

飼育密度がカマキリ当歳魚の成長と成熟に及ぼす影響

竹下直彦^{1†}, 濱田敏範^{2,3}, 鳩岡史隆^{2,4}, 上原 崇^{2,5}, 小木たま^{2,6}, 池田 至²

Effects of Rearing Density on Growth and Maturation of the 0-year-old Fourspine Sculpin, *Cottus kazika*

Naohiko Takeshita^{1†}, Toshinori Hamada^{2,3}, Fumitaka Hatooka^{2,4},
Takashi Uehara^{2,5}, Tama Ogi^{2,6} and Itaru Ikeda²

Abstract : Effects of rearing density on growth and maturation of 0-year-old *Cottus kazika* were studied over 4 years. Juveniles 90 days after hatching were used in the following 2 rearing conditions: 1) 52 fish were reared in 150 liter tank, representing the high-density condition, 2) each of 52 fish were reared in individual 57 liter glass aquaria, representing the solitary condition. These experiments were continued until 300 days after hatching. Almost of all fish were mature in the high-density condition. Whereas, large sized fish were mature and small sized fish were immature in the solitary condition. Therefore, data over the 4 years demonstrated that the maturation of 0-year-old *C. kazika* was quickened under the high-density condition.

Key words : Rearing density, Growth, Maturation, *Cottus kazika*

緒 言

カマキリ *Cottus kazika* は日本固有種であり、青森県から山口県至る日本海側と神奈川県から宮崎県に至る太平洋側及び兵庫県の瀬戸内海側の千種川に分布するカジカ属魚類である¹⁾。本種は降河回遊型の生活環をもち、冬季に海域で繁殖を行い、稚魚が河川を遡上して成長する²⁾。カマキリの幼魚は、低い堰でも遡上が阻害されるため、生息域が下流に狭められて全国的に減少し³⁾、環境省のレッドリストでは絶滅危惧II類に指定されている。福井県の九頭竜川中流域は本種の生息地として、1935年に国の天然記念物に指定された。その福井県では、カマキリを地域特産種として内水面養殖の振興を図るために、1988年から種苗生産及び養殖に関する技術開発が行われるとともに⁴⁾¹⁰⁾、人工養成したカマキリ親魚の生殖腺指数は、雌雄ともに11月か

ら発達し、雄では1~3月、雌では2~3月に高くなることが明らかになっている^{11,12)}。ところが、本種は0歳から成熟し¹³⁾、卵巣が発達し腹部が膨張した雌(特に0歳魚)が大量斃死するという問題も生じている^{5,9)}。高知県でも増養殖技術開発試験が行われているが、同様な問題が認められている¹⁴⁾。島根県江の川及び河口近辺の海域におけるカマキリの生態学的研究結果から、12~4月に海域で採集された成熟個体は主に満2歳で、満1歳で成熟する個体は満2歳魚に比べると少数と考えられるので^{15,16)}、0歳魚(産卵期には満1歳魚)が成熟するという現象は、飼育環境に起因する可能性が示唆された。そこで、カマキリ稚魚を養殖条件に相当する高密度飼育区と単独飼育区に分けて、飼育条件での繁殖期(1月下旬から3月上旬)¹⁵⁾直前まで飼育し、飼育密度が本種0歳魚の成長と成熟に及ぼす影響について調べた。

¹ 水産大学校水産学研究所 (Graduate School of Fisheries Science, National Fisheries University)

² 水産大学校生物生産学科 (Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University)

³ 日本水産株式会社 〒105-8676 東京都港区西新橋1-3-1 (Nippon Suisan Kaisha, Ltd. 1-3-1 Nishisinnbashi Tokyo 105-8676)

⁴ 株式会社うおいち 〒567-0853 大阪府茨木市宮島1-1-1 (Uoichi Co., Ltd. 1-1-1 Miyajima Osaka 567-0853)

⁵ 株式会社物産フードサービス 〒812-0025 福岡県福岡市博多区店屋町1-35 (Bussan Food Service Co., Ltd. 1-35 Tenya Fukuoka 812-0025)

⁶ 〒454-0932 名古屋市中川区中島新町1-1011-1 (1-1011-1 Nakashima-shinmachi Nagoya 454-0932)

[†] 別刷り請求先 (Corresponding author): takeshin@fish-u.ac.jp

材料と方法

採卵用親魚の採集と産卵

採卵用親魚は、島根県江の川水系尻無川の河口から56 km 地点で採集した。2009年10月21日に雄全長211 mm, 雌全長214 mm, 2010年10月11日に雄195 mm, 雌223 mm, 2011年10月20日に雄208 mm, 雌221 mm, 2012年10月26日に雄212 mm, 雌212 mmを採集し、水産大学の飼育施設に搬入した。親魚は淡水(曝気水道水)水槽(60×30×35 cm, 閉鎖循環式)で個別に飼育を行い、ウナギ育成用配合飼料(うなぎハイステップ, 林兼産業株式会社)100 gに対し、水90mlを加えてよく練り給餌した。採集年の12月中旬から、飼育水の塩分を徐々に上げ、翌年の1月上旬には塩分33~34 pptの海水飼育とした。1月中旬に、海水水槽(90×45×45 cm)に、コンクリート製のU字ブロック(内径9×9 cm, 長さ30 cmに切断)を産卵基質として入れ、1月中旬に雄を移した後、同月下旬に雌をそこに移した。繁殖は2010年2月29日, 2011年2月24日, 2012年1月

29日, 2013年2月3日に行われ、孵化は主に2010年3月23日, 2011年3月19日, 2012年3月1日, 2013年3月4日起こり、その間、雄は卵塊の保護と世話をを行った。

孵化した仔魚と稚魚の飼育

孵化した仔魚をポリカーボネイト水槽(30ℓ)に約500個体ずつ収容し、海水の掛け流し式(200ml/分)で、600ml/分のエアレーションを行い飼育した。孵化後2~40日には、栄養強化(パワフルブライン, 株式会社北村)したブラインシュリンプのノープリウス幼生(*Artemia sp.*, ブラインシュリンプエッグス-90, 株式会社北村), 30~70日にはラブラバNo. 4(林兼産業株式会社), 60日以降は上記のウナギ育成用配合飼料を給餌した。また、孵化後40日より、上記カーボネイト水槽1基あたりの飼育密度を約200個体とした。孵化後60日から、徐々に曝気水道水を注水して淡水馴致し、80日以降は曝気水道水のみを掛け流し式(200ml/分)とした。

Table 1. Mean total lengths (\pm SD) and number of individuals (in parenthesis) of *Cottus kazika*, in high-density and solitary rearing condition, at 90, 180 and 300 days after hatching.

Experiment period & rearing condition	Sex	Days after hatching		
		90 days (Initial)	180 days	300 days (Final)
1st period (2010-2011)				
High density	Both sexes	38.5 \pm 2.6 (104)	64.1 \pm 5.7 (98)	91.1 \pm 9.5 (98)
	Male			89.8 \pm 9.1 (60)
	Female			93.2 \pm 9.2 (38)
Solitary	Both sexes	38.9 \pm 2.6 (52)	87.6 \pm 12.5 (51)	121.4 \pm 13.8 (51)
	Male	38.7 \pm 2.3 (30)	86.7 \pm 11.9 (30)	120.9 \pm 13.5 (30)
	Female	39.0 \pm 2.9 (21)	89.0 \pm 13.5 (21)	122.0 \pm 14.5 (21)
2nd period (2011-2012)				
High density	Both sexes	42.0 \pm 2.4 (52)	61.3 \pm 5.6 (51)	82.7 \pm 8.2 (41)
	Male			81.6 \pm 6.3 (17)
	Female			84.3 \pm 8.2 (24)
Solitary	Both sexes	41.9 \pm 2.3 (52)	87.0 \pm 15.4 (51)	118.0 \pm 15.5 (48)
	Male	41.6 \pm 2.3 (28)	84.5 \pm 14.9 (28)	115.9 \pm 13.3 (28)
	Female	42.1 \pm 2.4 (20)	87.1 \pm 14.6 (20)	120.9 \pm 18.0 (20)
3rd period (2012)				
High density	Both sexes	32.8 \pm 1.7 (52)	64.8 \pm 8.4 (50)	94.1 \pm 9.7 (47)
	Male			91.2 \pm 7.1 (24)
	Female			97.2 \pm 11.1 (23)
Solitary	Both sexes	33.8 \pm 2.6 (52)	77.2 \pm 11.8 (49)	116.9 \pm 13.7 (49)
	Male	33.6 \pm 2.8 (25)	78.3 \pm 12.1 (25)	116.8 \pm 10.0 (25)
	Female	34.0 \pm 2.3 (24)	76.0 \pm 11.6 (24)	116.9 \pm 14.4 (24)
4th period (2013)				
High density	Both sexes	44.3 \pm 2.1 (52)	65.1 \pm 7.0 (51)	99.6 \pm 9.1 (50)
	Male			95.1 \pm 8.1 (14)
	Female			101.3 \pm 9.0 (36)
Solitary	Both sexes	43.8 \pm 3.1 (52)	81.0 \pm 13.6 (44)	122.5 \pm 13.0 (42)
	Male	43.1 \pm 2.3 (10)	82.2 \pm 12.2 (10)	119.1 \pm 8.8 (10)
	Female	44.3 \pm 3.2 (32)	82.2 \pm 12.9 (32)	123.5 \pm 14.0 (32)

魚体の測定と実験

孵化後90日（1期，2010年6月21日；2期，2011年6月17日；3期，2012年5月30日；4期，2013年6月2日）のカマキリを無作為に52個体ずつ2区（2010年のみ3区）に分け，孵化後300日まで，210日間の飼育実験を行った。孵化後90日に全長（TL，mm）を測定し，1区は52個体（2010年のみ2区）全てを1基（2010年のみ2基）の水槽で高密度飼育し，もう1区では52個体を単独飼育した（Table 1）。高密度飼育には，150ℓのFRP製角形水槽（水量は約100ℓに調整）を用い，曝気水道水の掛け流し式（800ml/分）とし，2基のエアレーション（各600ml/分）を行った。単独飼育には60×30×35 cmの57ℓ水槽（水量は約42ℓに調整）を用い，循環濾過（テトラプリアントフィルター，スペクトラム ブランズ ジャパン株式会社，）とし，600ml/分のエアレーションを行い，毎日約5～10ℓの換水を行なった。いずれの水槽にも，シェルター等の設置は行わなかった。給餌は1日1回，日没約1時間前に行い，体重の4%を目安に，残餌が出るまで与えて飽食給餌とした。水温は，実験室のエア・コンディショナーによる室温管理により調整し，6月約18℃，7月約22℃，8月約24℃，9月約22℃，10月約20℃とし，11月以降は室温管理を行わず，11月15～19℃，12月11～16℃，1月9～12℃に低下させた。

孵化後180日（1期，2010年9月19日；2期，2011年9月15日；3期，2012年8月28日；4期，2013年8月31日）及び300日（1期，2011年1月17日；2期，2012年1月13日；3期，2012年12月26日；4期，2013年12月29日）に全長の測定を行い（Table 1），300日の測定後にホルマリン固定した。後日，生殖腺を取り出し，雌雄の判別を行うとともにその重量（GW，g）

を測定し，下記の式により熟度指数（GI）を計算し，成熟と未成熟を判別した。

$$GI = 10^7 \times GW / TL^3$$

結 果

生残率

実験終了時の生残率は，1期（2010～2011年）では高密度飼育区で94.2%，単独飼育区で98.1%，2期（2011～2012年）では高密度飼育区で78.8%，単独飼育区で92.3%，3期（2012年）では高密度飼育区で90.4%，単独飼育区で94.2%，4期（2013年）では高密度飼育区で96.2%，単独飼育区で80.7%であった。

高密度飼育と単独飼育による成長の違い

実験開始時（孵化後90日）の全長は，4期間で差が認められた（Kruskal-Wallis検定， $P < 0.01$ ，Table 1）ので，各期間における高密度飼育区と単独飼育区の成長についてのみ比較を行なった。実験開始時では，高密度飼育，単独飼育の2区間において4期間とも差は認められなかった（Mann-Whitney U検定， $P > 0.05$ ，Table 1）。ところが，孵化後180日，300日ともに，4期間とも単独飼育区の方が高密度飼育区より大型になった（Mann-Whitney U検定， $P < 0.01$ ，Table 1）。

また，高密度飼育においては，孵化後300日の1～3期では，体長の雌雄差は認められなかったが（Mann-Whitney U検定， $P > 0.05$ ，Table 1），4期では雌が大型であった（Mann-Whitney U検定， $P < 0.05$ ，Table 1）。単独飼育で

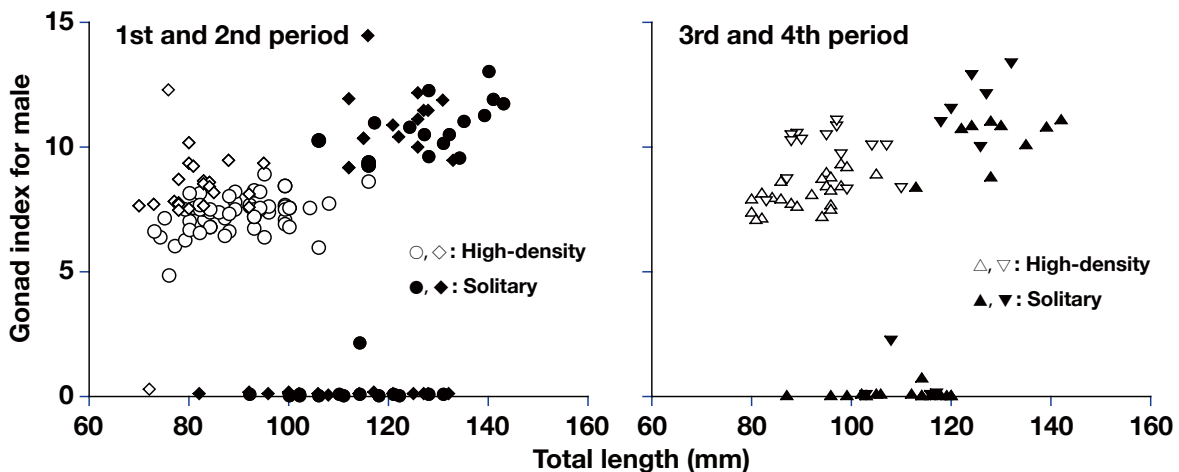


Fig. 1. Relationships of total length and gonad index for males of *Cottus kazika* in high-density and solitary rearing condition at 300 days after hatching. ○, ◇, 1st period; △, ▽, 2nd period; ▲, ▼, 3rd period; ●, ◆, 4th period in high-density. ●, ◆, 1st period; ▲, ▼, 2nd period; △, ▽, 3rd period; ●, ◆, 4th period in solitary.

は90, 180, 300日において, 体長の雌雄差は認められなかった (Mann-Whitney U-検定, $P>0.05$, Table 1)。

高密度飼育と単独飼育による成熟の違い

雄の全長とGIの関係をFig. 1に示す。高密度飼育区のGIは2期の全長72 mmの個体のGI (0.3) 以外は, 4.9~12.3と高い値であり, 精巣は肥大して白色を呈した。単独飼育区では8.4~14.5の高い値と0.05~0.8の低い値に大きく分かれた。高い値の個体の精巣は肥大して白色を呈していたので成熟, 低い値の個体の精巣は紐状で透明であったため未成熟と判断した。また, 1期の全長114 mm, 4期の108 mmの2個体のGIは未成熟個体の値に近い値であったが, 精巣は白色を呈し, やや肥大しており, 成熟過程にあると考えられたので, 成熟個体として取り扱った。

雌の全長とGIの関係をFig. 2に示す。高密度飼育区のGIは2期の全長61 mmの個体以外は13.4~50.0と高い値であり, 卵巣には卵黄が蓄積して乳白色から黄色を呈して肥大していた。単独飼育区では23.7~57.0の高い値と0.3~1.1の低い値に大きく分かれた。高い値の個体の卵巣は, 卵黄が蓄積して乳白色から黄色を呈し, 肥大していたので成熟, 低い値の個体の卵巣は透明であったため未成熟と判断した。

孵化後300日の高密度飼育区では, 1, 3, 4期においては全ての個体が成熟し, 2期においては小型の雄1個体 (全長72 mm) と雌1個体 (61 mm) のみが未成熟であり, 成熟率は雄96%, 雌94%であった (Figs. 1, 2; Table 2)。

一方単独飼育区では4期全てにおいて未成熟個体が出現し, その割合は雄では30~64%, 雌では50~75%であった (Table 2)。雄の全長は, 1期の未成熟個体が 112.1 ± 11.6

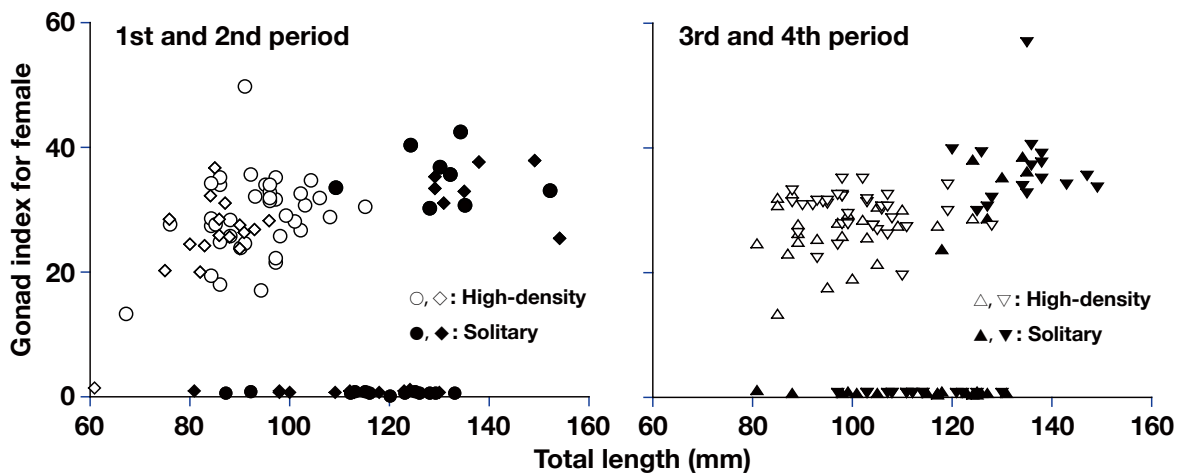


Fig. 2. Relationships of total length and gonad index for females of *Cottus kazika* in high-density and solitary in rearing condition at 300 days after hatching. ○, ◇, 1st period; △, ▽, 2nd period; ▲, ▼, 3rd period; △, ▽, 4th period in high-density. ●, ◆, 1st period; ●, ◆, 2nd period; ▲, ▼, 3rd period; ▲, ▼, 4th period in solitary.

Table 2. Number of immature and mature individuals of *Cottus kazika* in high-density and solitary rearing condition, at 300 days after hatching.

Experiment Period	Sex	High Density		Solitary	
		Immature	Mature	Immature	Mature
1st period (2010-2011)	Male	0	60	13	17
	Female	0	38	13	8
2nd period (2011-2012)	Male	1	23	15	13
	Female	1	16	13	7
3rd Period (2012)	Male	0	23	16	9
	Female	0	24	18	6
4th period (2013)	Male	0	14	3	7
	Female	0	36	16	16

mm, 成熟個体が, 127.7 ± 10.8 mm (Munn-Whitney U-検定, $P < 0.01$), 2期の未成熟個体が 110.0 ± 14.9 mm, 成熟個体が, 122.7 ± 7.08 mm ($P < 0.05$), 3期の未成熟個体が 110.0 ± 10.0 mm, 成熟個体が, 129.0 ± 8.9 mm ($P < 0.01$) で成熟個体が大型であったが, 4期の未成熟個体が 112.0 ± 7.8 mm, 成熟個体が 122.1 ± 7.8 mm であり, 差は認められなかった ($P > 0.05$, Fig. 1)。雌の全長は, 1期の未成熟個体が 116.8 ± 13.8 mm, 成熟個体が, 130.5 ± 12.0 mm ($P < 0.05$), 2期の未成熟個体が 111.7 ± 14.3 mm, 成熟個体が, 137.9 ± 10.0 mm ($P < 0.01$), 3期の未成熟個体が 113.2 ± 14.5 mm, 成熟個体が, 128.0 ± 6.4 mm ($P < 0.01$), 4期の未成熟個体が 112.4 ± 8.7 mm, 成熟個体が, 134.7 ± 8.0 mm ($P < 0.01$) であり, 成熟個体が大型であった (Fig. 2)。

また, 高密度飼育区と単独飼育区の性比を調べたところ, 1期の高密度飼育区で雄の個体数が多く, 4期では高密度飼育区と単独飼育区ともに雌が多い傾向が認められた (二項検定, $P < 0.05$; Table 2)。そこで, 雌雄別に成熟個体と未成熟個体の個体数の違いについて調べた。性比が雌に偏ったため個体数が少なかった4期の雄の場合 (Fisherの直接法, $P > 0.05$; Table 2) を除くと, 高密度飼育区に比べて単独飼育区では, 未成熟個体が有為に多く出現した (χ^2 検定あるいはFisherの直接法, $P < 0.01$; Table 2)。

考 察

本研究により, カマキリ0歳魚を高密度飼育すると, 単独飼育の場合より成長が遅いが, そのほとんどが満1歳で成熟し, 単独飼育を行うと, 成長が遅い小型個体の中から未成熟個体が出現し, その割合は雄では30~64%, 雌では50~75%であることが明らかになった。

養殖環境において, 本種は0歳から成熟すると報告されている¹¹⁾。しかし, 江の川におけるカマキリの成熟年齢は1~3歳で, 2歳魚が繁殖の主群であることが明らかになっている^{13, 14)}。また, 流程分布に沿った成熟年齢の違いも認められ, 河口から7~16 kmの水域では, 大型の0歳魚が成熟過程にあり, 河口から32~55 kmの水域では, すべての0歳魚が未成熟であり, また, 河口から7~16 kmの水域では, 全ての1歳魚が成熟過程にあり, 河口から32~55 kmの水域では, 小型の1歳魚が未成熟であった¹⁷⁾。したがって, 養殖における高密度という飼育環境が, カマキリ0歳魚の成熟年齢を早めた可能性が示唆された。本研究において, 生殖腺の組織学的観察を行っていないため, 高密度飼育に

おける性成熟が正常か否かを明らかにすることはできなかった。

このように飼育密度や生息密度が成熟年齢や成長に影響を及ぼすことが, 本種と同属で両側回遊型の生活環をもつカンキョウカジカ *C. hangiongensis* と河川型の生活環をもつハナカジカ *C. nozawae* で報告されている^{18, 23)}。北海道南部の大江別川と戸切地川のカンキョウカジカでは, 稚魚期に海から遡上した後, 生息密度が高い下流域にとどまる雄は小型, 若齢で成熟するが, 生息密度が低い上流まで遡上した個体は, 大型, 高齢で成熟することが明らかにされた。この傾向は雌でも認められるが, 雄ほど顕著ではないという。また, 戸切地川で採集した未成熟の雄1歳魚を, 8月から12月までの期間, 単独, 低密度, 高密度条件下で水槽飼育した結果, 低密度条件下で飼育された個体は高密度飼育個体と比較して性成熟が遅滞し, 単独飼育条件では, その中の大型に成長した個体が性成熟に達することが認められている。一方, 北海道南部の流溪川ハナカジカでは, 生息密度が高い上流では小型, 若齢で成熟が始まり, 生息密度が低い中流では, 大型, 高齢で成熟が始まるカンキョウカジカとは逆方向の生活史変異が認められている。

以上のことから, 高密度では成熟年齢が早まるため成長が遅くなり, 低密度では成熟年齢が遅れるため成長が速くなるというように, 成長と成熟年齢に変異が起こることは, 降河回遊, 両側回遊, 河川型という生活環の違いに関わらず, カジカ属魚類の特徴と考えられた。したがって, カジカ属魚類の種苗生産等の増養殖を行う際, 高密度飼育による成長と成熟年齢の低下, 成熟に伴う成長率の低下を考慮すると, 長日処理や水温管理等による高密度飼育における成熟抑制を検討する必要があるであろう。

謝 辞

本研究を行うにあたり, 当時の水産大学校生物生産学科資源増殖学講座の学生諸氏に飼育実験を手伝っていただいた。心より感謝の意を表す。

引用文献

- 1) 田原大輔, 竹下直彦: 瀬戸内海流入河川で採集されたカマキリ. 魚雑, **60**, 70-73 (2013)
- 2) 後藤 晃: アユカケ. 川那部広哉, 水野信彦 (編), 山溪カラー名鑑 日本の淡水魚類. 山と溪谷社, 東京,

- 655-657 (1989)
- 3) 高木基裕・谷口順彦: 高知県におけるカマキリ *Cottus kazika* の分布. 水産増殖, **40**, 329-333 (1992)
 - 4) 杉本剛士: カマキリ編. カジカ類の養殖技術. 緑書房, 東京, 64-86 (1999)
 - 5) 杉本剛士・山田洋雄・鈴木聖子: カマキリ (アラレガコ) 養殖技術開発試験. 福井県水産試験場平成4年度事業報告, 171-204 (1993)
 - 6) 杉本剛士・鈴木聖子・根本 茂: カマキリ (アラレガコ) 養殖技術開発試験. 福井県水産試験場平成5年度事業報告, 123-151 (1994)
 - 7) 杉本剛士・根本 茂: カマキリ (アラレガコ) 養殖技術開発試験. 福井県水産試験場平成6年度事業報告, 119-151 (1995)
 - 8) 谷村健一・根本 茂: カマキリ (アラレガコ) 養殖技術開発試験. 福井県水産試験場平成7年度事業報告, 97-107 (1996)
 - 9) 谷村健一・根本 茂: カマキリ (アラレガコ) 養殖技術開発試験. 福井県水産試験場平成8年度事業報告, 89-94 (1997)
 - 10) 岩谷芳自・井上広滋・青海忠久・竹井祥郎: カマキリ *Cottus kazika* 仔稚魚期の淡水耐性. 日水誌, **51**, 423-428 (2003)
 - 11) 田原大輔・羽多野 亮・岩谷芳自: カマキリ人工養成魚における残留卵の出現と成熟への影響. 水産増殖, **56**, 37-43 (2008)
 - 12) Tahara D, Hatano R, Iwatani H, Koya Y, Hayakawa Y: Annual changes in testicular development and occurrence of parasperm in the male reproductive of fourspine sculpin, *Cottus kazika*. *Ichthyol. Res*, **57**, 62-70 (2010)
 - 13) 山田洋雄・松崎雅之: カマキリ (アラレガコ) 増産技術開発試験. 福井県水産試験場平成元年事業報告書, 134-153 (1990)
 - 14) 上野幸徳・西山 勝・佐伯 昭: アユカケ増養殖技術開発試験. 高知県内水面漁業センター平成8年度事業報告書, 74-93 (1998)
 - 15) Takeshita N, Onikura N, Nagata S, Matsui S, Kimura S: A note on the reproductive ecology of the catadromous fourspine sculpin, *Cottus kazika* (Scorpaeniformes: Cottidae). *Ichthyol Res*, **46**, 309-313 (1999)
 - 16) Takeshita N, Ikeda I, Onikura N, Nishikawa M, Nagata S, Matsui S, Kimura S: Growth of the fourspine sculpin *Cottus kazika* in the Gonokawa River, in Japan and effects of water temperature on growth. *Fish Sci*, **71**, 784-790 (2005)
 - 17) 竹下直彦・藤澤真也・荒木 晶: 流域分布に沿ったカマキリの成熟年齢の違い. 1999年度日本魚類学会講演会講演要旨, 5 (1999)
 - 18) 碓井和也・後藤 晃: カンキョウカジカの成熟大型雄個体の特徴. 北大水産研究彙報, **37**, 38-49 (1987)
 - 19) Goto A: Life history variation in males of the river sculpin, *Cottus hangiongensis*, along the course of a river. *Env Biol Fish*, **19**, 82-92 (1987)
 - 20) Goto A: Reproductive behavior and homing after downstream spawning migration, in the river sculpin, *Cottus hangiongensis*. *Japan J Ichthyol*, **34**, 488-496 (1988)
 - 21) 後藤 晃: 淡水カジカ類の繁殖スタイルと繁殖戦術. 後藤 晃・前川光司 (編), 魚類の繁殖行動 その様式と繁殖をめぐって. 東海大学出版会, 東京, 73-84 (1989)
 - 22) Goto A: Male mating success and female mate choice in the river sculpin *Cottus nozawae* (Cottidae). *Env Biol Fish*, **37**, 347-353 (1993)
 - 23) 後藤 晃: カジカ属魚類の繁殖様式と生活史変異 回遊種と非回遊種の比較. 後藤 晃・塚本勝巳・前川光司 (編), 川と海と回遊する淡水魚 生活史と進化. 東海大学出版会, 東京, 141-153 (1994)