

한국산 수수미꾸리 *Kichulchoia multifasciata*의 생식주기

김재구 · 박종영*

전북대학교 자연과학대학 생명과학과, 전북대학교 생물다양성연구소

Reproductive Cycle of the Korean loach, *Kichulchoia multifasciata* (Pisces: Cobitidae) by Jae Goo Kim and Jong Young Park* (Department of Biological Science and Institute for Biodiversity Research, College of Natural Sciences, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea)

ABSTRACT Histological study and gonadosomatic index (GSI) to investigate an exact reproductive cycle of Korean loach *Kichulchoia multifasciata*, were conducted throughout a year from December 2011 to December 2012. The stage of ovarian and testicular development was divided into four phases: a growing phase (November to March the following year), a spawning phase (April ~ May), a degeneration phase (May ~ June), a resting phase (June to November). The peak of the spawning period in male and female appears between April to May, having water temperature 12.7°C and day length over 13 hours. These results were consistent well with a histological study.

Key words : *Kichulchoia multifasciata*, reproductive cycle, spawning phase, histological study, GSI

서 론

수수미꾸리 *Kichulchoia multifasciata*는 미꾸리과에 속하며 낙동강 수계에서만 서식하는 한국고유종으로 맑은 물의 유속이 빠르고 큰 자갈이 많은 곳에서 주로 부착조류를 먹고 산다. 또한 이 종의 산란시기는 11월부터 그 다음 해 1월까지로 국내 미꾸리과 어류 뿐 아니라 다른 담수어류보다 빠른 산란시기를 가지고 있는 것으로 알려져 있다(김과이, 1995; 김과 박, 2002). 지금까지 수수미꾸리에 관한 연구는 수수미꾸리 초기발생에 관한 연구(김과이, 1995), *Niwaella*속 2종의 난막 구조에 관한 연구(Park and Kim, 2001) 및 수수미꾸리의 난자형성과정과 난막의 구조(김 등, 2011) 등이 진행되어왔다. 그러나 최근 이 종에 대한 생태 조사를 수행하는 과정에서 기존의 보고된 산란시기와 차이가 있는 바, 정확한 생식주기를 확인하기 위해 생식소중량지수(Gonadosomatic index, GSI)의 변화, 조직학적 연구들을 수행하였다.

재료 및 방법

수수미꾸리는 2011년 12월부터 2012년 12월까지(매월 1회, 20일 경) 경상남도 함양군 유림면 임천에서 족대(4×4 mm)와 투망(7×7 mm)을 이용하여 채집하였고(전체 60개체), 생식소중량지수 및 조직학적 관찰을 수행하였다. 수온 및 기온은 채집장소에서 봉상온도계를 이용하여 측정하였다. 또한 월별 일장 시간은 한국천문연구원 관측자료를 인용하였다.

1. 생식소중량지수의 측정 (Gonadosomatic index, GSI)

매월 채집된 개체는 실험실 내로 옮겨 계수 및 계측하였고 체중은 0.01 g까지 측정하였으며 생식소를 적출하여 정량한 후 10% 포르말린으로 고정하였다. 성 성숙도를 나타내는 생식소중량지수는 $GSI(\%) = \text{생식소중량} \times 100 / \text{체중}$ 으로 계산하였으며 개체간의 평균값을 사용하였다.

2. 조직학적 관찰

생식세포 발달과정 및 성숙도를 조사하기 위해 정량이 끝난 생식소를 적출하여 4°C의 10% formalin에 12시간 고

*Corresponding author: Jong Young Park Tel: 82-63-270-3344
Fax: 82-63-270-3362, E-mail: park7877@jbnu.ac.kr

Table 1. Monthly variations in Gonadosomatic index of *K. multifasciata*

Sex	(2011)Dec.	(2012)Jan.	Mar.	Apr.	May.	Jul.	Sep.
Female	5.4	11.3	11.8	18.1	1.1	1.9	0.9
Male	2.1	2.0	5.6	9.7	2.6	1.7	0.1

정한 후 12시간 수세하였다. 일반적인 ethanol 탈수법으로 탈수한 다음 xylene으로 치환하였으며 paraffin으로 포매하였고 block을 제작하였다. Block은 microtome (Leica-820, Germany)으로 5 µm 간격으로 절단하여 hematoxylin과 eosin으로 이중 염색하였다. 제작된 슬라이드 표본을 성숙 시기별로 광학현미경 (Carl zeiss, AX10, Germany)을 이용하여 관찰하였으며 생식소의 발달단계는 박(1996)에 따랐다.

결 과

1. 생식소의 외부형태와 생식소중량지수 (Gonadosomatic index, GSI)

수수미꾸리의 생식소는 체강의 등쪽에 좌우 한 쌍이었으며 체강의 길이와 비슷하게 길게 신장된 형태를 보였다. 성숙한 암컷의 생식소는 체강의 대부분 공간을 차지하였다. 각 월별 생식소중량지수는 차이를 보였으며 그 중 4월의 암수 모두 생식소(암컷 GSI 18.6%, 수컷 GSI 9.7%)가 가장 크게 나타났고 산란을 마친 9월의 생식소(암컷 GSI 0.9%, 수컷 GSI 0.1%) 크기가 가장 작게 나타났다. 암컷의 생식소중량지수는 2011년 12월에 5.4%로 어느 정도 성숙하기 시작하여 2012년 1월(11.3%)부터 급격히 증가하기 시작하였고 2012년 4월에는 연중 최대값인 18.1%로 나타났다. 이 시기는 일장시간이 13시간 이상으로 증가하기 시작하고 수온 역시 12.7°C로 크게 증가하기 시작하였다(Fig. 1). 산란 직후인 5월부터 GSI 값은 1.1%로 급격히 낮아져 9월에는 연중 최소값인 0.9%이며 이 시기의 일장시간은 11시간으로 줄어들었고 수온은 20.5°C를 나타내었다.

수컷의 생식소중량지수는 2011년 12월에 2.1%로 나타났으며 1월까지의 전월과 비슷한 수준인 2%로 유지하다가 3월(5.6%)부터 급격히 증가하기 시작하여 4월에 연중 최대값인 9.7%로 나타났다. 이후 5월부터 2.6%로 감소하기 시작하여 9월에는 연중 최소값인 0.1%로 나타났다. 수수미꾸리는 암컷의 생식소가 수컷보다 먼저 성숙하기 시작하여 산란 직후 급격히 감소하는 양상을 보였으며 수컷은 암컷보다 다소 완만하게 감소하였다(Table 1, Fig. 1).

2. 생식소의 조직학적 변화

광학현미경을 이용하여 수수미꾸리 생식소의 조직학적 변화를 조사하였다. 암컷과 수컷 모두 휴지기, 성숙기, 산란

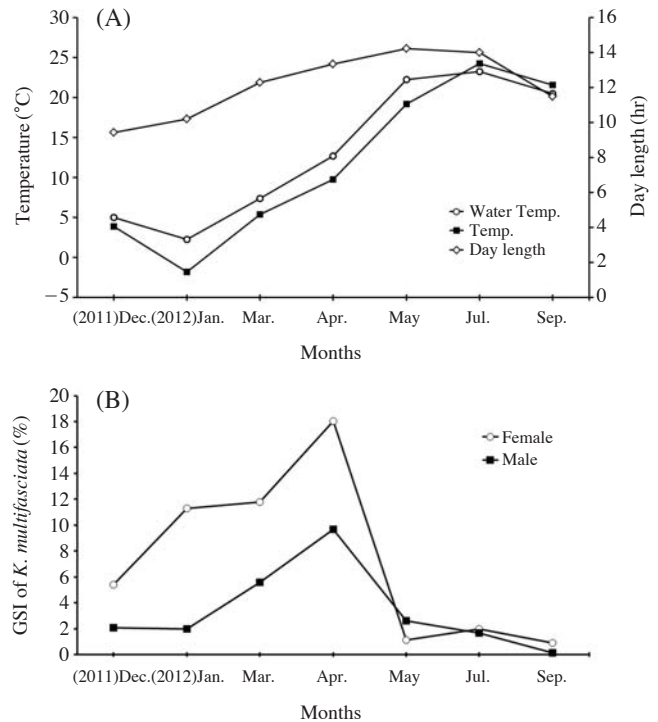


Fig. 1. Monthly variations in temperature, water temperature, day length (A) and Gonadosomatic index (GSI) of male and female *K. multifasciata* (B).

기, 퇴화기 등의 단계로 구분할 수 있었다.

1) 휴지기 (resting phase)

산란이 끝난 6월부터 11월까지의 기간은 휴지기로서 난소 내에는 73.9~167.8 µm 범위의 염색인기 (chromatin nucleolus stage)와 초기 주변인기 (early perinucleolus stage)의 난모세포들로 구성되어 있었다. 핵 내에는 크기가 다양한 인들이 산재하였으며 전체적으로 hematoxylin에 강하게 염색되었다(Fig. 2A). 휴지기의 난소는 산란을 마친 후 퇴화기가 끝나는 6월부터 11월까지의 개체에서 계속적으로 관찰되었다. 휴지기 수컷의 정소 내에는 세포의 크기가 비교적 크고 핵과 세포질의 구분이 뚜렷한 정원세포가 주로 존재하였다(Fig. 3A).

2) 성숙기 (growing phase)

암컷은 12월부터 이듬해 3월까지 서서히 성숙기에 접어들어 난자형성과정에 진입하게 된다. 난자형성과정 중 가장 많은 단계의 세포가 나타나는 시기이며 난소 내에는 912.3

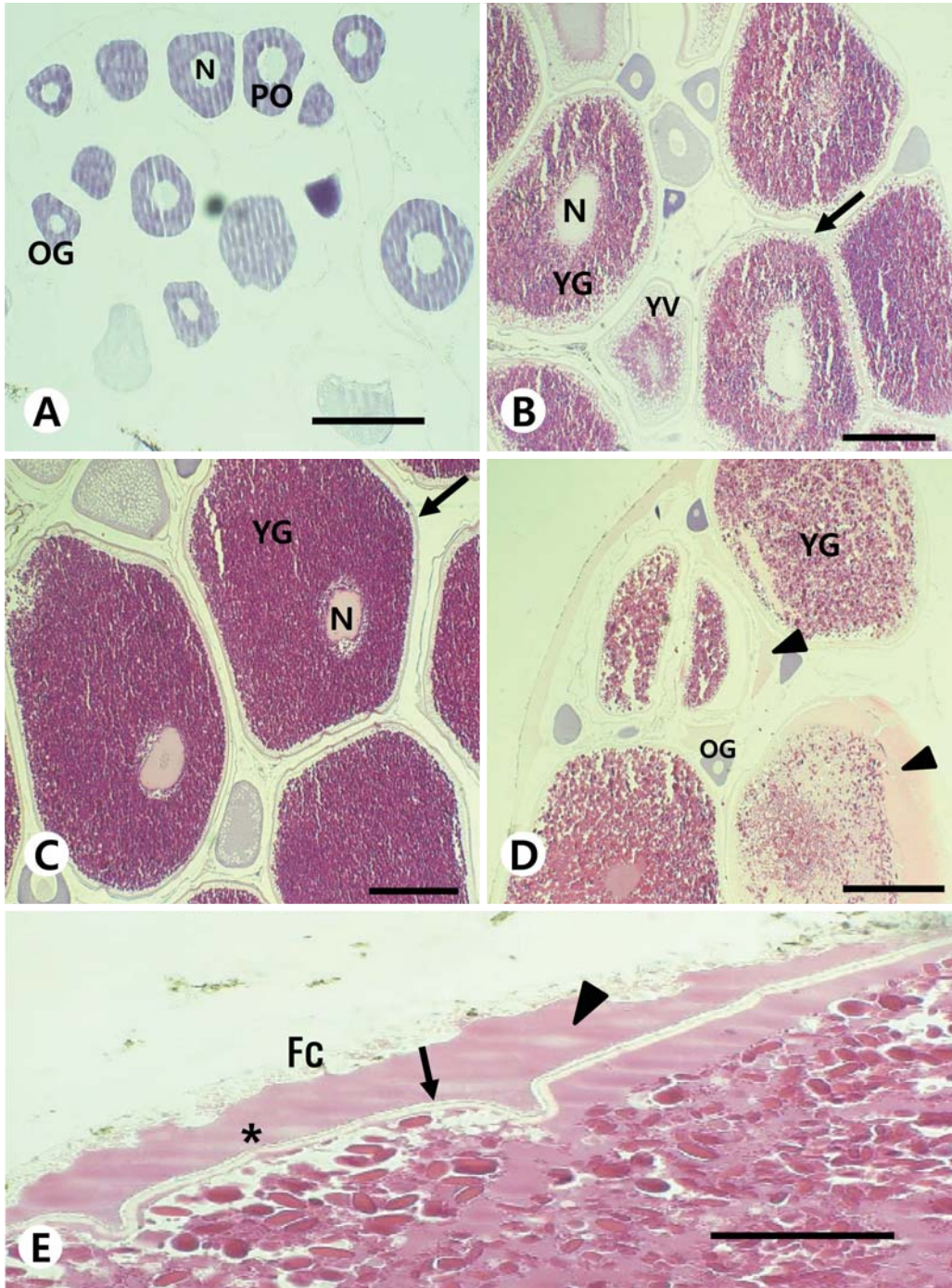


Fig. 2. Light micrographs of ovarian developmental stage in female *Kichulchoia multifasciata*. (A) Peri-nucleolus stage of resting phase (Bar=200 μ m); (B) Ovarian cells with various development stages of growing phase (Bar=500 μ m); (C) Mature stage of spawning phase (Bar=500 μ m); (D) Degenerating phase (Bar=500 μ m); (E) Egg envelope of degenerating phase (Bar=100 μ m). Fc: follicle cell layer, N: nucleus, OG: oogonia, PO: primary oocyte, YG: yolk granule, YV: yolk vesicles, arrow: egg envelope, arrowhead: flow out of yolk, asterisk: pore canal.

~1023.4 μ m 범위의 난모세포들이 주를 이루었으며 일부 주변인기에 해당하는 난모세포도 존재하였다(Fig. 2B). 이 시기의 난모세포에는 난막이 형성되고 난막 안쪽으로 형성된 난황포와 난황물질을 축적하고 있었다. 성숙기 수컷의 정소

는 정자형성과정(spermatogenesis) 중 가장 많은 단계의 세포가 관찰되는 시기로서 제1정모세포(primary spermatocyte)와 그보다 작은 크기의 제2정모세포(secondary spermatocyte)가 관찰되었으며 염색체가 응축하여 hematoxylin에 강

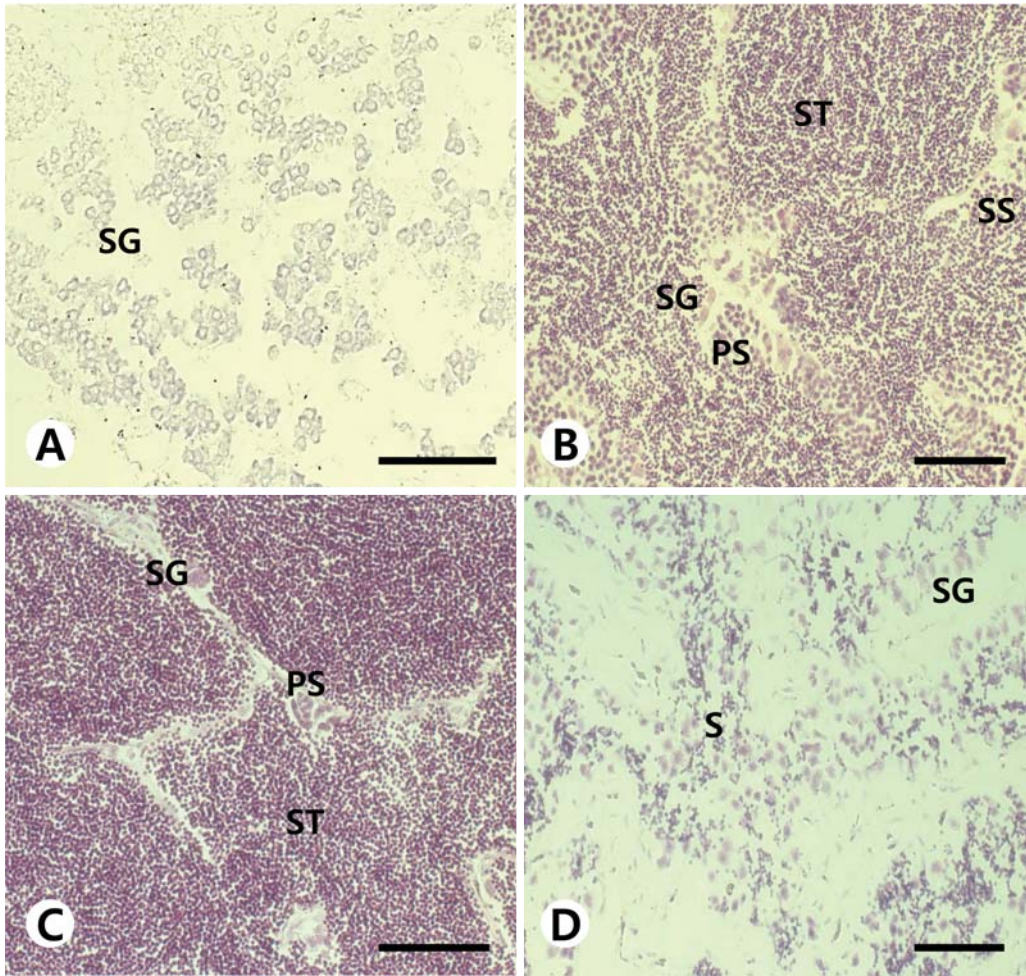


Fig. 3. Light micrographs of testicular developmental stage in male *Kichulchoia multifasciata*. (A) Resting phase (Bar=50 µm); (B) Growing phase (Bar=50 µm); (C) Mature stage of spawning phase (Bar=50 µm); (D) Degenerating phase (Bar=50 µm). PS: primary spermatocyte, S: sperm, SG: spermatogonium, SS: secondary spermatocyte, ST: spermatid.

하게 염색되는 구형의 정세포(spermatid)가 확인되었다(Fig. 3B).

3) 산란기(spawning phase)

4월의 수수미꾸리 난소는 대부분의 난에서 핵의 크기가 작아지는 반면 난황물질로 가득한 완전히 성숙된 난모세포가 관찰되었으며 난소 내에는 1118.7~1365.6 µm 범위의 난모세포들로 구성되어 있었다(Fig. 2C). 이 시기의 난모세포에는 두꺼워진 방사대(zona radiata)가 발달하여 난막이 뚜렷하게 나타났다. 수컷의 정소는 일부 남겨진 정원세포와 제1정모세포를 제외하고 대부분 정세포로 구성되어 있었다(Fig. 3C). 5월이 지나면서 산란이 끝난 후에도 수컷의 정소는 이와 비슷한 양상이 계속 관찰되다가 6월 이후 완전히 퇴화기에 접어들었다.

4) 퇴화기(degenerating phase)

산란이 끝난 5월부터 6월까지 기간의 수수미꾸리 암컷 생식소에는 산란이 되지 못한 475.1~1180.1 µm 범위의 난모세포들을 가지고 있었으며 이 시기의 가장 큰 특징으로 난모세포 내의 난황물질들이 난막의 pore canal을 통해 다시 체내로 이동하는 현상이 관찰되었다(Fig. 2D, E). 수컷은 암컷보다 다소 늦게 퇴화기가 시작되는데 6월부터 7월까지의 정소 내에는 방정이 완전히 되지 못한 일부 정자(spermatozoa)가 남아있었으며 산란기에 그 수가 적게 보이던 정원세포가 증가하여 나타났다(Fig. 3D).

고 찰

수수미꾸리의 생식소는 체강의 앞쪽에서부터 좌우 한 쌍

으로 나타나며 산란시기의 수수미꾸리 암컷은 체강의 대부분 공간에 성숙된 난이 자리하고 있었다. 또한 항문 부근에서 융합된 형태로 나타나 같은 미꾸리과 어류인 *Iksookimia* 속과 *Cobitis*속, *Misgurnus*속 그리고 *Nemacheilus*속과는 유사하게 나타났으나 한 쌍이 각각 분리된 쌀미꾸리의 난소 형태와는 다소 차이가 있었다(Park and Kim, 2001a, b).

수수미꾸리의 각 월별 생식소중량지수를 확인한 결과, 4월에서 암수 모두 생식소중량지수(암컷 GSI 18.6%, 수컷 GSI 9.7%)가 가장 크게 나타났고 산란을 마친 9월의 생식소중량지수(암컷 GSI 0.9%, 수컷 GSI 0.1%)가 크기가 가장 작게 나타났다. 이 시기의 일장시간이 13시간 이상, 수온은 12.7°C로 나타났으며 수온이 서서히 증가하기 시작하고 일장시간이 늘어나는 시기에 산란하는 것으로 판단된다(Table 1, Fig. 1). 또한 조직학적 관찰을 통해 확인한 결과, GSI값이 높게 나타난 4월이 가장 성숙한 암수의 생식소를 나타냈다(Figs. 2, 3). 수수미꾸리의 생식주기를 월별 생식소중량지수와 조직학적 관찰을 통해 정리하면 암컷이 성숙기(11~이듬해 3월), 산란기(4~5월), 퇴화기(5~6월), 휴지기(6~11월)로 구분되었으며 수컷의 경우 성숙기(11~이듬해 4월), 산란기(4~6월), 퇴화기(6~7월), 휴지기(7~11월)로 구분되었다. 따라서 수수미꾸리의 산란시기는 4월에서 5월까지인 것으로 추정된다. 이러한 결과는 5월~8월까지의 산란시기를 갖는 줄종개(김 등, 2006), 북방종개(최와 변, 2009)에 비해 일찍 산란하는 것으로 나타났으며, 5월에서 6월까지가 산란시기인 얼룩새코미꾸리(홍 등, 2011) 참종개(김, 1978), 왕종개(김과 고, 2005)보다도 이른 것으로 나타났다. 또한 5월이 산란시기로 알려진 새코미꾸리(변, 2007)와 부안종개(김과 이, 1984)와 비슷하였지만 수수미꾸리는 4월부터 시작되는 산란시기로 국내 미꾸리과 어류 중 가장 이른 시기에 산란하는 것으로 나타났다.

김과 이(1995)는 수수미꾸리의 산란추정시기를 11월~1월 사이로 보고한 바 있다. 김과 이(1995)의 보고는 본 연구결과 수수미꾸리가 다소 긴 성숙기를 보유하고 있어 11월의 수수미꾸리 난소 내에서도 난원세포, 제1난모세포 및 제2난모세포 등 분화단계가 다양한 생식세포들로 구성되어 있었던 것을 산란시기로 추정하였을 것으로 사료되며, 산란유도를 위한 실내 사육기간 차이에 의한 것으로 판단된다. 본 연구의 GSI값 중 수컷의 1월 지수가 다소 낮아진 것은 산란에 참여하지 않는 어린개체의 측정치 유입으로 생각된다(Fig. 1).

이러한 산란시기의 차이는 각 종마다 다른 환경적 요인에 의한 것으로 사료되며 본 연구의 경우 수온이 12.7°C, 일장시간이 13시간 이상이 되는 시기(4월~5월)가 산란최적기로 나타나 본 종의 산란을 위한 환경적요인은 일장시간이 길어짐에 따른 수온 상승에 의한 것으로 생각한다(Smith et al., 1990; Aida, 1991; Rosenblum, 1991; 양 등,

1994; 안, 1995; Serge et al., 1997; 엄 등, 2000).

특히 수수미꾸리의 생식주기 중 퇴화기의 난소에는 산란되지 못한 난을 보유하고 있었으며 난막이 얇아지기 시작하여 난막의 pore canal을 통해 난황물질이 재흡수되는 현상을 보이는데 이는 산란시기의 기아보상에 일환으로 여겨지며 새로운 영양물질의 섭취보다 효율적으로 영양균형에 유리하도록 진화한 것으로 판단된다. 이러한 현상에 대해서는 추가적인 생리학적 연구가 필요할 것으로 보인다.

요 약

2011년 12월부터 2012년 12월까지 수수미꾸리의 생식주기를 생식소중량지수와 조직학적 방법을 이용하여 조사하였다. 수수미꾸리 암컷과 수컷의 생식주기는 성숙기(growing phase, 11~이듬해 3월), 산란기(spawning phase, 4~5월), 퇴화기(degeneration phase, 5~6월), 휴지기(resting phase, 6~11월) 등 4단계로 구분되었다. 암컷과 수컷의 최적 수온이 12.7°C, 일장시간이 13시간 이상으로 증가하기 시작하는 4월에서 5월 사이인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 조직학적 실험 결과와 잘 일치하였다.

인 용 문 헌

- 김익수. 1978. 전주천 참종개 *Cobitis koreensis*의 생태. 한국생태학회지, 2: 9-14.
- 김익수 · 고명훈. 2005. 섬진강에 서식하는 왕종개 *Iksookimia longicarpa* (Cobitidae)의 생태. 한국어류학회지, 17: 112-122.
- 김익수 · 고명훈 · 박종영. 2006. 줄종개 *Cobitis tetralineata* (Pisces; Cobitidae)의 개체군 생태. 한국생태학회지, 29: 277-286.
- 김익수 · 박종영. 2002. 한국의 민물고기. 교학사, 서울, 193-233pp.
- 김익수 · 이완욱. 1984. 백천에 서식하는 참종개 *Cobitis koreensis* KIM 개체군의 형태와 생태. 한국생태학회지 7: 10-20.
- 김익수 · 이은희. 1995. 수수미꾸리의 초기 발생에 관한 연구. 한국하천호수학회지, 28: 455-462.
- 김치홍 · 김재구 · 박종영. 2011. 수수미꾸리 *Kichulchoia multifasciata*의 난자형성과정과 난막의 구조. 한국전자현미경학회지, 41: 189-196.
- 박종영. 1996. 한국산 미꾸리과(Cobitidae) 어류의 생식소에 관한 형태학적 연구 전북대학교 대학원 박사학위논문, 158pp.
- 변화근. 2007. 내린천에 서식하는 새코미꾸리 *Koreocobitis rotundicaudata* (Cobitidae)의 생태. 한국어류학회지, 19: 299-305.
- 안철민. 1995. 각시붕어, *Rhodeus uyekii*의 생식주기. 한국어류학회지, 7: 33-42.
- 양상근 · 이영돈 · 편충규. 1994. 자주복, *Takifugu rubripes*의 성숙속과 호르몬 처리에 의한 인공채란에 관한 연구. 한국양식학회지, 7: 189-205.
- 엄동혁 · 이성규 · 최신석. 2000. 왜물개, *Aphyocypris chinensis*의

- 생식주기. 한국하천호수학회지, 33: 395-404.
- 최준길 · 변화근. 2009. 연곡천에 서식하는 북방종개 *Cobitis pacifica* (Cobitidae)의 생태적 특성. 한국하천호수학회지, 42: 26-31.
- 홍양기 · 양 현 · 방인철. 2011. 자호천에 서식하는 멸종위기어류 얼룩새코미꾸리 *Koreocobitis nakdongensis* (Cobitidae)의 서식환경과 번식, 섭식생태. 한국어류학회지 23: 234-241.
- 한국천문연구원 (Korea Astronomy and Space Science Institute) 측정자료 함양군 <<http://www.kasi.re.kr>> (2012).
- Aida, K. 1991. Environmental regulation of reproductive rhythms in teleosts. Bull. Inst. Zool. Academia Sinica. Monograph., 16: 173-187.
- Park, J.Y. and I.S. Kim. 2001a. Fine structure of oocyte envelopes of the related cobitid species in the genus *Iksookimia* (Cobitidae), Ichthyological Res., 48: 71-75.
- Park, J.Y. and I.S. Kim. 2001b. Ultrastructure of the external egg envelopes in two Cobitid fishes (Cobitidae). Korean J. Ichthyol., 13: 19-23.
- Rosenblum, P.M., H.H. Chatterjee and T.M. Brandt. 1991. Influence of diet on ovarian steroidogenesis in largemouth bass. In: Scott, A.R., J.R. Sumpter, D.E. Kime and Rolfe, M.S. (eds.), Reproductive Physiology of Fish. University of Sheffield Press, Sheffield, pp. 265.
- Serge, I.D., G.P. Moberg and J.P. Van Eenennaam. 1997. Observations on the reproductive cycle of cultured white sturgeon, *Acipenser transmontanus*. Environ. Biol. Fish., 48: 265-278.
- Smith, R.L., A.J. Paul and J.M. Paul. 1990. Seasonal changes in energy and the energy cost of spawning in Gif of Alaska Pacific cod. J. Fish. Biol., 36: 307-316.