

# 자연산과 양식산 동자개 *Pseudobagrus fulvidraco* 정소의 생식소발달 비교 연구

조운정<sup>†</sup> · 유수향<sup>2,†</sup> · 박철우 · 김종욱 · 김재구 · 박종영<sup>1,\*</sup>

(주)알파생태연구원, <sup>1</sup>전북대학교 자연과학대학 생물학과, 전북대학교 생물다양성연구소, <sup>2</sup>국립생태원

**A Comparative Study of Male Gonadal Development between Wild and Cultured Yellow Catfish, *Pseudobagrus fulvidraco* by Yun Jeong Cho<sup>†</sup>, Soo Hyang Yoo<sup>2,†</sup>, Cheol Woo Park, Jong Wook Kim, Jae Goo Kim and Jong Young Park<sup>1,\*</sup>** (Alpha Research Ecology Institute, Gunsan 54151, Republic of Korea; <sup>1</sup>Faculty of Biological Science and Institute for Biodiversity Research, College of Natural Sciences, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea; <sup>2</sup>Division of Ecological Conservation, National Institute of Ecology (NIE), Seocheon 33657, Republic of Korea)

**ABSTRACT** Male gonadal development of the yellow catfish, *Pseudobagrus fulvidraco*, one of the most popular fish species in Korean aquaculture performance, was investigated by histological observation of monthly collected specimens to make comparisons between wild and cultured individuals. Their reproductive cycle was classified into the successive developmental stages as follows: a growing stage (April), a spawning stage (May), a degeneration stage (June to July), and a resting stage (August to October) in the wild and outdoor-cage individuals; a growing stage (April to June), a spawning stage (July to August), a degeneration stage (September), and a resting stage (October) in the indoor-cage ones. Values of gonadosomatic index (GSI) of wild and outdoor cages peaked in May, followed by a sudden decline in August~September and June~August, respectively. In contrast, GSI values of the indoor-cage individuals peaked in September and were followed by a sudden drop. Remarkable seasonal variation in condition factor (CF) was undetectable, peaking in June in the wild-cage individuals and November in the wild ones. Overall, our results suggest that it is suitable to use the male of the outdoor-cage individuals for artificial fertilization and that it is efficient to perform artificial fertilization in May, such as reproductive cycle of wild.

**Key words:** *Pseudobagrus fulvidraco*, cultured, GSI, male gonadal development

## 서 론

메기목 (Siluriformes) 동자개과 (Bagridae) 어류인 동자개 *Pseudobagrus fulvidraco*는 한국의 서해와 남해로 흐르는 강에 분포하고 있으며, 동해안과 낙동강의 일부 하천에는 이식되어 서식하고 있다 (Chae *et al.*, 2019). 동자개 어업 생산량은 2018년 기준 전체 내수면 어업 생산량의 1.24%로 비교적 적

은 비율을 보였으나 kg 당 10,000원 이상으로 판매되어 우리나라 담수어류 중 고가 어종으로 분류된다 (KOSIS, 2018). 그러나 양식산 동자개의 생산량은 2016년 264톤, 2017년 230톤, 2018년 191톤으로 점차 줄어들고 있는 추세이다 (KOSIS, 2018).

어류의 양식에서 생식 효율 (reproductive efficiency)은 어업 생산의 제한 요소 중 하나로 작용할 수 있으며 (Kucharczyk *et al.*, 2019), 안정적인 품질의 종묘를 생산하기 위해 양질의 정자와 난자를 얻는 것이 중요하다 (Kristan *et al.*, 2018). 따라서, 효율적인 어류의 양식을 위해서 계획적인 종묘생산이 요구되며, 친어의 생식소 성숙을 위한 기술 규명이 필요하다 (Chang

저자 직위: 조운정 (연구원), 유수향 (연구원), 박철우 (연구원), 김종욱 (연구원), 김재구 (대표이사), 박종영 (교수)

<sup>†</sup>조운정, 유수향은 논문 작성에 동등하게 기여하였음.

\*Corresponding author: Jong Young Park, Tel: +82-63-270-3344,

Fax: +82-63-270-3362, E-mail: park7877@jbnu.ac.kr

et al., 2001). 일반적으로 자연 산란이 어려운 종은 인공적인 산란 유도 방법을 통해 인공 수정이 가능하다(Kim et al., 1992). 그러나, 인공 수정을 위해 성 성숙 촉진제를 투여하여 얻은 난이 자연 산란을 통해 얻은 난에 비해 난질이 떨어지는 경우가 보고되어, 효율적인 종묘생산을 위해 자연 채란을 통해 수정란을 얻어야 한다(Lim and Han, 1997). 완전 양식을 위해서 양질의 난자와 정자를 얻는 것이 매우 중요하며 양식산 동자개의 생식 주기 규명이 필요하다.

Lim and Han (2012)은 동자개의 생식소 발달에 수온과 광주기의 영향에 대해 보고하였으나, 자연산 개체를 대상으로 연구가 진행되어 완전 양식을 위해 양식산과 자연산의 생식소 발달에 관한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 자연산과 양식산 동자개의 정소 생식주기 비교를 통하여 양식산 친어를 이용한 완전 양식에 필요한 효율적인 인공수정 시기를 예측하고 인공 종묘생산을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험어 및 사육환경

본 연구는 2018년 4월부터 10월까지 3주 간격으로 자연산과 양식산 수컷 동자개를 사용하여 실시하였다. 자연산 개체는 전라북도 완주군 삼례읍(만경강 35°89'37.54"N, 127°05'70.31"E)에서 낚시로 채집하였으며, 양식산 개체는 김제 소재 양식장의 실외 사육장과 실내 사육장에서 각각 투망(7×7 mm)과 족대(4×4 mm)를 이용하여 채집하였다. 자연산과 실외 양식장의 광주기 시간은 일출시간과 일몰시간을 조사하여 기록하였고(KMA, 2018), 실내 양식장의 명기(light, L)와 암기(dark, D)는 6L:18D로 설정하였다. 자연산 동자개(n=15)

는 체장 140~221.1 mm, 체중 54.1~162 g이었으며, 양식산 실외 사육장 동자개(n=17)는 체장 155.2~255 mm, 체중 80~243.3g, 실내 사육장 동자개(n=16)는 체장 165.1~263.2 mm 체중 84.4~338 g이었다.

실외 사육장은 35 m(가로)×35 m(세로)×1.5 m(높이)로 바닥은 황토 재질로 이루어져 있으며, 실내 사육장은 8 m(가로)×8 m(세로)×1.2 m(높이)의 콘크리트 재질로 이루어져 있었다. 실험 기간 중 자연산 조사 지점의 pH와 수온은 물환경정보시스템(2018)을 이용하였으며, 양식산 조사지점은 수질 측정기(ProODO, YSI Inc., OH, USA)를 이용하여 매일 측정하였다.

### 2. 생식소의 조직학적 관찰

채집된 개체는 살아있는 상태로 실험실로 운반하여 체장과 체중을 측정 한 후 실험에 사용하였다. 동자개의 정소를 적출하여 정량 한 후, 4°C의 10% formalin 용액에 12시간 고정하였다. 고정된 샘플은 12시간 수세한 다음 Ethanol로 탈수하여 xylene으로 치환하였다. 그 후 paraffin으로 포매하여 조직을 block으로 제작하고 microtome (Leica, Leica820, Germany)을 사용해 block을 4~5 μm의 두께로 연속 절편하였다. 제작된 표본은 Harris's haematoxyline과 0.5% eosin으로 이중 염색 후 광학현미경으로 관찰하였으며 생식소의 발달단계는 Park (1996)에 따라 성숙기, 산란기, 퇴화기, 휴지기로 나누었다.

### 3. 생체지수

매일 채집한 개체와 적출한 정소를 0.1 g까지 측정하였다. 산란기를 조사하기 위해 측정값을 사용하여 생식소 지수(gonadosomatic index: GSI=생식소 중량×100/체중, N'Da and Deniel, 1993)와 비만도 지수(Fulton's condition factor:

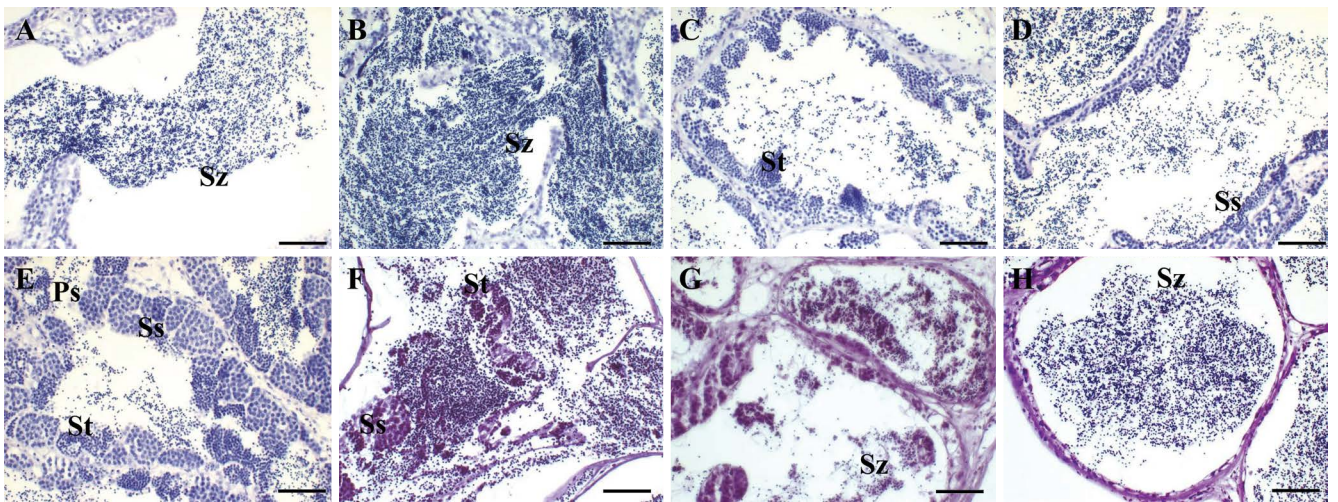


Fig. 1. Testicular developmental stage of *Pseudobagrus fulvidraco* in the wild. A, April; B, May; C, June 3; D, June 24; E, July; F, August; G, September; H, October 2018. Ps: primary spermatocytes, Ss: secondary spermatocytes, St: spermatids, Sz: spermatozoa. Bars indicate 50 μm.

CF=(체중/전장<sup>3</sup>)×10<sup>5</sup>, Anderson and Neumann, 1996)를 구하였다. GSI와 CF에 대하여 유의성 검증을 위해 SPSS (ver 12.0)을 사용하였다. 각 측정항목에 대하여 유의성 검증을 위해 one-way ANOVA test를 실시하였으며, 사후분석은 Fisher LSD로 검증하였다(p=0.05).

## 결 과

### 1. 정소 발달

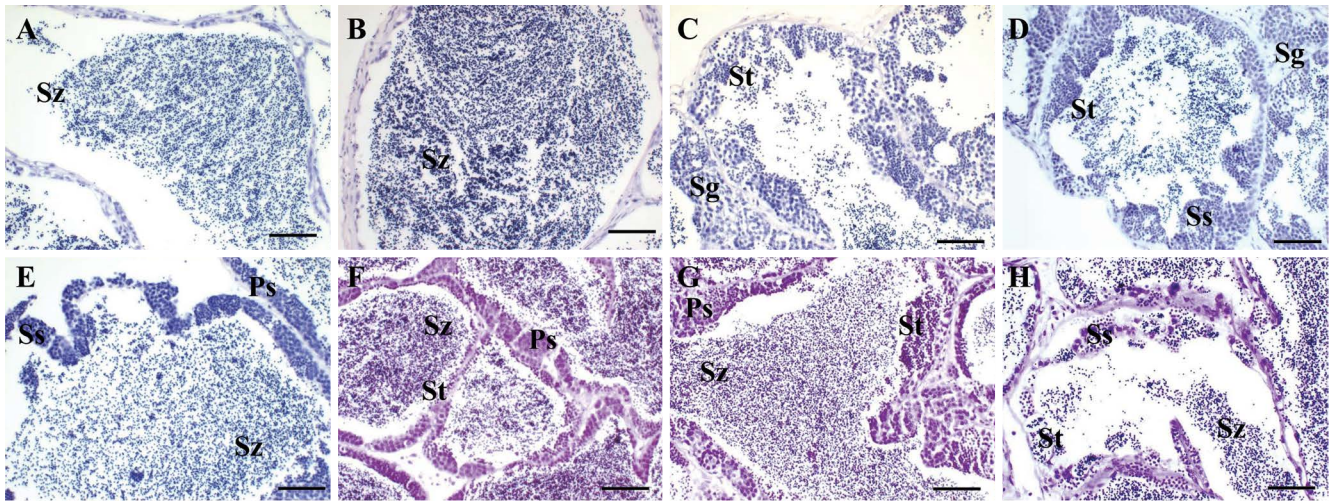
#### 1) 자연산

자연산 개체의 정소는 소엽(lobular)으로 이루어져 있었으며 4월에 성숙기로 각 소엽의 내강에 염기성 hematoxyline

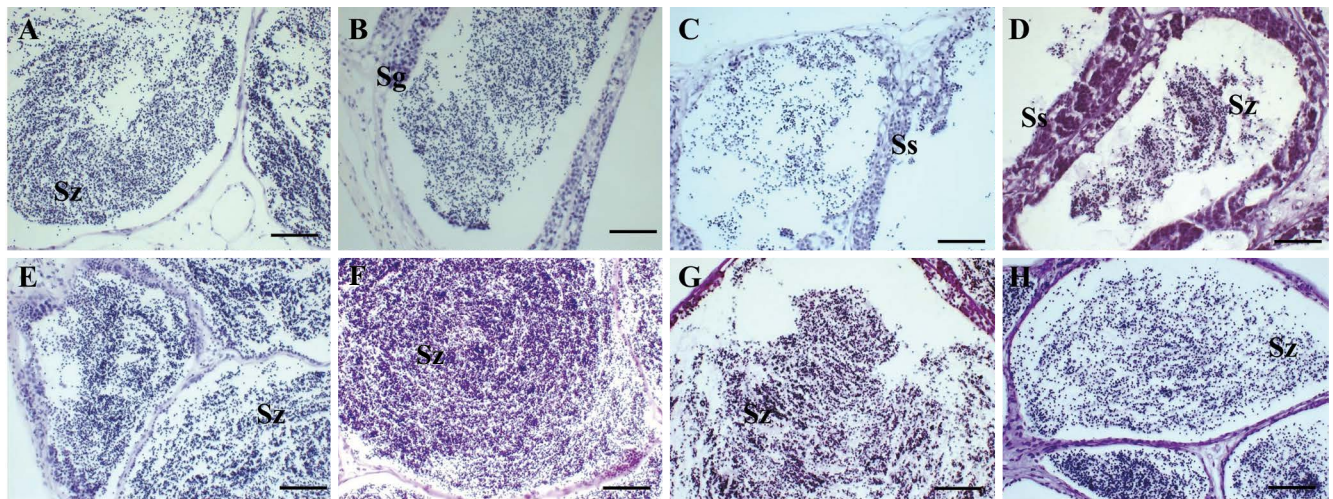
에 진하게 염색된 정세포가 생성되는 것을 관찰할 수 있었다 (Fig. 1A). 이후 5월은 산란기로 성숙한 정자가 소엽 내강을 가득 채우고 있었다 (Fig. 1B). 6월에서 7월은 퇴화기로 소엽 내에 가득 차있던 정자가 방정된 후 약간의 정자가 남아 있었으며 소엽 상피 주위로 정원세포들이 분열하여 증식하며 제1정모세포와 제2정모세포가 확인되었다 (Fig. 1C-E). 이후 8월에서 10월은 휴지기로 소엽 중앙에 정세포가 관찰되었다 (Fig. 1F-H).

#### 2) 실외 사육장

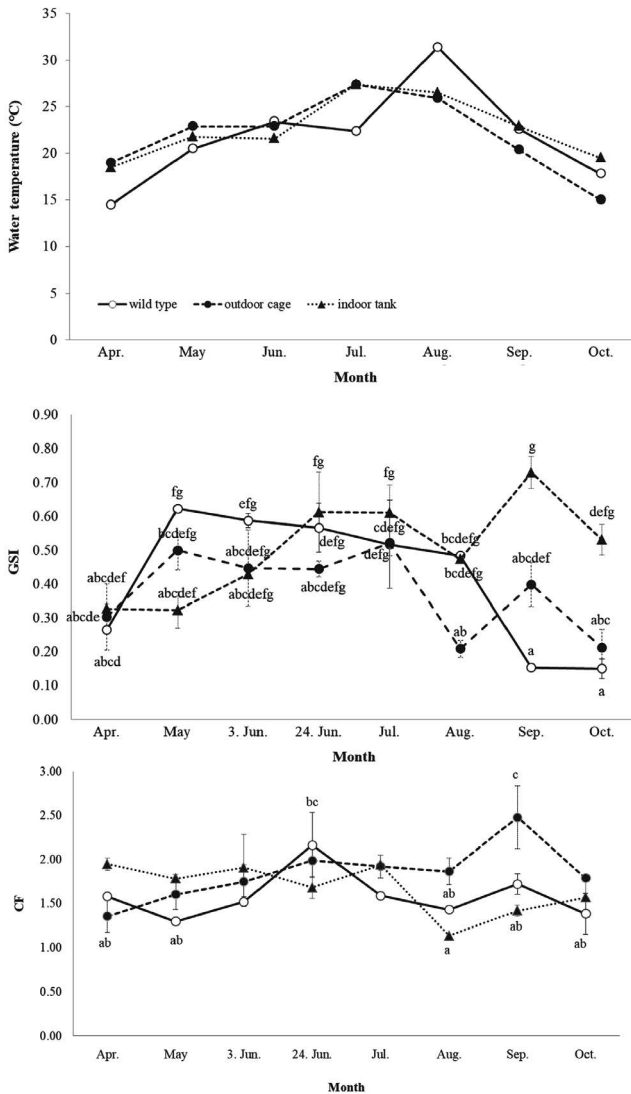
실외 사육장 개체의 정소는 4월에 자연산과 마찬가지로 성숙기에 해당하며, 정세포가 소엽 내에서 다수 관찰되었으며



**Fig. 2.** Testicular developmental stage of *Pseudobagrus fulvidraco* in the outdoor cage. A, April; B, May; C, June 3; D, June 24; E, July; F, August; G, September; H, October 2018. Ps: primary spermatocytes, Sg: spermatogonium, Ss: secondary spermatocytes, St: spermatids, Sz: spermatozoa. Bars indicate 50 µm.



**Fig. 3.** Testicular developmental stage of *Pseudobagrus fulvidraco* in the indoor tank. A, April; B, May; C, June 3; D, June 24; E, July; F, August; G, September; H, October 2018. Sg: spermatogonium, Ss: secondary spermatocytes, Sz: spermatozoa. Bars indicate 50 µm.



**Fig. 4.** Monthly changes in temperature, gonadosomatic index (GSI) and condition factor (CF) of *Pseudobagrus fulvidraco*. Apr., April; 3. Jun., 3 June; 24. Jun., 24 June; Jul., July; Aug., August; Sep., September; Oct., October. Bars with the same letter above are not significantly different ( $p < 0.05$ ).

(Fig. 2A), 산란기인 5월은 성숙한 정자가 확인되었다(Fig. 2B). 이후 6월의 정소는 대부분의 정자가 방정된 후 비어있는 양상을 보였으며 소엽의 외벽 주위에 초기 정소 발달이 확인되었다(Fig. 2C, D). 7월에서 10월은 휴지기에 해당하며, 비어있던 소엽 중앙에 정세포가 확인되며 주위로 정원세포가 관찰되었다(Fig. 2E-H).

**3) 실내 사육장**

실내 사육장 개체는 4월에서 6월까지 성숙기로 소엽 주변에 정원세포가 관찰되며 소엽 내강에 정세포가 존재하였다(Fig. 3A-E). 7월에서 8월은 산란기로 정소 소엽 내에 밀집된

정자가 관찰되었다(Fig. 3F). 9월은 방정된 후 남아있는 정자가 확인되었으며(Fig. 3G), 10월은 휴지기로 정세포가 남아 휴지하는 모습을 보였다(Fig. 3H).

**2. 생체지수 변화**

자연산 수컷의 GSI는 4월에 0.27%로 낮았으나 5월에 0.62%로 급격히 증가하였다( $p=0.024$ ). 그 후 유의한 변화를 보이지 않았으며, 9월에  $0.15 \pm 0.02\%$ 로 감소하여( $p=0.006$ ), 10월  $0.15 \pm 0.05\%$ 로 유지하였다( $p > 0.05$ ). 실외 사육장 수컷은 4월에  $0.31 \pm 0.19\%$ , 5월에  $0.51 \pm 0.11\%$ 의 값을 보였으며, 7월까지 유의한 차이를 보이지 않았다( $p=0.114$ ). 그 후, 8월에  $0.21 \pm 0.04\%$ 로 하강하여( $p < 0.05$ ) 9월에  $0.4 \pm 0.13\%$ 로 잠시 상승한 후, 10월에  $0.21 \pm 0.11\%$ 로 다시 하락하였다( $p=0.039$ ). 실내 사육장 수컷은 4월에  $0.33 \pm 0.02\%$ 로 낮은 값을 보였으며 6월 초까지 유의한 차이를 보이지 않았다( $p > 0.05$ ). 6월 말에  $0.61 \pm 0.23\%$ 로 상승한 값을 보인 후( $p < 0.05$ ), 8월에 0.47%로 잠시 하강하였다가 9월에  $0.73 \pm 0.09\%$ 로 가장 높은 값을 보인 후( $p=0.01$ ) 10월에  $0.53 \pm 0.09\%$ 의 값을 보여 유의한 차이가 없었다(Fig. 4,  $p > 0.05$ ).

자연산 CF는 유의한 차이를 보이지 않았으며( $p > 0.05$ ), 4월에 1.58%, 5월에  $1.37 \pm 0.03\%$ 를 보이다 점차 상승하여 6월 24일에 가장 높은 값인  $2.16 \pm 1.11\%$ 를 기록하였다. 이후 8월에 하강하여 10월에  $1.38 \pm 0.47\%$ 의 값을 보였다. 실외 사육장 CF는 4월에  $1.35 \pm 0.36\%$ 의 낮은 값을 보였고, 그 후 유의한 차이를 보이지 않았으며, 9월에 가장 높은 값인  $2.48 \pm 0.72\%$ 를 기록한 후( $p=0.031$ ) 10월에 값이 하강하였다. 실내 사육장 동자개 CF는 4월에 다른 집단에 비해 높은 값인  $1.95 \pm 0.14\%$ 를 기록하였다. 그 후 유의한 차이가 없었으나 8월에 1.14%로 하강하였다( $p=0.02$ ). 9월과 10월은 각각  $1.42 \pm 0.12\%$ 와  $1.57 \pm 0.43\%$ 로 비교적 상승한 값을 보였다(Fig. 4,  $p > 0.05$ ).

**고 찰**

경골어류의 정소는 조직학적 관찰에 따라 소엽형(lobular type)과 세관형(tubular type)으로 나뉜다(Billard *et al.*, 1982). 본 연구에서 동자개는 다른 동자개과 어류인 꼬치동자개(Oh *et al.*, 2008)와 같은 소엽형으로 구성되어 있으며, 각각의 소엽은 많은 포낭(Cyst)으로 구성되며 각각 다른 정자발달단계를 보이고 있었다.

일반적으로 수온과 광주기와 같은 환경적 요건은 경골어류의 생식주기를 조절하는 중요한 요인으로 알려져 있다(Aida, 1991). 또한, 수온과 광주기를 조절하여 생식소 발달을 촉진시키거나 지연시켜 적절한 어류의 인공수정 시기를 판단한다(Nash, 1999). 월별 정소의 조직학적 분석과 GSI 관찰을 통

해 생식소 발달 단계를 나눈 결과, 자연산과 실외 사육장 동자개는 성숙기(4월), 산란기(5월), 퇴화기(6월~7월), 휴지기(8월~10월)로 관찰되었다. 실내 사육장 동자개는 성숙기(4월~6월), 산란기(7월~8월), 퇴화기(9월), 휴지기(10월)로 구분되었다. 자연산 개체와 실내 사육장 개체의 생식주기의 차이는 수온과 광주기의 차이로 인한 것으로 여겨진다. Lim and Han (2012)은 동자개의 자연산 개체를 수온과 광주기를 달리 하여 동자개의 생식소 발달을 조사한 결과 광주기 15 hr, 수온 23°C일 때 GSI가 상승함을 보고하였으며, 본 실험에서는 자연산은 광주기 14 hr, 수온 20.5°C, 실외 사육장은 광주기 14 hr, 수온 22.9°C, 실내 사육장은 광주기 6 hr, 26.5°C로 약간의 차이를 보였다. 이는 수심에 따른 광주기(조도)의 차이로 사료되며, 수심이 자연상태에 비해 얕은 양식산 개체는 수온이 정소의 성숙에 더 큰 영향을 주는 것으로 보인다. 수온 및 광주기의 작용으로 인한 어류의 산란 시기는 춘계산란형 (spring spawner), 춘하계산란형 (spring to summer spawner), 추계산란형 (autumn spawner), 동계산란형 (winter spawner)으로 구분되며 (Shimizu and Hanyu, 1993), 동자개는 춘계산란형으로 추론된다. 이는 산란기가 5월에서 7월까지인 미유기 *Silurus microdorsalis* (Ki, 2015), 5월에서 6월까지인 자가사리 *Liobagrus mediadiposalis* (Choi, 2008)와 유사하였으며, 산란기가 6월에서 7월까지인 꼬치동자개 *Pseudobagrus brevicorpus*와는 차이를 보였다 (Oh *et al.*, 2008).

CF는 일반적으로 어류의 건강, 비만, 성숙을 알아보기 위해 이용되며 (Le Cren, 1951), 특정 서식지 또는 생태계에 서식하는 어류 군집의 전반적 건강 상태를 나타내는 지표로 사용되기도 한다 (Tsoumani *et al.*, 2006). 본 연구에서 동자개의 GSI에 비해 CF는 연중 변화가 크지 않았으며, 이는 동자개 수컷의 생식소 발달 시기에 생체 변화에 영향이 미미한 것으로 보인다. 성숙에 자연산 개체의 경우 CF값이 유의한 차이를 보이지 않았으나, 양식산 실외 사육장과 실내 사육장의 경우 각각 9월과 8월에 유의한 차이를 보였다. 이는 개체의 크기 차이와 양식산 개체 복부 내 지방에 따른 결과로 보인다.

자연산과 양식산 개체 간 정자의 품질 비교는 잉어과 어류인 Barbel, *Barbus barbus*에서 보고되었다. 본 종의 인공 수정을 위해 GnRH와 HCG를 사용하여 성 성숙을 유도하였을 때, 자연산과 양식산 수컷의 정자의 품질에 있어서 유의한 차이가 없었다 (Targońska *et al.* 2011). 그러나, 잭방어 *Seriola dumerili*의 경우 자연산과 양식산 개체의 성숙도 비교에서 양식산 개체의 소엽 내 정자의 양이 자연산에 비해 적어 정자 성숙이 현저히 떨어졌다 (Zupa *et al.*, 2017). 본 실험에서 동자개는 자연산과 양식산 개체 간의 성숙도 차이는 있었으나 현미경 상의 정소 내에 정자의 양은 큰 차이가 없어 자연산 개체와 양식산 개체의 정자의 품질 차이가 크지 않을 것으로 판단된다.

동자개 생식소의 성숙을 위한 수온(23°C)을 조절하여 인공

수정 시기를 조절할 수 있다. 따라서 자연상태의 성숙이 완료된 친어를 확보하는 어려움을 양식산 수컷 친어를 사용함으로써 안정적 친어 확보에 도움이 될 것이다. 또한 자연산과 양식산의 정소 발달은 실외 사육장의 경우 일치하였으며, 실내 사육장의 경우 수온 조절을 통해 산란기가 늦춰진 것이 확인되어, 수온 조절과 호르몬 조절을 통해 조기 종묘생산을 이루어 겨울을 나지 않고 단년생을 출하할 수 있는 기술개발에 도움이 될 것으로 생각된다.

## 요 약

양식업에서 인기 있는 어종 중 하나인 동자개를 자연산과 양식산을 구분하여 생식소 발달을 관찰하였다. 자연산과 양식산 동자개는 2018년 4월에서 10월에 채집하여 수컷의 생식소 지수, 비만도 지수 및 생식소 발달을 연구하였다. 광학현미경으로 관찰된 월별 생식소 발달과 GSI를 기반으로 생식소 발달 단계는 자연산과 실외 사육장은 4월 성숙기, 5월 산란기, 6월에서 7월 퇴화기, 8월에서 10월 휴지기로 관찰되었다. 실내 사육장은 4월에서 6월까지 성숙기, 7월에서 8월 산란기, 9월 퇴화기, 10월 휴지기로 구분되었다. GSI 값은 자연산과 실외 사육장은 5월에 가장 높은 값을 보였고, 실내 사육장은 9월에 가장 높은 값을 나타내 차이를 보였다. CF는 자연산과 양식산 사이에 유의한 차이가 없었으나 자연산은 6월에 가장 높은 값을 보였으며, 실외 사육장은 11월에 가장 높은 값을 보였다. 본 실험 결과, 실외 사육장 동자개 수컷을 인공 수정에 사용하는 것이 적합하며, 자연산 생식주기와 같은 5월에 인공 수정을 하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- Aida, K. 1991. Environmental regulation of reproductive rhythms in teleostei. Bull. Inst. Zool., Academia sinica, Monograph., 16: 173-187.
- Anderson, R.O. and R.M. Neumann. 1996. Length, weight, and associated structural indices. In: Murphy, B.R. and D.W. Willis (eds.), Fisheries techniques, 2nd ed. American Fisheries Society, Maryland, U.S.A., pp. 447-482.
- Billard, R., A. Fostier, C. Weil and B. Breton. 1982. Endocrine control of spermatogenesis in teleost fish. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 39: 65-79. <https://doi.org/10.1139/f82-009>.
- Chae, B.S., H.B. Son and J.Y. Park. 2019. A Field guide to the freshwater fishes of Korea. LG Evergreen Foundation, Seoul, Korea, 355pp.
- Chang, Y.J., H.K. Lim and J.Y. Kwon. 2001. Changes in plasma steroid hormone level in rockfish *Sebastes inermis* by the

- controlled water temperature and photoperiod. Korean J. Fish Aquat. Sci., 34: 13-16.
- Choi, N.H. 2008. Reproductive biology of south torrent catfish, *Liobagrus mediadiposalis* in the Korean endemic species. Doctoral Thesis, Chonnam National University, Korea, p. 124.
- Ki, S.U. 2015. A study on the reproductive cycle of *Silurus microdorsalis*, Korean endemic species. Master thesis, Chonnam National University, Korea, p. 24.
- Kim, D.S., J.H. Kim and I.S. Park. 1992. Induced and multiple spawnings by human chorionic gonadotropin injection of the loach, *Misgurnus mizolepis* (Teleostomi; Cobitidae). Korean J. Ichthyol., 5: 109-115.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2018. Climate information. Retrieved from <http://www.kma.go.kr>, (accessed 1 May 2019).
- KOSIS (Korea Statistical Information Service). 2018. Fishery production survey. Retrieved from <http://kosis.kr/index/index.do>, (accessed May 1, 2019).
- Kristan, J., D. Źarski, M. Blecha, T. Policar, O. Malinovskyi, A.M. Samarin, K. Palinska-Zarska, J. Nowosad, S. Krejszeff and D. Kucharczyk. 2018. Fertilizing ability of gametes at different post-activation times and the sperm-oocyte ratio in the artificial reproduction of pikeperch *Sander lucioperca*. Aquacult. Res., 49: 1383-1388. <https://doi.org/10.1111/are.13570>.
- Kucharczyk, D., D.J. Kucharczyk, J. Nowosad and N. Omirzhanova. 2019. Optimization of artificial insemination outcomes of African catfish (*Clarias gariepinus*) with differing hatchery conditions. Anim. Reprod. Sci., 211: 10622. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106222>.
- Le Cren, E.D. 1951. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). J. Anim. Ecol., 20: 201-219.
- Lim, S.G. and C.H. Han. 1997. Annual reproductive cycle of the banded catfish, *Pseudobagrus fulvidraco* (Richardson). J. Korean Fish. Soc., 30: 823-833.
- Lim, S.G. and C.H. Han. 2012. Effect of water temperatures and photoperiods on gonadal development in banded catfish *Pseudobagrus fulvidraco*. J. Fish. Mar. Sci. Educ., 24: 854-861. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2012.24.6.845>.
- N' Da, K. and C. Deniel. 1993. Sexual cycle and seasonal changes in the ovary of the red mullet, *Mullus surmuletus*, from the southern coast of Brittany. J. Fish Biol., 43: 229-244. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1993.tb00425.x>.
- Nash, J.P. 1999. Seasonal reproduction in fish. In: Knobil, E. and J.D. Neill (eds.), Encyclopaedia of reproduction. Academic Press, New York, U.S.A., pp. 329-340.
- Oh, M.K., J.Y. Park, E.J. Kang, S.G. Yang, E.O. Kim and Y.C. Jo. 2008. Sexual differentiation in Korean stumpy bullhead *Pseudobagrus brevicorpus* derived from artificial fertilization. Korean J. Ichthyol., 20: 255-262.
- Park, J.Y., 1996. A morphological study on the gonad of the species in the Family Cobitidae (Pisces: Cypriniformes) from Korea. Doctoral Thesis, Chonbuk National University, Korea, pp. 82-86.
- Shimizu, A. and I. Hanyu. 1993. Factors involved in the development of and decline on photoperiodism as it relates to the gonadal activity of a spring-spawning bitterling, *Acheilognathus tabira*. J. Exp. Zool., 265: 31-45. <https://doi.org/10.1002/jez.1402650205>.
- Targońska, K., D. Kucharczyk, D. Źarski, B. Cejko, S. Krejszeff, K. Kupren, R. Król, K. Dryl, R. Kowalski and J. Glogowski. 2011. Artificial reproduction of wild and cultured barbel (*Barbus barbus*, Cyprinidae) under controlled conditions. Acta Vet. Hung., 59: 363-372.
- Tsoumani, M., R. Liasko, P. Moutsaki, I. Kagalou and I. Leonardos. 2006. Length-weight relationships of an invasive cyprinid fish (*Carassius gibelio*) from 12 Greek lake in relation to their trophic states. J. Appl. Ichthyol., 22: 281-284. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00768.x>.
- Zupa, R., C. Rodríguez, C.C. Mylonas, H. Rosenfeld, I. Fakriadis, M. Papadaki, J.A. Pérez, C. Pousis, G. Basilone and A. Corriero. 2017. Comparative study of reproductive development in wild and captive-reared greater amberjack *Seriola dumerili* (Risso, 1810). PLoS One, 12: e0169645. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169645>.