秋元湖におけるコクチバスの生殖周期

山家 秀信,^{1a} 棟方 有宗,^{1b} 会田 勝美,¹ 伏谷 伸宏,¹ 北村 章二^{2*}

(2004 年 2 月 5 日受付, 2004 年 6 月 22 日受理)

¹東京大学大学院農学生命科学研究科,²淡水産総合研究センター中央水産研究所内水面研究部日光庁舎

Reproductive cycle of smallmouth bass in Lake Akimoto

HIDENOBU YAMBE,^{1a} ARIMUNE MUNAKATA,^{1b} KATSUMI AIDA,¹
NOBUHIRO FUSETANI¹ AND SHOJI KITAMURA^{2*}¹Graduate School of Agricultural and Life Sciences, the University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo 113-8657,²Freshwater Fisheries Research Division, National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Research Agency, Nikko, Tochigi 321-1661, Japan

The reproductive cycle of smallmouth bass *Micropterus dolomieu* naturalized in Lake Akimoto at Fukushima Prefecture was investigated to obtain biological information for developing techniques to exterminate this species in Japan. Samples were captured monthly from April to December 2002. In male testes, spermatozoa or spermatids were observed from April to July and from September to December. In August, males showed low gonadosomatic index (GSI) and the testes were occupied by spermatocytes. In females, oocytes with early or late perinucleolus and yolk stages were observed from April to June and from October to December. From July to September, females showed low GSI and a decrease in the number of oocytes with yolk stages. In both males and females, plasma testosterone and 17,20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one levels reached peaks in May. In males, 11-ketotestosterone reached a peak in May. In females, estradiol-17 β showed high levels in April. From these results, the reproductive period of smallmouth bass can be considered to be from spring to early summer. However, they have gonads keeping a certain degree of maturity from autumn to early winter.

キーワード：コクチバス, ステロイドホルモン, 生殖周期, 精巣, 卵巣

オオクチバス *Micropterus salmoides* やコクチバス *M. dolomieu*, ブルーギル *Lepomis macrochirus*, ブラウントラウト *Salmo trutta* 等の外来魚は, 遊漁等を目的とした無秩序な放流によって全国各地に分布を拡大し, 在来水産動物を捕食することや在来種との種間競争により湖沼や河川の生態系と内水面漁業に悪影響を及ぼしている。なかでもコクチバスは 1925 年にオオクチバスと共に神奈川県芦ノ湖へ移入されたが定着せず, その後 1980 年代の釣りブームに伴い再移入され, 1990 年代に入って福島県檜原湖や長野県野尻湖を皮切りに各地で生息が確認された。¹⁾ 2002 年には 34 都府県 106 河川湖沼で生息が確認され, 現在も急速に分布を拡大してい

る。²⁾ 本種は北アメリカ東部を原産とする肉食性淡水魚類であり, 原産地では春から初夏にかけて水温 13~20 度で産卵する。³⁾ また, オオクチバスより上流域に多く生息することが報告されているため,⁴⁾ これまでオオクチバスの侵入が僅かしか報告されていなかった北日本や流水域での定着が危惧されている。しかし, 我が国に移植されたコクチバスの繁殖特性に関しては産卵環境についての報告がされているに過ぎない。⁵⁾ そこで本研究では, 本種の効率的な駆除技術開発のための基礎研究として, その生殖周期を組織学的かつ内分泌学的に調査した。

* Tel : 81-288-55-0055. Fax : 81-288-55-0064. Email : shojik@fra.affrc.go.jp

^a 日本学術振興会特別研究員 (JSPS Research Fellow)^b 現所属：宮城教育大学理科教育講座 (Division of Science Education, Miyagi University of Education)

材料および方法

2002年4月から12月にかけて、福島県秋元湖（標高736 m，面積3.6 km²，平均水深12.8 m）において釣獲又は刺し網により月に1度コクチバスを採捕した。同時に表面水温を計測した（Fig. 1）。なお，1月から3月には湖が全面結氷するためサンプリングは行わなかった。得られた個体の尾柄部からヘパリン処理されたシリンジ（容量5 mL，G23注射針付，テルモ，東京）によって捕獲後1時間以内に採血した。その後，供試魚を養殖研究所日光支所へ運搬し，体長（*BL*），体重（*BW*）および生殖腺重量（*GW*）を計測した。これらをもとに生殖腺体指数（*GSI*，(1)）と肥満度（*CF*，(2)）を次式によって求めた。

$$GSI = (GW/BW) \cdot 10^2 \quad (1)$$

$$CF = (BW/BL^3) \cdot 10^2 \quad (2)$$

また，生殖腺の左葉中央部の一部を摘出し，ブアン氏液で固定した。これらの横断切片（6 μm）を常法のパラフィン包埋法により作成後，マイヤーのヘマトキシリンとエオシンの二重染色を施し光学顕微鏡を用いて観察した。解剖の際，排精または排卵が観察された個体を最終成熟個体として記録した。さらに近縁種であるオオクチバスでの報告^{6,7)}を参考に，卵母細胞の成熟段階を以下の7段階に分類した。すなわち，第一次成長期とし

Fig. 1 Monthly changes of water temperature at Lake Akimoto. There is no data for December.

て1)周辺仁前期と2)周辺仁後期，第二次成長期として3)卵黄胞期，4)第一次卵黄球期，5)第二次卵黄球期および6)第三次卵黄球期，油球の集合や卵黄球の融合が観察された卵母細胞は全て7)成熟期とした。なお調査期間中，退行卵は殆ど観察されなかった。これら各発達段階にある卵母細胞の占める割合は，各個体のスライドガラスから4切片を無作為に選出し細胞を分類した後，月毎に集計し算出した。血液は遠心分離によって血漿を得た後，Munakata *et al.*⁸⁾に従ってラジオイムノアッセイ(RIA)法により testosterone (*T*)，estradiol-17β (*E*₂)，11-ketotestosterone (*KT*)，17,20β-dihydroxy-4-pregnen-3-one (*DHP*) 量を測定した。

結 果

肥満度（*CF*）と生殖腺体指数（*GSI*） 供試材料の体長，体重および個体数を Table 1 に，*CF* と *GSI* をそれぞれ Fig. 2 と Fig. 3 に示した。雄の *CF* は4月に最高値（平均±SE；4.337±0.79）を示したのち低下し，8月に最低値（0.290±0.05）となった。その後再び上昇し10月から12月にかけては5，6月と同程度の値を示した。雌の *CF* は6月に最高値（2.667±0.14）を示したのち低下し，8月に最低値（1.973±0.04）となった。雄の *GSI* は，5月に最高値（1.280±0.17）を記録したのち低下し，8月に最低値（0.185±0.03）となった。その後再び上昇し9月から12月にかけては4月と同程度の値を示した。雌の *GSI* は，6月に最高値（9.909±1.00）を記録したのち低下し，雄同様に8月に最低値（0.924±0.05）となったが，その後緩やかに上昇した。最終成熟（排卵・排精）個体は5月と6月に多く観察された。5月の表面水温は原産地で報告された産卵水温³⁾の範囲内であった（Fig. 1）。なお，10月以降の雌雄においても最終成熟と判断される生殖腺を持つ個体が認められた（Table 1）。

生殖腺組織 雄の精巣には調査期間を通して精子又は精細胞が観察された（Fig. 4）。4月から7月にかけて精巣

Table 1 Body length (*BL*), body weight (*BW*) and the number of specimens (*N*) in male and female smallmouth bass

Month	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Male									
<i>BL</i>	28.3	21.1	25.7	22.9	20.1	21.1	25.6	33.6	27.1
<i>BW</i>	534.8	194.3	453.4	243.8	156.7	195.0	385.4	950.0	411.9
<i>N</i>	6	4(4)	5(1)	6	6	6	7(3)	1	1(1)
Female									
<i>BL</i>	27.9	26.4	27.4	23.1	21.5	22.2	26.7	20.8	26.9
<i>BW</i>	498.4	447.2	563.0	253.8	198.8	222.8	411.4	200.0	405.9
<i>N</i>	13	13(9)	5(4)	6	12	6	8(2)	1(1)	2(1)

BL (cm) or *BW* (g) shows a mean value. Figures in parentheses show the number of spermiating or ovulated fish.

Fig. 2 Monthly changes of condition factor (CF) of male and female smallmouth bass.

Fig. 3 Monthly changes of gonadosomatic index (GSI) of male and female smallmouth bass.

内は精子又は精細胞で充満していた。しかし、8月は精小嚢には精母細胞が最も多く観察され、精細胞は僅かに認められたのみであった。9月からは再び精細胞や精子が多く観察され、精母細胞も認められた。10月は精母細胞の割合が減少し、代わって精細胞や精子が精小嚢の大部分を占めた。11月は標本を得ることが出来なかった。12月の個体では精母細胞は僅かしか観察されず、精細胞又は精子が充満していた。

卵巣には調査期間を通して様々な成熟段階の卵母細胞が観察された。各成熟段階にある卵母細胞の占める割合を Fig. 5 に示した。第一次成長期である周辺仁期がほぼ周年にわたり観察された。4月から6月にかけて観察された卵母細胞における各成熟段階の出現傾向は変わらず、全ての成熟段階が認められた。特に周辺仁期後期と卵黄球期、成熟期が多く観察された。しかし7月から9月は一変し、第二次成長期である卵黄球期の割合が極めて少なくなり、周辺仁期の割合が増加した。10月以降は再び卵黄球期の割合が増加し、成熟期と判断できる卵母細胞も多く出現した。10月と11月の周辺仁期の割合は20~30%と減少したが、12月は周辺仁期後期の割合が増加した。

血中性ステロイドホルモン量 血中の T , E_2 , KT , DHP 量は、雌雄共にいずれも4月から5月にかけて高値を示した (Fig. 6)。雌雄共に5月に T と DHP の最大値 (雌の T 量平均 $\pm$ SE ; $6.830 \text{ ng/mL} \pm 1.000$, 雄の

T 量 $3.168 \text{ ng/mL} \pm 0.435$; 雌の DHP 量 $5.760 \text{ ng/mL} \pm 4.780$, 雄の DHP 量 $2.215 \text{ ng/mL} \pm 0.312$) を示した。また、雄では KT が5月に最大値を ($5.313 \text{ ng/mL} \pm 4.046$)、雌では E_2 が4月に高値 ($4.207 \text{ ng/mL} \pm 0.576$) を示した。

考 察

本研究から、秋元湖に定着したコクチバスにおいても水温が原産地と同範囲内にある春から初夏にかけて、最も生殖腺の発達度が高くなることがわかった。また本種は産卵期終了後の秋季に生殖腺が発達するという特徴を持つ。すなわち、雌では夏に卵巣が退縮し秋から再び成熟度が高まった。そのなかには第三次卵黄球期などの充分に卵黄蓄積の進んだ卵細胞も存在したことから、産卵期の半年以上前からかなり発達した卵巣を持ち、その成熟度を維持しながら越冬する可能性が考えられる。また、雄においても夏に精巣が一旦退縮するが秋から再び活発な精子形成を行っていた。10月以降は大量の精細胞又は精子を持ち、 GSI が産卵期の50%を越える個体も多かった。さらに、4月から12月にかけて雄の GSI 変動は、邸ら⁶⁾や淀, 木村⁷⁾が報告したオオクチバス雄の GSI とよく似た傾向を示したことから、本種雄の GSI の周年変動もオオクチバスと同様の二峰性が予想される。したがって、雄の精巣も産卵期の半年以上前から発達し、越冬精子を持っていると判断できる。この様な例は寒冷期前に精子形成をある程度進行させるための適応とされ、オオクチバスの他,⁷⁾ カワカマス科 *Esox lucius* やトゲウオ科 *Eucalina inconstans* でも知られている。⁹⁾ しかし、春から初夏にかけて産卵する日本在来の淡水魚の生殖腺にはこれらの特徴は認められない。¹⁰⁻¹²⁾ また、原産地のオオクチバスにおいても雌雄の GSI は緩やかな二峰性であるが産卵期は GSI の最大ピーク前後の3~6月である。¹³⁾ 以上により、*Micropterus* 属の産卵期は通常春から初夏であると考えられる。

オオクチバスやコクチバスには、産卵可能場所の空間的制限による雄間競争が存在するため、大型雄から順に営巣することが知られている。¹⁴⁻¹⁶⁾ また、これらの雌は産卵期間中に多回排卵する非同期発達型の卵巣を持つため、同一個体が複数回産卵の機会を持つと考えられる。さらに産卵期早期に生まれた仔魚は餌環境に恵まれ、共食いされにくいと報告されている。^{15,17)} これらの繁殖生態から、コクチバスはオオクチバスと同様に秋季から成熟を開始することで、光周期、春季の水温上昇、ホルモン分泌等の条件が整い次第、出来るだけ早く産卵できるよう適応していると考えられる。

コクチバスでは、各種性ステロイドホルモン量が雌雄共に4月から6月の間にピーク値を示した。多くの魚類では、性行動に性ホルモンが必要であり、去勢された

Fig. 4 Transverse sections of the testes of smallmouth bass collected from April to December. Samples were not collected in November. Spermatocyte (sc), spermatid (st), spermatozoon (sz).

Fig. 5 Seasonal changes in percentages of developmental stages of oocytes in smallmouth bass. Early perinucleolus stage (ep), late perinucleolus stage (lp), yolk vesicle stage (yv), primary yolk stage (py), secondary yolk stage (sy), tertiary yolk stage (ty), mature stage (mt).

Fig. 6 Monthly changes in plasma levels of sex steroids of male and female smallmouth bass.

個体にホルモンを投与することによって性行動が再現できることが知られている。¹⁸⁾したがって、内分泌学的にも本種の主な産卵期は春から初夏であることが支持される。一方、秋季においても *GSI* の上昇と生殖腺の発達認められ、最終成熟状態と判断できる雌雄が僅かながら確認された。しかし、同季節の成熟状態に対応した性

ステロイドホルモンの上昇は観察されなかった。年2回産卵系統のニジマス *Oncorhynchus mykiss* では、生殖腺刺激ホルモンや E_2 の血中濃度は卵巣活動に見合った年2回のピークを示し、冬季産卵に対応するピークは個体毎に同期するが夏季産卵のものは個体間でばらつくことが知られている。¹⁹⁾ 秋季のコクチバスで観察された生殖腺の発達状況とホルモン動態の不一致は、ホルモン量のピークが存在したとしても低値で個体間でのばらつきも大きいこと、或いは、ニジマスのような年2回産卵系統の存在またはその潜在能力を示しているのかもしれない。

キンギョ *Carassius auratus* において、配偶子の成長が十分に進んだ個体では水温の上昇が刺激となって排卵・排精という最終成熟を引き起こすことが知られている。²⁰⁾ 秋元湖のような比較的水深の浅い湖では、気象等の環境条件による一過性の水温上昇が起きやすいと考えられるため、秋季にも繁殖適水温に達する水域が生じる可能性は否定できない。現在のところ、秋季におけるコクチバスの繁殖行動は報告されていないが、和歌山県と三重県の県境にある貯水池において10月下旬にオオクチバスの産卵床やそこに定位する個体が目視された例もある。⁷⁾ したがって、秋元湖のコクチバスは春から初夏を産卵期とするが秋季においても十分発達した生殖腺を持っていたことから、水温上昇による各種ホルモンのサージ等の内分泌的条件が整うことにより速やかに最終成熟し、その結果として秋季においても再び繁殖行動を起こす可能性も充分あり得る。

以上のように、コクチバスは、日本固有種とは異なる

生殖周期を示し、産卵期の半年以上も前から一定の成熟度に達した生殖腺を持っており、様々な生息環境に幅広く適応できる可能性が高いと考えられる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、サンプリングと実験を手伝っていただいた水産総合研究センター養殖研究所日光支所（現、中央水産研究所内水面研究部日光庁舎）の鹿間俊夫技官、中村英史技官、日本大学生物資源学部学生の松浦広明氏（現、ダイワ精工株式会社）、北里大学水産学部学生の佐藤剛氏（現、相模漁業生産組合）、金野昭平（現、中央水産研究所内水面研究部日光庁舎）に感謝申し上げる。また、サンプリングの便宜を計っていただいた福島県内水面水産試験場、秋元湖漁業協同組合に御礼申し上げる。本研究は、行政対応特別研究「外来魚コクチバスの生態学的研究および繁殖抑制技術の開発」における成果の一部であり、研究費は農林水産技術会議に依ったことを付記して感謝の意を表する。

文 献

- 1) 淀 太我. コクチバス—それでも放される第二のブラックバス. 「外来種ハンドブック」(日本生態学会編). 地人書館, 東京. 2002; 118.
- 2) 内水面外来魚管理等対策事業検討委員会. ブラックバス等(オオクチバス, コクチバス, ブルーギル)の生息分布, 影響等についての調査結果(平成14年度). 全国内水面漁業協同組合連合会, 東京. 2003; 16-19.
- 3) 細谷和海. コクチバス. 「日本の淡水魚」(川那部浩哉, 水野信彦, 細谷和海編)山と溪谷社, 東京. 2001; 504-505.
- 4) Coble DW. Smallmouth bass. In: Clepper H (eds) Black bass biology and management. Sport Fishing Institute, Washington D. C., 1975; 21-33.
- 5) 井口恵一郎, 淀 太我, 松原尚人. 移植されたコクチバスの繁殖特性. 水産増殖 2001; 49: 157-160.
- 6) 邸 嘉仁, 酒井 清, 隆島史夫. オオクチバスの成熟と催熟. 水産増殖 1991; 39: 343-351.
- 7) 淀 太我, 木村清志. 三重県青蓮寺湖と滋賀県西の湖におけるオオクチバスの生殖腺成熟. 日水誌 2002; 68: 151-156.
- 8) Munakata A, Amano M, Ikuta K, Kitamura S, Aida K. Inhibitory effects of testosterone on downstream migratory behavior in masu salmon, *Oncorhynchus masou*. Zool. Sci. 2000; 17: 863-870.
- 9) 高橋裕哉. 魚類の成熟, 発生, 成長とその制御. 「水族繁殖学」(隆島史夫, 羽生 功編) 緑書房, 東京. 1989; 35-64.
- 10) 朝比奈潔, 岩下いくお, 羽生 功, 日比谷京. タイリクバラタナゴ *Rodeus ocellatus ocellatus* の生殖年周期. 日水誌 1980; 46: 299-305.
- 11) 清水昭男, 羽生 功. 春産卵魚アカヒレタビラの生殖年周期. 日水誌 1981; 47: 333-339.
- 12) Asahina K, Hirose H, Hibiya T. Annual reproductive cycle of the topmouth gudgeon *Pseudorasbora parva* in the Tama River. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1990; 56: 243-247.
- 13) Rosenblum PM, Brandt TM, Mayes KB, Hutson P. Annual cycles of growth and reproduction in hatchery-reared Florida largemouth bass, *Micropterus salmoides floridanus*, raised on forage or pelleted diets. *J. Fish Biol.* 1994; 44: 1045-1059.
- 14) Heidinger RC. Life history and biology of the largemouth bass. In: Clepper H (ed) Black bass biology and management. Sport Fishing Institute, Washington D. C. 1975; 11-20.
- 15) Miranda LE, Muncy RJ. Recruitment of young-of-year largemouth bass in relation to size structure of parental stock. *N. Am. J. Fish. Manag.* 1987; 7: 131-137.
- 16) Hubert WA, Mitchell Jr VA. Ovarian development of smallmouth bass in Pickwick Reservoir. *J. Alabama Acad. Sci.* 1979; 50: 87-95.
- 17) Johnson JM, Post DM. Morphological constraints on intracohort cannibalism in age-0 largemouth bass. *Trans. Am. Fish. Soc.* 1996; 125: 809-812.
- 18) Munakata A, Amano M, Ikuta K, Kitamura S, Aida K. Sex steroids control migration of masu salmon. *Fish. Sci.* 2003; 68 suppl.: 49-52.
- 19) 朝比奈潔. 魚類の成熟, 発生, 成長とその制御. 「水族繁殖学」(隆島史夫, 羽生 功編) 緑書房, 東京. 1989; 103-131.
- 20) 山本喜一郎, 長浜嘉孝, 山崎文雄. 金魚の周年採卵法について. 日水誌 1966; 32: 977-983.