg/l(最高7.65mg/l、最低1.94mg/l)、pHは閉鎖循環区7.91±0.26(最高8.63、最低7.22)、流水区8.12±0.21(最高8.99、最低7.20)であった。

閉鎖循環区のみ測定した項目では、NH<sub>4</sub>N 0.03±0.04mg/l(最高0.40mg/l、最低0.00mg/l)、NO<sub>2</sub>N 0.08±0.07mg/l(最高0.65mg/l、最低0.02mg/l)であった。NH<sub>4</sub>N、NO<sub>2</sub>Nは散発的に増加することがみられたが、最高でも0.40mg/l、0.65mg/lと低い値を維持しており、本実験で用いた生物濾過槽は十分な処理能力を持っていたと考えられる。

閉鎖循環型の養殖システムでは、NH<sub>4</sub>Nの除去方法として生物膜法を用いるのが一般的である。その場合、

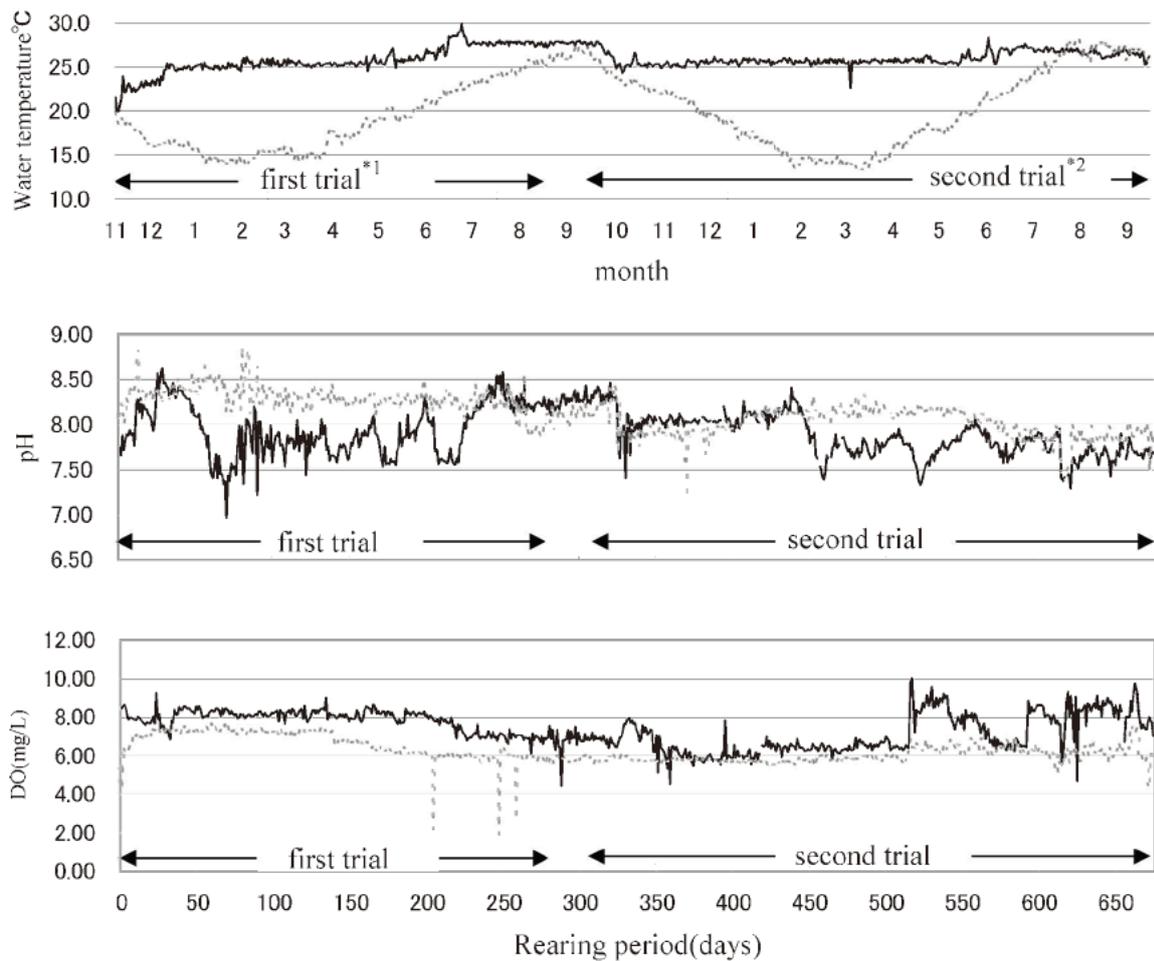


Fig. 2 Changes in water temperature, pH and DO in rearing water of the closed recirculating culture system (solid lines) and the running water system (dashed lines).

\*1 8 Nov. 2002-11 Aug. 2003

\*2 16 Sep. 2003-13 Sep. 2004

NH<sub>4</sub>Nが生物濾過槽の硝化細菌により硝化されて、最終生成物のNO<sub>3</sub>Nが飼育水中に蓄積する。本実験においても飼育の経過とともにNO<sub>3</sub>Nの増加がみられた。本田ら(1991)はヒラメにおいてNO<sub>3</sub>N700mg/ℓで摂餌低下、760mg/ℓで狂奔死する個体もみられたとしており、500mg/ℓ以下に抑えるべきとしている。本実験では、NO<sub>3</sub>Nが200mg/ℓを超えた130日目から毎日総水量の2.6%の飼育水の換水を行ったものの、最高で475.8mg/ℓまで蓄積した。しかし、この濃度においても異常行動や摂餌への影響は確認されなかったことから、クエについても、ヒラメと同様にNO<sub>3</sub>N500mg/ℓ以下におさえるように水質管理を行えば問題なく飼育できると考えられた。NO<sub>3</sub>Nと同じく、PO<sub>4</sub>Pも0.42から66.0mg/ℓまで飼育とともに増加した。

## 2. 飼育試験

Table1に飼育結果を、Table2に1尾あたりの飼育成績を、Fig4に平均体重の推移を示す。表中の飼育尾数が大きく減少しているが、これは密度調整のための間引によるものであり、閉鎖循環区、流水区ともに疾病の発生はなく、死亡は飛び出しによる閉鎖循環区6尾、流水区23尾のみであった。

海面生簀での稚魚飼育においては低水温期における高い斃死率が問題となっているが、海面と同じ水温推移を示す流水区では、低水温期に死亡は見られなかった。この理由として、クエの行動生態が関係していると考えられる。つまり、クエは海面生簀、水槽いずれにおいても、その底面や側面に密着するように静止していることが多く、局所的に飼育密度が高くなる傾向がある。海面生簀

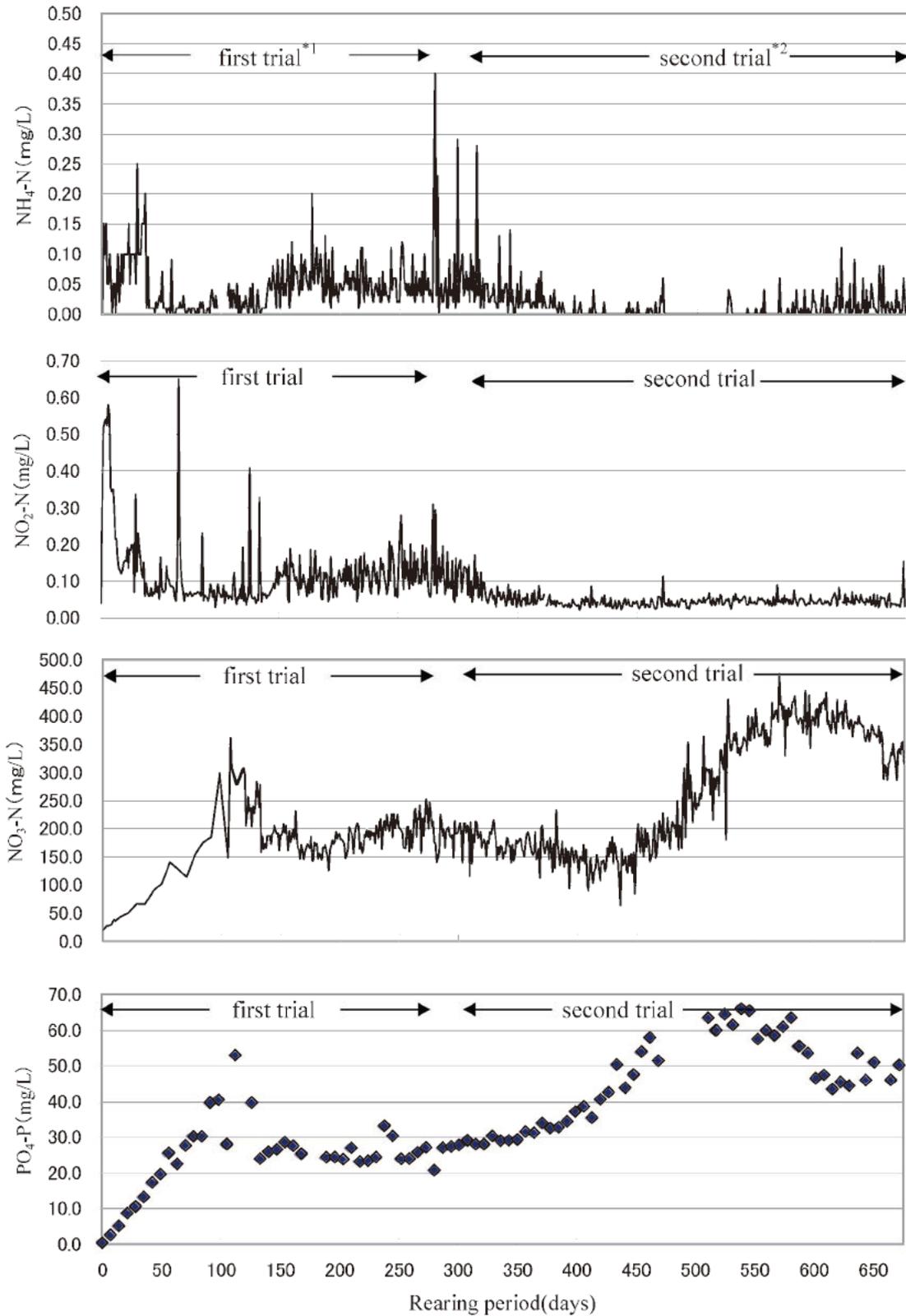


Fig.3 Changes in concentration of ammonia, nitrite, nitrate and phosphate in the closed recirculating culture system.

\*1 8 Nov. 2002-11 Aug. 2003

\*2 16 Sep. 2003-13 Sep. 2004

では、海が荒れた際に生簀網や他の個体との接触によりスレが発生し、そこから病原細菌や寄生虫に感染し、さらに密集していることから他の個体へ伝播しやすいことが推測される。特に、低水温期にはクエの生理的な活性や、生体防御力が低下していると考えられ、高水温期においては問題とならないようなスレに起因する感染症が、高い斃死率に結びついていると考えられる。飼育管理の

面でも、低水温期には摂餌活性が低下し、給餌の際に浮上しないため、クエの状態を十分に観察できず、疾病の発見が遅れてしまうことも海面生簀におけるクエ稚魚の越冬を難しくする一因と思われる。本試験のように水槽による飼育では、波浪の影響を受けないため、密集していても体が傷つくリスクを回避でき、さらに、天候等の環境変化によるストレスも低減されていると考えられる。

Table 1 Numbers, body weight and total feed intake of kelp groupers cultured in the closed

First trial* <sup>1</sup> 8 Nov. 2002 - 11 Aug. 2003 (284days)					
Experimental group	No.of fish		Average body weight±S.D.(g)		Total feed intake(kg)
	Initial	Final	Initial	Final	
Recirculating culture system	502	151 <sup>*2</sup>	37.2±13.5	399.9±136.8	99.9
Running water system	501	401 <sup>*2</sup>	37.2±13.5	122.1±44.4	45.2

Second trial 16 Sep. 2003 - 13 Sep. 2004 (364days)					
Experimental group	No.of fish		Average body weight±S.D.(g)		Total feed intake(kg)
	Initial	Final	Initial	Final	
Recirculating culture system	116	83 <sup>*2</sup>	503.0±160.8	1043.8±422.0	99.4
Running water system	299	220 <sup>*2</sup>	122.9±40.3	342.0±114.0	84.4

\*<sup>1</sup> The kelp groupers cultured in the running water system died as a result of a breakdown of the pumping system on 19 August 2003. Therefore, we decided that the first trial was terminated on 11 August 2003, when a last measurement of the body weight was done.

\*<sup>2</sup> Numbers of fish were adjusted the rearing density, which were done as follows.

Densities in average body weight under 200g ,200~600g and over 600g, were adjusted to 10, 15 and 20kg/m<sup>3</sup>, respectively.

Table 2 Growth and feed gain ratio of kelp groupers cultured in the closed recirculating culture system and running water system.

Experimental group	Percent gain(%)	Daily growth rate(%)	Daily feeding rate(%)	Total feed intake(g)	Feed gain ratio
<b>First trial 8 Nov. 2002 - 11 Aug. 2003 (276days)</b>					
Recirculating culture system	975.1	0.60	0.70	420.3	1.16
Running water system	228.1	0.39	0.49	108.3	1.28
<b>Second trial 16 Sep. 2003 - 13 Sep. 2004 (364days)</b>					
Recirculating culture system	107.6	0.19	0.41	1156.9	2.14
Running water system	178.3	0.26	0.56	476.8	2.18
<b>Total 8 Nov. 2002 - 13 Sep. 2004 (675days)</b>					
Recirculating culture system	2705.9	0.28	0.46	1686.7	1.68

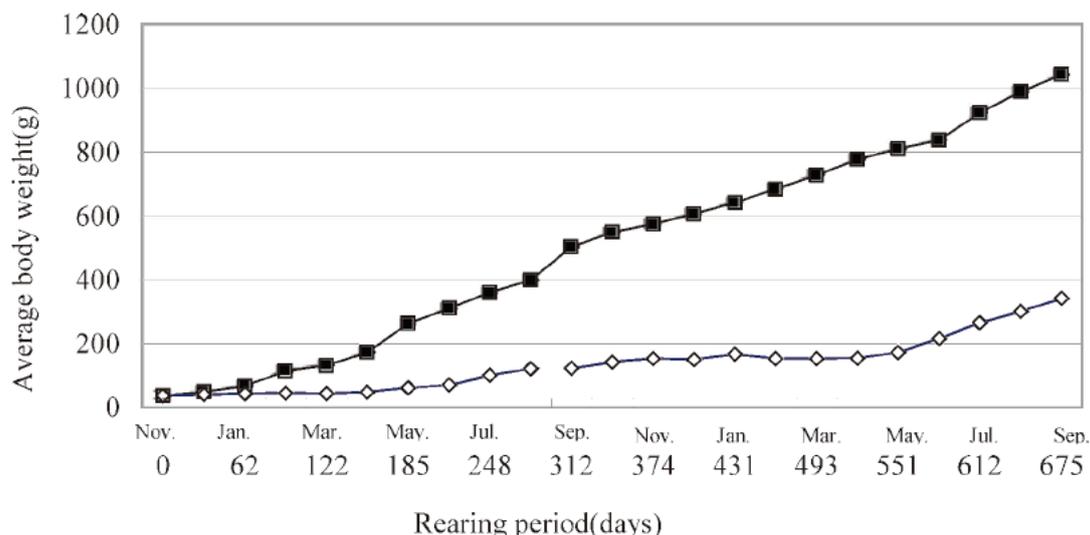


Fig.4 Growth curves for kelp groupers cultured in the closed recirculating system (■) and the running water system (◇).

これらのことから、クエ稚魚は、掛け流し式の陸上水槽を利用することで、本実験の最低水温である13℃程度の水温が維持されていれば、越冬可能であると推測される。これを利用すれば、低水温期には稚魚を陸上水槽でストックし、水温が上昇し始めた頃に海面生け簀で飼育を行う養殖方式も考えられる。

他方、閉鎖循環式養殖システムにおいても、重大な問題もなく安全に飼育することができた。散発的に鰾にガス過剰の症状を示し、浮上する個体が見られたが、注射針を用いて鰾からガスを抜くことで正常遊泳が可能となり、その後、死亡することもなかった。

第1期終了時における各区の平均体重は閉鎖循環区  $399.9\text{g} \pm 136.8\text{g}$ 、流水区  $122.1 \pm 44.4\text{g}$  であり、この時点ですでに3倍の体重差となっていた。平均体重の推移を見ると、閉鎖循環区では季節的な成長の変化は見られないが、流水区では低水温期に成長が停滞し、高水温期に成長を示した。それは流水区を再設定した第2期においても同様であった。第2期終了時の閉鎖循環区の平均体重は  $1,043.8 \pm 422.3\text{g}$  で最大個体が  $2,135.0\text{g}$ 、最小個体が  $479.3\text{g}$ 、流水区の平均体重は  $342.0 \pm 114\text{g}$  で最大個体  $813.5\text{g}$ 、最小個体が  $165.3\text{g}$  であった。各区の変動係数はそれぞれ0.40と0.33であり閉鎖循環区の方が平均体重のばらつきが大きかった。しかし、閉鎖循環区の平均体重が終了時の流水区とほぼ同じ魚体重 ( $359.8 \pm 118.7\text{g}$ ) のときの変動係数は0.33となり、流水区の終了時と同じばらつきであった。つまり、体重のばらつきが大きい原因は閉鎖循環式養殖システムによる影響ではなく、成長と

もに大きくなったと考えられた。

本研究では、閉鎖循環式養殖システムを用いて、クエを適水温で飼育することにより、1年10ヶ月で平均体重1kg以上に養成できることを示した。また、試験期間中に疾病による斃死は発生しなかったことから、高歩留まりが期待される結果も得られた。これらのことから、クエの閉鎖循環式養殖システムを用いた養殖事業化の可能性があると考えられた。

これまでに、海産魚における閉鎖循環式養殖システムの開発は、主にトラフグやヒラメを対象として行われてきた(古田ら1997, 本田ら1994)が、これらの魚種では魚価の低下やシステム自体の初期コストおよびランニングコストの問題から、技術的には実用可能であっても事業化された例は少ない。本方式によるクエ養殖を事業化する場合にも、システムの初期コストやランニングコストなどの面で大きな負担が必要となる。本研究で加温冷却、ポンプや紫外線殺菌灯等の運転にかかった電気代は年間約27万円であった。2年間の飼育により、80尾のクエが生産されたが、1尾あたり餌代約4,500円、電気代約7,000円が必要であったことになる。本研究で用いた閉鎖循環システムは、生産コストを考慮した設計になっていないため、特に割高になったことを考慮しても、本方式によるクエ養殖普及のためには、施設のコストダウンと加温冷却費用の削減、飼育の高密度化ならびに最適な飼料の開発に関するさらなる技術開発が必要であろう。

## 要 約

閉鎖循環式養殖システムを用いて、その飼育水温をクエの適水温である 26℃前後に設定し、クエの飼育試験を行った。675 日間の飼育の結果、閉鎖循環区の平均体重は 1,043.8g となり、対照区である流水区では 342.0g であった。閉鎖循環式養殖システムを用いることにより、高成長、高歩留まりなクエ養殖の可能性が示唆された。三重県尾鷲湾における海面生簀においては、クエの体重が 1 kg を超えるのに 3 年以上が必要であるが、同システムを用いることにより飼育期間の短縮が可能であった。これらのことから、閉鎖循環式養殖システムによる、クエ養殖事業化に期待が持たれた。

## 謝 辞

本研究実施に当たっては、閉鎖循環式養殖システムの開発と施設の施工ならびに貴重な御助言をしていただいた、株式会社陸上養殖工学研究所の広田伸也主査研究員、真継 伸主任研究員はじめ研究所の皆様、日々の飼育管理にご協力いただいた株式会社真栄水産設備の中村佳一氏に厚く御礼申し上げます。

## 文 献

阿部宗明・本間昭郎監修，山本保彦編纂(1997)：現代お魚事典，エヌ・ティー・エス，東京，313-315.  
古田岳志・菊池弘太郎・岩田伸弘・本田晴郎(1997)：循環濾過方式によるオニオコゼおよびトラフグ養魚技術の開発，電力中央研究所報告，U96042.  
日野明德・丸山俊郎・黒蔵 寿編(1999)：水産養殖とゼ

ロエミッション研究，恒星社厚生閣，東京。  
本田晴郎・菊池弘太郎・岩田伸弘・武田重信・渡部良朋・植本弘明・清野通康 (1991)：ヒラメの高密度飼育技術の開発，電力中央研究所報告，U91013。  
本田晴郎・菊池弘太郎・渡部良朋・岩田伸弘・武田重信・植本弘明・古田岳志・清野通康 (1994)：ヒラメ用循環濾過養魚システムの設計と運用，電力中央研究所報告，U94018。  
井上美佐 (2001)：クエの摂餌と成長に及ぼす水温の影響，三重県水産技術センター研究報告，第 9 号，35-38。  
角原美樹雄 (2002)：種苗生産技術開発試験，高知県水試事業報告，第 98 巻，191-199。  
児玉 修 (2000)：種苗生産技術開発試験（クエの種苗生産技術開発），高知県水試事業報告，第 96 巻，233-240。  
小松章博・浜渦敬三 (2001)：種苗生産技術開発試験（クエの種苗生産技術開発），高知県水試事業報告，第 97 巻，284-288。  
岡田貴彦・澤田好史 (1999)：最新海産魚の養殖，熊井英水編，第 3 章クエ，湊文社，東京，173-179。  
尾鷲市 (2002)：平成 11 - 13 年度魚類養殖高度化事業飼育試験結果報告書，33-39。  
坂本博規 (2002)：クエの飼料試験，和歌山県農林水産総合技術センター水産増殖試験場報告，第 33 巻，4-7。  
土橋靖史・丹羽 誠・黒宮香美 (1999)：新魚種量産技術事業（種苗生産技術開発），平成 10 年度三重県科学技術振興センター水産技術センター事業報告，146-153。  
矢田貞美編著 (2004)：養殖・蓄養システムと水管理，恒星社厚生閣，東京。