異なる環境浸透圧で飼育したカマキリ *Cottus kazika* の成長と生残率

岩谷 芳自,^{1*} 渡 智美,¹ 井上 広滋,² 竹井 祥郎²

(2002 年 3 月 8 日受付, 2002 年 8 月 9 日受理)

¹福井県内水面総合センター, ²東京大学海洋研究所

Growth and survival rate of the Four-spine Sculpin, *Cottus kazika*,
reared in different environmental salinities

HOZI IWATANI,^{1*} TOMOMI WATARI,¹ KOJI INOUE² AND YOSHIO TAKEI²

¹Fukui Prefectural Inlandwater General Center, Fukui, Fukui 910-0816, ²Ocean Research Institute, University of Tokyo, Nakano, Tokyo 164-8639, Japan

In this study, we reared 0⁺- and 1⁺-year-old four-spine sculpin, *Cottus kazika*, in artificial seawater (SW), 1/3 SW and freshwater (FW) and the survival rate and growth were compared. When 0⁺ fish were reared in SW and FW, the survival rate of the SW group decreased to approximately 60% within the first 50 days, then became stable thereafter. The survival rate of the FW group gradually decreased to almost the same level after 110 days while 0⁺ fish reared in 1/3 SW revealed a higher survival rate than those in SW. The survival rates of 1⁺ fish reared in SW and FW were not different. The growth was greater in SW-reared fish than in FW-reared ones in both 0⁺ and 1⁺ fish. The growth of 0⁺ fish reared in SW and that of those reared in 1/3 SW were not different. These results suggest that rearing in SW or diluted SW would increase the efficiency of culture in this species.

キーワード：カマキリ, 環境浸透圧, 成長, 生残率

カマキリ *Cottus kazika* はカジカ科に属する日本固有の魚種で、本州、四国および九州で生息が確認されているが、¹⁾ 近年は生息数が激減したために生態調査および種苗放流が実施されていた。^{2,3)} 本種は福井県でアラレガコと呼ばれ、県内を流れる九頭竜川では、その生息地が国の天然記念物に指定され保護が図られているが、近年、漁獲量は激減している。福井県ではカマキリを地域特産魚として振興を図るために、昭和 63 年から種苗生産および養殖の技術開発を行ってきたが、マーケットサイズである 20 cm に成長させるのに 3 年を要し、生残率の向上とともに養殖期間を短くすることが、養殖の効率化を図る上で重要課題である。⁴⁻⁶⁾

カマキリは晩秋から産卵のために降海し、成長した稚魚は初夏になると河川に遡上する降海型回遊魚であり、⁷⁻⁹⁾ 生活史の中で淡水および海水域で生息することが知られている。したがって、種苗生産では、産卵のために降海する天然魚および人工種苗から養成した 1 才魚を 12~1 月に人工海水飼育に切り替え、2 月頃に人工

採卵により受精卵を得ている。卵管理および仔稚魚の飼育は人工海水で行い、ふ化後 100 日の 6 月頃に淡水飼育に切り替えている。また、淡水でカマキリを飼育するとカラムナリス病が多発するために、定期的に 24 時間の海水浴を行い発病を防いでいる。¹⁰⁾ したがって、カマキリは飼育水の塩分濃度を急上昇させても支障がない可能性が高い。

そこで、本研究では、海水で飼育した場合の成長と生残率を淡水飼育と比較し、さらに、浸透圧調節のエネルギー消費が少なくなれば成長や生残率に有利であると考えられたため、生理食塩水に近い 1/3 海水飼育についても検討したので報告する。

材料および方法

0⁺ 才魚飼育実験

1. 実験期間 淡水および海水における飼育実験は 2000 年 10 月 11 日から翌年 1 月 30 日まで、海水および 1/3 海水飼育は 2001 年 7 月 4 日から 10 月 13 日まで

* Tel : 81-776-53-0232. Fax : 81-776-53-0545. Email : h-iwatani-al@ain. pref. fukui.jp

行った。

2. 供試魚 供試魚は養成魚および天然魚を親魚として、人工受精で得られたふ化仔魚を用い種苗生産を行い、ふ化後100日頃に飼育水を塩分濃度約33‰Allen処方人工海水¹¹⁾(以後海水と記す)から淡水に切り替え、飼育を行ってきた0才魚を用いた。

3. 実験水槽 0.5 m³(有効水量0.4 m³, 底面積0.74 m²)のFRP製円形水槽を用いた。注水は水槽の外側の1カ所から約0.1回転/時間行い、排水は水槽の中央から行った。

4. 給餌 アユ用配合飼料(日本農産, クランブル, 1~4号)を摂餌状態および魚体測定結果から魚体重の2~4%を1日4回に分けて与えた。

5. 飼育水 実験に用いた海水および1/3海水は循環濾過を行い、水温は淡水飼育の水温と同一になるように調整した。1/3海水の調製は海水を地下水で塩分濃度約10‰に希釈した。淡水飼育には地下水を用いた。淡水および海水の飼育水温は平均値(最小値-最大値)でそれぞれ16.5℃(13.6~17.6℃)および16.4℃(13.6~18.1℃)でほぼ同一であった。塩分濃度実測値は平均値(最小値-最大値)で31.3‰(29.1~34.8‰)であった。海水および1/3海水の飼育水温は、13.9℃(13.2~14.8℃)および13.3℃(12.5~14.6℃)でほぼ同一であった。塩分濃度実測値は海水が30.6‰(29.0~33.1‰), 1/3海水が11.0‰(9.4~12.5‰)であった。また、海水および1/3海水飼育実験区はそれぞれ同一の循環水で飼育し、それぞれ毎日10%換水した。濾過層は目詰まりした場合に淡水で自動的に洗浄するために、塩分濃度は設定濃度より低くなった。また、飼育水温に関して、谷村らは23℃で調節した淡水および海水と自然海水で飼育し、8月の高水温になった自然海水飼育で全滅したことから、カマキリ飼育水温は25℃以上での飼育は危険であり、27℃以上ではへい死するとしている⁶⁾。また、杉本らは0才および1才魚を自然海水で飼育し、水温が28℃以上で全滅するのを観察している。¹²⁾さらに鬼倉らは天然のカマキリを20℃, 24℃および27℃で淡水飼育し、成長および生残率を比較検討した結果、カマキリ飼育の至適水温は20℃以下と推察している。¹³⁾したがって、各実験区の飼育水温は適水温の範囲である。

6. 実験方法 実験水槽の数に限りがあり、水槽毎の差の影響を避けるために1実験区には複数の水槽を使用したために、淡水および海水飼育実験並びに1/3海水および海水飼育実験を別々に実施した。1回目の淡水および海水飼育実験には1実験区に4水槽使用し、供試魚は250尾ずつをそれぞれの水槽に収容した。収容方法は1つの水槽から金魚用タモ網で供試魚だけを取り上げ、供試魚の大きさが各実験水槽で同じになるように、数回に分けて所定尾数を収容した。その後、定期的

に各水槽から40尾ずつ全長、体重を測定し、飼育開始50, 70, 90, 110日後に全数取り上げを行い、収容尾数からの生残率を求めた。

2回目の実験では海水および生理的食塩水に近い1/3海水実験区をそれぞれ3水槽ずつ設け、それぞれに供試魚300尾ずつ1回目の実験に準じて収容した。その後、飼育開始20, 41, 58, 80, 100日後に各水槽から40尾ずつ全長、体重を測定するとともに、全数取り上げを行い、収容尾数から生残率を求めた。

1+ 才魚飼育実験 淡水および海水飼育実験において、1才魚の生残率は、0才魚で飼育初期に認められた海水飼育の減耗も認められず、淡水および海水飼育で差がなかった。従って、塩分濃度が淡水と海水の間である1/3海水と海水で飼育しても生残率に差が認められないことが予想された。また、成長は、0才および1才魚でいずれも海水飼育の方が良く、成長に対する環境浸透圧の影響は0才および1才魚で同様と考えられたので、1/3海水および海水飼育実験は1才魚で実施しなかった。また、0才魚飼育実験で全長と体重の変化が同様であったために、1才魚飼育実験の成長は魚体重のみ測定した。

1. 実験期間 2001年6月8日から10月1日まで行った。

2. 供試魚 養成親魚または天然魚から2000年に、人工採卵で得たふ化仔魚を用いて種苗生産を行い、ふ化後100日頃に海水から淡水に飼育水を切り替え、飼育を行ってきた1才魚を用いた。

3. 実験水槽 FRP製円形水槽(直径140 cm, 底面積1.5 m²)を用いた。注水は外側1カ所から、排水は水槽中央から行った。水深は約20 cmとし、蒲鉾型シェルター(直径15 cm×長さ20 cm, 塩ビ製)を1水槽当たり10個ずつ投入した。

4. 給餌 魚体重に対し約3%のヒラメ用ペレット(ヒガシマル, ペレット1号)を、摂餌状況を見ながら、1日4回に分けて給餌した。

5. 飼育水 淡水飼育には地下水の流水飼育で行い、海水飼育は0才魚飼育実験に準じて循環させた海水を用いた。淡水および海水の飼育水温は同一になるように調節し、それぞれ13.4℃(11.5~16.2℃)および13.8℃(12.7~15.1℃)であった。これらの水温は文献^{6,12,13)}で示された適水温の範囲でコントロールされた。海水の塩分濃度実測値は30.8‰(29.0~35.1‰)であった。

6. 実験方法 淡水および海水飼育実験区をそれぞれ4水槽ずつ設け、0才魚の飼育実験に準じて、それぞれの水槽に供試魚147尾ずつを淡水から直接移して収容した。その後定期的に、総魚体重および尾数を測定し平均魚体重および生残率を求めた。

7. 統計解析 実験区毎に平均生残率、平均全長およ

び魚体重を求め、その平均値の差を t 検定で有意差をみた。また 0 才魚の海水および 1/3 海水飼育実験における生残率曲線の有意差検定は、残差の不偏分散を F 検定、傾きを t 検定で行った。有意差は $P < 0.05$ で判断した。

結 果

0⁺ 才魚飼育実験

1. 成長 淡水飼育群と海水飼育群の成長は、Fig. 1 に示したように飼育開始後 10 日までは両方で差が認められなかったが、その後、海水飼育群の成長が良くなり、飼育開始後 20 日以降は海水飼育群の全長および体重が有意に大きくなった。また、1/3 海水飼育群と海水飼育群の成長は Fig. 2 に示したように、両方で差が認められなかった。

2. 生残率 海水および淡水飼育実験では、海水飼育群の生残率が飼育開始後 50 日で低かったが、飼育開始 70 日以後は殆ど低下しなくなった。一方、淡水飼育群の生残率は、飼育開始後 70 日まで海水飼育よりも高かったが、以後急激に低くなり飼育開始後 110 日には、海水飼育群よりも低い傾向にあった (Fig. 3a)。一方、1/3 海水および海水飼育実験では、1/3 海水飼育群の生残率が飼育開始後 20 日から 80 日まで有意に高かったが、飼育開始 20 日以後の生残率曲線の傾きの有意差は両群で認められなかった (Fig. 3b)。

1⁺ 才魚飼育実験 Fig. 4a に示したように生残率は淡水および海水飼育群とも徐々に低くなっていき、最終的に 110 日目に淡水飼育群の平均が 55.6%，海水飼育群の平均が 64.1% で後者の方が高かったが、統計的に有

Fig. 1. Changes of body weight (a) and total length (b) in 0⁺-year-old four spine sculpin reared in SW (dashed line) and FW (solid line). Values are means $\pm$ S.E.M. from four groups ($n=40$ in each group). *, Significant difference between fresh water (FW) and artificial seawater (SW) groups ($P < 0.05$).

意差はなかった。Fig. 4b に示したように、実験開始時に 2 つの群で魚体重が約 9 g であったものが、成長が海水飼育群で良くなり、実験開始後 31 日以降には魚体重が淡水飼育群よりも有意に大きくなった。

考 察

環境浸透圧による生残率の違い 0 才魚を用いた淡水

Fig. 2. Changes of body weight (a) and total length (b) in 0⁺-year-old four spine sculpin reared in 1/3 SW (dashed line) and SW (solid line). Values are means $\pm$ S.E.M. from three groups ($n=40$ in each group).

Fig. 3. Changes of survival rate in 0⁺-year-old four spine sculpin reared in FW and SW (a) or 1/3 SW and SW (b). Graph (a); Values are means $\pm$ S.E.M. from four groups ($n=1$ in each group). *, Significant difference between fresh water (FW) and artificial seawater (SW) groups ($P < 0.05$). Graph (b); Values are means $\pm$ S.E.M. from three groups ($n=1$ in each group). *, Significant difference between 1/3 artificial seawater (1/3 SW) and artificial seawater (SW) groups ($P < 0.05$).

Fig. 4. Changes in survival rate (a) and growth (b) in 1+-year-old four spine sculpin reared in SW (dashed line) and FW (solid line). Values are means $\pm$ S.E.M. from four groups (graph a; $n=1$ in each group, graph b; $n=40$ in each group). *, Significant difference between fresh water (FW) and artificial seawater (SW) groups ($P<0.05$).

および海水飼育実験では、実験開始後 50 日には海水飼育群の方が生残率は低かったが、その後 70 日以降は殆ど低下しなくなった。一方、淡水飼育群の生残率は低下し続けたため、110 日には生残率が逆転した。また、1/3 海水飼育群は海水飼育群よりも実験開始 20 日目には生残率が有意に高くなったが、その後 1/3 海水飼育群と海水飼育群の生残率曲線の傾きは有意差がなかったことから、海水飼育群の生残率低下が飼育開始初期に生じていることが分かる。

カマキリの生態調査は、原田らによって由良川河口で実施されている。これによると日令で 80 日前後、体長で 30 mm 前後に達するまでにカマキリの稚魚は河川への遡上を開始すると推定している。¹⁴⁾ 本実験で用いた 0 才魚は 120 日令以上、体長も 30 mm 近くに成長しており、すでに河川に遡上する段階にあると考えられる。したがって、直接海水に移された際の生残率低下は浸透圧調節系がすでに淡水型に変化していたため、急激な浸透圧上昇に対応できなかったものと考えられ、0 才魚の場合は体液と等浸透圧である 1/3 海水で飼育するのが最善であろう。

一方、本来淡水に生息する 1 才魚においては、海水飼育群と淡水飼育群の間に生残率の差は認められなかったことから、本種が成長とともに再び海水への適応能力を発達させるものと考えられる。

環境浸透圧による成長の違い 海水、淡水飼育実験における 0 才および 1 才魚の成長は、飼育開始後約 1 ヶ月には海水飼育の方が良くなっていた。また、0 才魚における 1/3 海水および海水飼育実験結果をみると、両

群の成長差が認められなかった。これらの結果は、海水または希釈海水でのカマキリの成長は淡水中よりも促進されることを示している。以上の結果より、希釈海水での飼育または適切な馴致を行った後の海水飼育により本種の増養殖の効率化が図れる可能性が示唆された。同じカジカ科の降海型回遊魚であるヤマノカミでは日令 35 日の浮遊個体は淡水で死滅するが、塩分がある飼育水では生育した。しかし、日令 80 日の着底後は 0~11 ppt の低い塩分濃度が生残率、成長とも優れ、これは天然水域の生息調査と一致するという。¹⁵⁾ したがって、カマキリが海水または希釈海水で成長が促進されることは、至適塩分がヤマノカミとは異なる可能性があることを示唆するものである。

一方、カマキリは産卵のために降海し、海域で産卵することから、1 才魚における体重増加が生殖腺の発達によることが考えられる。カマキリの生殖腺の発達は、淡水で養殖した場合に 0 才魚から観察され、¹⁶⁾ 淡水で飼育した 1 才魚の生殖腺は 9 月頃から発達し、1 月頃に生殖腺体指数が雌雄とも最高になる。¹⁷⁾ また、0 才および 1 才魚を夜間電照により生殖腺発達を抑制した場合と夜間電照しない場合の成長は、11 月下旬以降から後者が、すなわち生殖腺が発達した場合に低くなる。¹⁷⁾ 今回の海水および淡水飼育実験では、海水飼育の成長が 0 才魚で全長および体重、1 才魚で体重で有意に良くなったのが、いずれも 11 月以前に認められている。一方、産卵のために降海する天然のカマキリが漁獲される時期は、福井県の九頭竜川で 11 月から 1 月で、¹⁸⁾ 天然のカマキリの産卵期が 1 月下旬から 3 月であることから、⁴⁾ 生殖腺は淡水および海水両域で発達することになる。したがって、淡水飼育と海水飼育で生殖腺発達がどの様になるか興味は持たれるが、1 才魚の体重増加が生殖腺発達だけによるとは考えにくい。

また、海水適応能力については、岩田らがシロサケにおいて血漿 Na^+ 量の変化を検討している。それによると淡水で飼育した成長段階が異なるシロサケ稚魚を海水に移し、経時的に血漿 Na^+ 量を測定したところ、淡水飼育期間が長くなるほど顕著に血漿 Na^+ が上昇し、海水に適応した水準に戻るのに時間がかかるという。¹⁹⁾ したがって、カマキリの海水適応能については、環境浸透圧適応と血液中の塩濃度の変化等血液成分の生理的变化についても検討する必要がある。さらに、シロサケでは、スモルト稚魚期に海水適応能を発達させ、産卵のために河川へ遡上する成魚では淡水適応能を発達させる。一方、広塩性魚のテイラピア *Oreochromis mossambicus* は淡水および海水域を自由に行き来できることが知られている。²⁰⁾ したがって、カマキリが生活史の中で海水または淡水適応能をどのように変化させているか興味を持たれる。今回の実験では、淡水から海水への環境浸透圧

変化に対して0才魚で生残率が劣っていたので, 馴致方法についても今後検討が必要である。また, サケ科魚類においては成長ホルモン (GH) やインシュリン様成長因子-I (IGF-I) の分泌が海水適応時に促進されることが知られている。²¹⁾ カマキリの海水適応における GH や IGF-I の作用は今後の興味深い研究課題である。

謝 辞

本研究を行う機会を与えていただいた, 福井県内水面総合センター若林健一所長に厚くお礼申し上げる。また, 本研究をとりまとめるにあたり有益なご助言をいただいた東京大学海洋研究所兵藤 晋助教授, 長谷川早苗技官にお礼申し上げる。

文 献

- 環境庁. 第3回自然環境保全基礎調査淡水魚類. 動植物分布調査報告書, 東京. 1988; 280.
- 上野幸徳, 西山 勝, 佐伯 昭. 平成8年度事業報告書. 高知県内水面漁業センター, 高知. 1998; 7: 89-93.
- 宮本敦史. 希少水生生物保存対策実験事業. 三重県水産技術センター, 三重. 1997; 150-151.
- 鈴木康仁, 山田洋雄. アラレガコ増殖技術開発実験. 昭和63年度福井水試事報, 福井. 1989; 143-153.
- 鈴木聖子, 山田洋雄, 吉村祐一, 塩谷昭三. カマキリ増殖技術開発実験. 平成3年度福井水試事報, 福井. 1992; 175-188.
- 谷村健一, 根本 茂. 特産魚種栽培事業化実験. 平成8年度福井水試事報, 福井. 1997; 89-94.
- 黒田長礼. カマキリに関する調査. 動物学雑誌 1947; 57: 101-103.
- Takeshita N, Onikura N, Nagata S, Matsui S, Kimura S. A note on the reproductive ecology of the catadromous four-spine sculpin. *Cottus kazika* (Scorpaeniformes. Cottidae). *Ichthyological Research* 1998; 46: 309-313.
- Kinoshita I, Azuma K, Fujita S, Takahashi I, Niimi K, Harada S. Early life history of a catadromous sculpin in western Japan. *Environ. Biol. Fish.* 1999; 54: 135-149.
- 岩谷芳自. カマキリ増殖の現状と問題点. 平成12年度第1回水産増殖懇話会講演会要旨集 2000; 4-5.
- 伊藤 隆, 岩井寿夫. アユ種苗の人工生産に関する研究, 人工ふ化仔魚の初期生残に対する飼育水の塩類組成の影響. アユの人工養殖研究 1971; 1: 236.
- 杉本剛士, 根本 茂. カマキリ養殖技術開発実験. 平成6年度福井水試事報, 福井. 1995; 119-150.
- 鬼倉徳雄, 松井誠一, 竹下直彦, 古市政幸. カマキリ, ヤマノカミの成長および生残率に及ぼす水温の影響. 水産増殖 1998; 46: 367-370.
- 原田慈雄, 木下 泉, 大井博昭, 田中 克. 由良川河口域周辺におけるカマキリ仔稚魚の分布および移動. 魚類学雑誌 1999; 46: 91-99.
- 鬼倉徳雄, 竹下直彦, 松井誠一, 木村清朗. ヤマノカミ仔稚魚の分布域および生残率と成長に及ぼす塩分濃度の影響. 水産増殖 1999; 65: 42-47.
- 山田洋雄, 松崎雅之. アラレガコ増殖技術開発試験. 平成元年度福井水試事報, 福井. 1990; 136.
- 岩谷芳自, 渥美正広. カマキリ養殖における電照方法について. 平成13年度第1回日本水産学会中部支部大会講演要旨集 2001; 19-21.
- 北陸公衆衛生研究所助. アラレガコ生息状況調査. 平成10年度河川水辺生物調査業務報告書 1999; 24.
- Iwata M, Hasegawa S, Hirano T. Decreased seawater adaptability of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) fry following prolonged rearing in fresh water. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1982; 39: 509-514.
- 金子豊二. 魚類特有のイオン環境適応能と塩類細胞の機能と多様性. 平成12年度~平成13年度科学研究費補助金研究成果報告書. 2002; 101-114.
- Sakamoto T, Hirano T. Expression of insulin-like growth factor I gene in osmoregulatory organs during seawater adaptation of the salmonid fish: possible mode of osmoregulatory action of growth hormone. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 1993; 90: 1912-1916.