

동자개 (*Pseudobagrus fulvidraco*)의 생식소 발달에 수온과 광주기가 미치는 영향에 관한 연구

임상구[†] · 한창희^{*}

([†]국립수산과학원 내수면양식연구센터 · ^{*}동의대학교)

Effect of Water Temperatures and Photoperiods on Gonadal Development in Banded Catfish *Pseudobagrus fulvidraco*

Sang-Gu LIM[†] · Chang-Hee HAN^{*}

([†]Inland Aquaculture Research Institute, NFRDI · ^{*}Dong-Eui University)

Abstract

To investigate the role of water temperatures and photoperiods as environmental cues regulating reproductive rhythm in banded catfish *Pseudobagrus fulvidraco*, rearing experiments were conducted using several rearing regimes combined with changes in photoperiods and water temperatures during growing and spawning periods. GSI of 23°C was significantly higher than 18°C in female, but 9 light of 18 and 23°C were no difference in male. In case of estradiol, 18°C and 15 L was higher than other experimental period after 20 days. But, end of the experiment, all of experimental period were no difference. Testosterone of female was no difference in 18°C-9 and 15 L after 20 days. Testosterone of male was no difference in 18°C-9 L. In case of 11-KT, control level was 0.39±0.03 ng/mL and 18°C-9 L was no significantly difference after 20 days. But, 15 L was higher than other experimental period.

Key words : Banded catfish, *Pseudobagrus fulvidraco*, Water Temperature, Photoperiod, Spawning period, Gonadal maturation.

I. 서론

어류의 증양식을 안정적으로 발전시키기 위해서는 양질의 종묘를 계획적으로 생산할 수 있어야 하며, 어미의 번식기구 구멍과 함께 성숙 및 산란제어를 위한 기술의 확립이 반드시 필요하다 (Chang et al., 2001). 또한 종별로 각기 다른 산란기를 가지는 어류의 생식주기 성립 기구를 이

해하기 위해서는 성중추 활동을 지배하는 내적요인과 외적 환경요인들이 실험적으로 검토되어 그 요인들의 작용을 밝혀야만 할 것이다(An, 1995). 어류의 번식시기를 조절하는 일반적인 방법으로는 온도 조절, 광주기 조절 및 호르몬 처리 등이 있으나, Kwon et al. (1996)의 연구에서 HCG는 뇌하수체에 간접적으로 작용하는 LHRHa나 GnRH와는 달리 생식소에 직접적으로 작용하여

[†] Corresponding author : 055-540-2723, sklim391@korea.kr

^{*} 이 논문은 국립수산과학원 친환경농생태 양식기술개발 과제(RP-2012-AQ-084)로 수행된 연구의 일부이며, 이에 감사드립니다.

배란을 유발함으로써 난질 저하의 원인이 되며, 배란까지의 타이밍을 놓칠 경우 과숙으로의 이행이 빨라 결국 수정률 및 부화율에 영향을 미친다고 하였다. 이렇듯, 성 성숙 촉진제의 투여에 의해 얻은 알은 자연적인 산란으로 얻은 알에 비하여 난질이 떨어질 가능성이 많다. 따라서 성공적인 종묘생산을 위해서는 무엇보다도 자연채란에 의한 수정란을 얻는 것이 가장 바람직하다. 수온과 광주기를 조절하여 생식주기를 조사한 연구는 해산어류중에서 볼락 *Sebastes inermis*의 수온과 광주기에 따른 성스테로이드 호르몬변화(Chang et al., 2001), 수온과 광주기에 의한 볼락의 번식주기 조절(Ko et al., 1998)등이 이루어져있으며, 담수종으로는 각시붕어 *Rhodeus uyekii*의 생식주기에 미치는 수온과 광주기의 영향(An, 1995), 생우류에는 징거미 새우 *Macrobrachium nipponense*의 생식소성숙 제어에 미치는 광주기와 안병의 X-organ에 관한 연구(Han and Kim, 1993) 등이 진행되어진 바 있다. 그러나 동자개 *Pseudobagrus fulvidraco*는 난모세포 성숙과 배란에 대한 스테로이드와 HCG의 in vitro효과(Lim et al., 1997)와 같은 호르몬처리에 따른 성숙배란에 관한 연구나 형태 발달 및 성장특성(Han et al., 2001)에 관한 연구만 있을 뿐이다. 따라서 본 연구에서는 동자개의 생식소의 발달에 대한 주기성을 조절하는 기구를 밝히기 위해 생식주기와 성 성숙 및 배란과 산란에 관련된 외적 환경요인(수온과 광주기)을 밝히고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험어

1992년 5월부터 1996년 6월까지 전남 나주군, 영암군일원의 강과 지류에서 8조의 정치망(4×4×2 m)를 사용하여 채집하였다. 자연 채집후 7~12일간 순치 시킨 다음 실내에서 수온과 광주기를 조절할 수 있는 FRP 사각 수조(81×81×60 cm)에 암

컷(전장: 13.5~19.2 cm, 체중 20.2~91.9 g)과 수컷(15.5~24.1 cm, 32.9~130.2 g)을 각각 10~15마리씩 수용하였다.

2. 광주기와 수온 조절

명기(light, L)와 암기(dark, D) 각각의 광주기는 대조구 12 L : 12D 와 15L : 9D 및 9L : 15D로 설정하였으며, 수온은 각각의 광주기 조건하에서 18, 19, 20, 23, 25 및 30℃로 설정하여 실험을 실시하였다. 25 W의 광원 형광등을 사용하여 광주기를 타이머로 조절하였고 수온은 자동온도 조절기가 부착된 히터(500 W)를 사용하여 조절하였다.

3. 사육조건

사육 수심은 45 cm을 유지하였고, 수온은 1일 2회 사료 공급시 측정하여, 설정온도 ±1℃ 이내로 유지되도록 하였다. 먹이는 생사료와 배장어용 배합사료를 혼합하여 매일 오전과 오후(09:00과 18:00) 2회에 나누어 충분히 공급하였다.

4. 혈액 채취 및 분석

40일간 사육중, 실험개시시, 20일 및 40일째에 10마리씩 무작위로 채집하여, 전장, 체중 및 생식소를 측정하였고, 측정된 자료를 이용하여 실험구별 실험어의 생식소중량지수(GSI=생식소무게×100/어체중)를 계산하였다. 혈액은 GSI 측정때와 같이 실험개시시, 20일 및 40일째에 10마리씩 무작위로 채집하여 heparin sodium 처리 주사기(1 mL)를 사용하여 MS-222에 마취한 후, 미부혈관에서 30초 이내에 채취하였다. 실험어로부터 혈액을 채취하기 이전에 공급한 먹이가 어체의 혈액성상에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 채혈 24시간전부터 절식시켰다. 채취한 혈액의 일부를 원심분리(5,600×g, 5분)하여 얻은 혈중으로 분석전까지 -72℃에 보관하면서 분석시 사용하였

다. 혈중 estradiol-17 β (E_2)의 분석은 Kobayashi et al., (1987)의 방법에 따라 혈중을 전처리하고 표지호르몬으로 [2,4,6,7 3 H]- E_2 (Amersham International Ltd)를 항체로 rabbit anti- E_2 나, 23 $^{\circ}$ C E_2 -6-(O-carboxymethyl)-oxime-BSA (Teikokuzoki Pharm. Co.)를 사용하여 RIA를 실시하였다. Testosterone (T)과 11-ketotestosterone (11-KT)의 분석은 Aida et al. (1984)의 방법에 따랐으며, T와 11-KT의 표지호르몬으로는 [1,2,6,7 3 H]-T (Amersham International Ltd.)를 항체로는 rabbit anti-T-11 α -hemisuccinate-BSA (gift of Professor Y. Nagahama, National Institute for Basic Biology)를 각각 사용하였다.

5. 통계처리

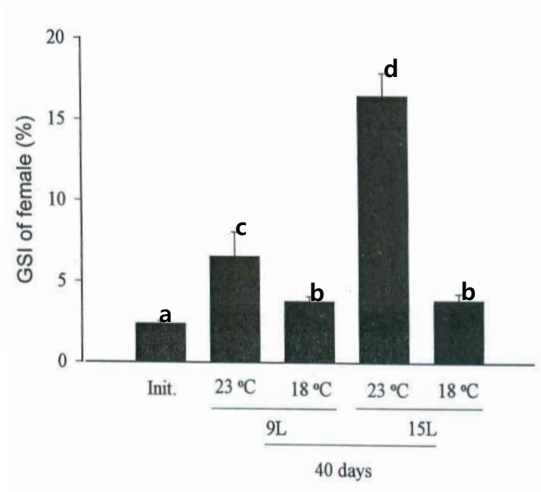
시간에 대한 변화과정을 분석하기 위하여, Duncan의 multiple range test와 Kruskal-wallis test를 사용하였으며, 모든 실험에 대한 유의 수준은 $P < 0.05$ 였다.

III. 결 과

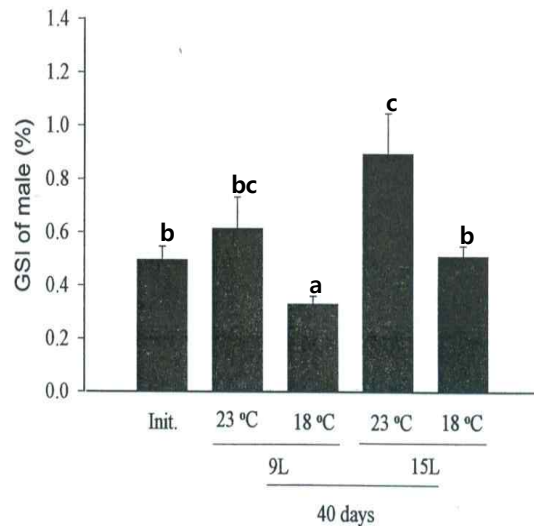
1. Gonadosomatic index (GSI)

암컷의 GSI는 [Fig. 1]과 같이 초기 대조구의 값은 $2.39 \pm 0.17\%$ 였고, 40일 후인 실험종료시에는 초기대조구에 비하여 18 $^{\circ}$ C-9 L에서 $5.38 \pm 0.67\%$, 15 L에서 $5.65 \pm 0.22\%$, 23 $^{\circ}$ C-9 L에서 $10.96 \pm 1.75\%$, 15 L에서 $16.07 \pm 1.28\%$ 로 상승하였으나 18 $^{\circ}$ C에 비해 23 $^{\circ}$ C의 실험구에서 더 높은 상승률을 보였다.

수컷의 GSI변화는 [Fig. 2]에서 보는 바와 같이 초기대조구의 $0.43 \pm 0.05\%$ 에서 18 및 23 $^{\circ}$ C의 9 L과 18 $^{\circ}$ C-15 L에서 유의한 차이를 보이지 않았으나 23 $^{\circ}$ C-15 L에서 상승하는 경향을 보여, 암컷의 결과와 같이 23 $^{\circ}$ C-15 L에서 가장 효과가 좋은 것으로 판단된다.



[Fig. 1] Effect of water temperatures and photoperiods on gonadosomatic index (GSI) in female banded catfish *Pseudobagrus fulvidraco* kept at 18 and 23 $^{\circ}$ C combined with 9 and 15 L during maturation period ($p < 0.05$)



[Fig. 2] Effect of water temperatures and photoperiods on GSI in male banded catfish *Pseudobagrus fulvidraco* kept at 18 and 23 $^{\circ}$ C combined with 9 and 15 L during maturation period ($p < 0.05$)

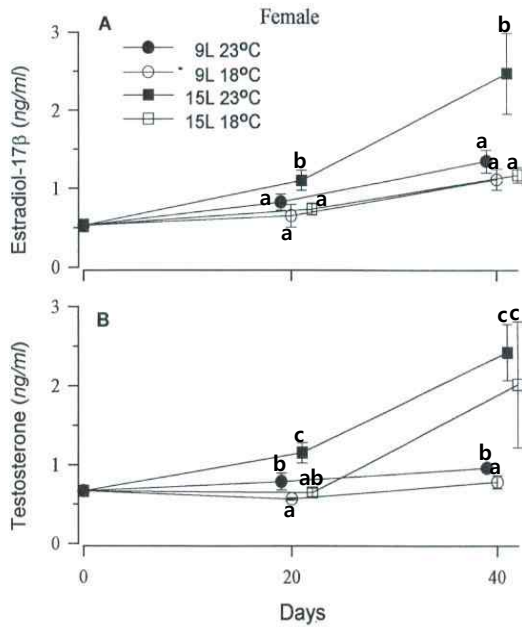
2. 암컷의 Estradiol-17 β (E_2)와 testosterone (T)

암컷의 혈중 E_2 변화는 [Fig. 3-A]와 같이 초기대조구에서는 0.43 ± 0.08 ng/mL였으나, 사육 20일 후 18 $^{\circ}$ C-9 L에서 0.40 ± 0.05 ng/mL, 15 L에서 0.49 ± 0.34 ng/mL, 23 $^{\circ}$ C-9 L에서 0.30 ± 0.02 ng/mL, 15 L에서 0.38 ± 0.08 ng/mL로 나타나 18 $^{\circ}$ C-15 L에서 유의하게 높았다. 실험종료시 18 $^{\circ}$ C-9 L에서 0.57 ± 0.12 ng/mL, 15 L에서 0.58 ± 0.31 ng/mL였으며, 23 $^{\circ}$ C-9 L에서 0.57 ± 0.12 ng/mL, 15 L에서 0.58 ± 0.31 ng/mL로 실험개시시보다 높았으나 실험종료시 모든 실험구에서 유의한 차이는 보이지 않았다. 혈중 T농도는 [Fig. 3-B]와 같이 초기대조구는 0.67 ± 0.05 ng/mL였으며, 사육 20일 후 18 $^{\circ}$ C-9, 15 L에서 각각 0.57 ± 0.02 , 0.65 ± 0.525 ng/mL로 유의한 차이를 보이지 않았

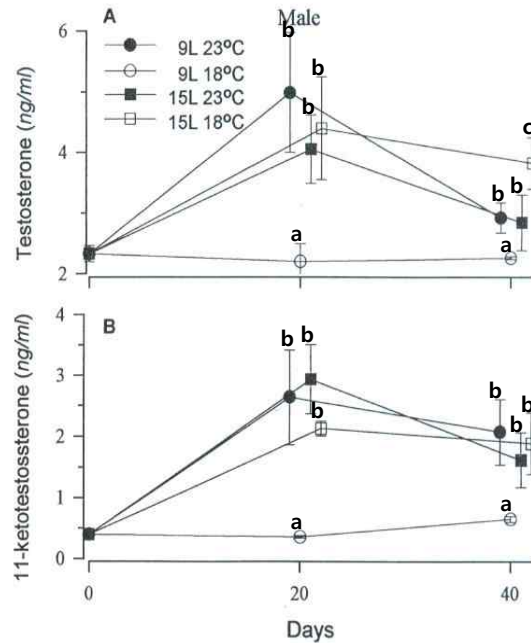
으나, 23 $^{\circ}$ C-15 L의 실험구에서 혈중 T의 농도가 1.16 ± 0.13 ng/mL로 증가하는 경향을 보였다. 실험종료시에도 18 $^{\circ}$ C-9, 15 L에서는 유의한 차이를 보이지 않았으나, 23 $^{\circ}$ C-9, 15 L에서 각각 2.02 ± 0.80 , 2.42 ± 0.36 ng/mL로 급격히 증가하는 경향을 보였다.

3. 수컷의 testosterone (T)와 11-ketotestosterone (11-KT)

수컷의 혈중 T 농도는 [Fig. 4-A]와 같이 초기대조구에서는 2.33 ± 0.13 ng/mL였으며, 사육 20일 후 18 $^{\circ}$ C-9 L에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 18 $^{\circ}$ C-15 L과 23 $^{\circ}$ C-9, 15 L에서는 각각 3.82 ± 0.43 , 2.92 ± 0.25 및 2.84 ± 0.43 ng/mL로 유의하게 높았다. 실험종료시에 18 $^{\circ}$ C-9, 15 L에서 각각 2.20 ± 0.30 , 4.39 ± 0.85 ng/mL로 나타나 9 L의



[Fig. 3] Plasma estradiol-17 β (A) and testosterone (B) levels in female banded catfish *Pseudobagrus fulvidraco* kept at 18 and 23 $^{\circ}$ C combined with 9 and 15 L during maturation period ($p < 0.05$)



[Fig. 4] Plasma testosterone (A) and 11-ketotestosterone (B) levels in male banded catfish *Pseudobagrus fulvidraco* kept at 18 and 23 $^{\circ}$ C combined with 9 and 15 L during maturation period ($p < 0.05$)

실험구에서는 실험개시시보다 유의하게 감소하는 경향을 보였다. 23°C-9, 15 L에서는 각각 4.98±0.99 및 4.05±0.57 ng/mL을 보여 실험개시시보다 유의하게 높았다. 수컷의 혈중 11-KT 농도는 [Fig. 4-B]와 같이 초기대조구에서 0.39±0.03 ng/mL였으며, 사육 20일 후 18°C-9 L에서는 유의한 차이를 보이지 않았으나, 15 L에서 2.17±0.12 ng/mL로 유의하게 높았다. 23°C-9, 15 L에서도 각각 2.64±0.77 및 2.93±0.56 ng/mL로 유의하게 높았다. 그러나 실험종료시에는 18°C와 23°C의 모든 실험구에서 실험개시시 수준보다 낮았다.

IV. 고 찰

경골어류에서 배란시 난소의 거의 모든 난모세포가 한꺼번에 배란하는 동기발달형과 난소내 발달 단계가 다른 여러 단계의 난모세포가 존재하며 난황축적이 완료된 난모세포만 배란되는 비동기 발달형이 있다(Lou et al., 1984; Richard et al., 1993). 동자개는 산란후 난소에 난황포기와 난황구기 난모세포가 공존하여 많은 부분이 남아 있어, 비동기 발달형 난소로 추정할 수 있다. 또한 김정망둑 *Tridentiger obscurus* (kaneko, 1985)와 같이 산란기동안 한 개체가 1회 이상 산란 후 다시 산란을 준비하는 것인지, 산란하지 않은 다른 개체가 산란기간 동안 1회 산란을 하는지는 조직학적 관찰만으로 단정하기 어려우므로 확실히 구명하기 위해서는 더욱더 많은 사육실험이 이루어져야 한다고 판단된다. 어류의 생식리듬은 수온과 광주기 등의 환경이 중요한 요인으로 작용한다고 널리 알려져 있으며 (De Vlaming, 1975; Scott, 1979; Asahina and Hanyu, 1983; Aida, 1991), 생식활동에 미치는 영향에 따라 봄 산란형, 봄 여름 산란형, 여름 산란형, 봄 가을 산란형, 가을 산란형, 겨울 산란형의 6가지로 나누고 있다(Aida, 1991). 이전의 연구(Lim, 1997)에

서 동자개는 6~8월이 산란기로 성숙초기단계의 난황포기 난모세포의 출현시기나 나타나는 현상이 여름 산란형인 흰줄납줄개 *Rhodeus oxellatus* (Asahina et al., 1980)와 유사하여 여름 산란형으로 구분할 수 있다 하였다. 또한 산란 후 생식소는 퇴화하고 초기성장기 난모세포인 주변인기세포들로서 휴지기를 지내는 것은 해산 청어류 *Chanos chanos* (Kuo and Nash, 1979), 담수산인 파랑볼우럭 *Lepomis macrochirus* (Lee and Kim, 1987) 및 각시붕어(An, 1995) 등과 유사하게 나타났다. 동자개 암컷의 혈중 스테로이드 호르몬 변화는 GSI 증가와 동시에 혈중 E_2 의 농도도 함께 증가하는 경향을 보였으며, 혈중 T 농도도 난세포의 최종성숙과 배란이 일어나기 전에 증가하는 경향을 보였다. 따라서 본 종에서도 혈중 T의 증가는 알의 최종성숙에 관여하는 17 α 20 β OHPP의 증가와 연관이 있는 것으로 판단된다. 이러한 점에서 동자개의 혈중 T 농도가 6월과 8월 사이에 상승하는 것으로 보아, 산란기는 6~8월이라고 추정할 수 있었다

수컷의 혈중 T와 11-KT의 연중 변화는 금붕어 *Carassius auratus* (Kobayashi et al., 1987)에서와 같이 GSI 변동과 같은 양상을 보였으며, T와 11-KT가 정자형성에 관여하고 있는 것으로 판단된다. 일반적으로 어류에서는 T의 증가 후 11-KT의 증가와 함께 정자형성이 일어나며, 이러한 정자형성에 직접적으로 관여하는 androgen은 11-KT로 알려져 있다(Matsuyama et al., 1988). 본 종에서도 T와 11-KT의 변화가 같은 양상을 보였으므로 정자형성에 관여하는 androgen은 11-KT라 할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 생식주기를 결정하는 수온과 일장의 환경요인을 구명하기 위하여 성장기와 산란기에 수온과 광주기 조건을 달리한 실험구를 설정하여 사육 실험을 하였다. 수온과 광주기는 어류의 성 성숙을 유도하는 중요한 환경조절 인자로 작용한다는 사실은 상기 기술한 바와 같으며, 성숙을 인위적으로 유도하기 위해 수온과 광주기

를 조절하는 방법은 많은 난생 어류에서 광범위하게 적용되어 왔다(Aida et al., 1984). 동자개의 성장기 사육실험에서 대부분 저수온(18°C)보다 다소 높은 23°C에서 광주기에 관계없이 GSI가 상승하였으며, 특히 23°C에서는 단일 상태인 9 L보다 15 L에서 급격히 상승하였으며, 암컷 혈중 E_2 와 T에서도 같은 경향을 보여 생식소 성숙은 늦봄의 수온 상승에 의해 개시가 되며, 광주기가 보조적으로 작용하여 생식소 성숙을 촉진시키는 것으로 판단된다. 이러한 결과들은 춘하산란형에 속하는 그물코쥐치 *Rudarius ercocks* (Lee and Hanyu, 1984), 찰고기 *Orhyzias latipes* (Awaji and Hanu, 1987, 1988, 1989), 동자개와 같이 여름 산란형에 속하는 청보리멸 *Silago japonica* (Furukawa et al., 1991)과 같이 수온 상승에 의해 생식소 성숙이 개시되고 수온 하강에 의해 산란이 종료되는 것과 같았다.

생식소 활성화의 요인에 관한 8월의 사육실험에서 18°C와 23°C의 수온조건과 9 L : 15D 및 15 L : 9 D의 광조건을 조합한 실험구에서 암컷과 수컷 모두 광주기와 수온에 관계없이 실험개시시보다 증가하여, 자연서식처에서 광주기에 상관없이 18°C 이상의 수온상승시 생식소가 활성화된다고 생각할 수 있다. 그러나 암컷의 GSI가 23°C-15 L에서 급격히 상승하였고, 수컷의 GSI는 18°C-9 L에서 실험개시시 수준보다 낮은 것을 볼 때, 수컷과 암컷 모두 23°C-15 L에서 생식소가 가장 활성화 되지만, 수컷의 경우에서만 18°C-9 L에서 생식소 발달에 부정적인 영향을 끼치는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 실험에 사용된 실험어가 생식소 발달과정에 있어 선천적으로 대응해왔던 자연환경과 다른 조건에 처하게 됨으로써, 고유의 번식 메카니즘에 혼란이 야기되어 생식소 발달에 부정적인 영향을 끼친 것이거나, 암컷과 달리 수컷에서는 18°C-9 L에서는 생식소 활성화에 있어 아무런 영향을 끼치지 않는 것으로도 생각할 수 있을 것이다.

본 연구에서 암컷 혈중 E_2 는 탁자볼락 *Sebastes taczanowskii* (Nagahama et al., 1991) 및 볼락 (Chang et al., 2001)과 같이 GSI가 상승할 때 함께 상승하는 경향을 보였다. 이렇듯 난황형성기 동안 높았다가 임신기에 낮아지는 혈중 E_2 농도는 난생 어류의 일반적인 특징과 같았다. 또한 40일째에 23°C-15 L에서 E_2 와 T가 급격히 증가한 것은 E_2 가 난황단백전구체의 형성을 조절한다는 사실을 감안할 때(Nagahama, 1987), 조절된 수온과 광주기와 같은 환경자극(23°C-15 L)이 시상하부-뇌하수체-생식소 축을 따라 전달되어 난소에서 E_2 의 분비를 상승시켰을 것으로 판단되며, 암컷에서 T의 작용은 아직 밝혀져 있지 않지만, E_2 로 전환시 필요한 스테로이드 호르몬일 것이라고 보고되어진 바 있다(Kagawa et al., 1982). 많은 경골어류의 수컷에서 혈중 T의 농도는 정자형성 기간 동안 높게 유지되다가 배정과 함께 낮아진다고 하였는데, 본 연구의 동자개에서도 정자형성이 20일째까지 18°C-9 L을 제외한 나머지 실험구에서 급격히 증가하였다가 40일째에 급격 감소하였다. 그러나 혈중 T와 11-KT의 관계에서는 차이를 보이지 않았다.

V. 요약 및 결론

본 연구는 동자개 *Pseudobagrus fulvidraco*의 생식소 발달에 대한 주기성을 조절하는 기구를 밝히기 위해 생식주기와 생식소 성숙 및 배란과 산란에 관련된 외적 환경요인을 조사하였다. 동자개 암컷의 GSI는 실험개시후 40일째에 실험종료시에는 초기대조구에 비하여 18°C-9 L에서 5.38±0.67%, 15 L에서 5.65±0.22%, 23°C-9 L에서 10.96±1.75%, 15 L에서 16.07±1.28%로 상승하였으나 18°C에 비해 23°C의 실험구에서 더 높은 상승률을 보였다. 수컷의 GSI는 18 및 23°C의 9 L과 18°C 15 L에서 유의한 차이를 보이지 않았으나 23°C-15 L에서 상승하는 경향을 보여, 암컷의 결과와 같이

23°C-15 L에서 가장 효과가 좋은 것으로 판단된다. 암컷의 혈중 E_2 변화는 사육 20일 후 18°C-15 L에서 유의하게 높았다. 실험종료시 모든 실험구에서 유의한 차이는 보이지 않았다. 혈중 T 농도는 사육 20일 후 18°C-9, 15 L에서 각각 0.57 ± 0.02 , 0.65 ± 0.525 ng/mL로 유의한 차이를 보이지 않았으나, 23°C-15 L의 실험구에서 혈중 T의 농도가 1.16 ± 0.13 ng/mL로 증가하는 경향을 보였다. 실험종료시에도 18°C-9, 15 L에서는 유의한 차이를 보이지 않았으나, 23°C-9, 15 L에서 각각 2.02 ± 0.80 , 2.42 ± 0.36 ng/mL로 급격히 증가하는 경향을 보였다. 수컷의 혈중 T 농도는 사육 20일 후 18°C-9 L에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 18°C-15 L과 23°C-9, 15 L에서는 유의하게 높았다. 실험종료시에 9 L의 실험구에서는 실험개시시보다 유의하게 감소하는 경향을 보였다. 23°C-9, 15 L에서는 실험개시시보다 유의하게 높았다. 수컷의 혈중 11-KT 농도는 초기 대조구에서 0.39 ± 0.03 ng/mL였으며, 사육 20일 후 18°C-9 L에서는 유의한 차이를 보이지 않았으나, 15 L에서 2.17 ± 0.12 ng/mL로 유의하게 높았다. 23°C-9, 15 L에서도 각각 2.64 ± 0.77 및 2.93 ± 0.56 ng/mL로 유의하게 높았다. 그러나 실험종료시에는 18°C와 23°C의 모든 실험구에서 실험개시시 수준보다 낮았다.

참고 문헌

- Aida, K.(1991). Environmental regulating of reproductive rhythms in teleostei, Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica. Monograph 16, 173~187.
- Aida, K., Kato, T. and Awaji, M.(1984). Effects of castration on the smoltification of precocious male masu salmon *Oncorhynchus masou*, Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish 50, 565~571.
- An, C. M.(1995). Effects of photoperiod and water temperature on the reproductive cycle of the spring-spawning bitterling *Rhodeus uyekii*. Korean Journal of Ichthyology 7(1), 43~55.
- Asahina, K. and Hanyu, I.(1983). Role of temperature and photoperiod in annual reproductive cycle of the rose bitterling *Rhodeus ocellatus cellatus*, Nippon Suisan Gakkaishi 49, 61~67.
- Asahina, K., Iwashita, I., Hanyu, I. and Hibiya, T.(1980). Annual reproductive cycle of a bitterling *Rhodeus ocellatus ocellatus*, Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish 46, 299~305.
- Awaji, M. and Hanyu, I.(1989). Temperature-photoperiod conditions necessary to begin the spawning season in wild type medaka, Nippon Suisan Gakkaishi., 55, 747~753.
- Awaji, M. and Hanyu, I.(1987). Annual reproductive cycle of the wild type medaka, Nippon Suisan Gakkaishi., 53, 959~965.
- Awaji, M. and Hanyu, I.(1988). Effects of water temperature and photoperiod on the beginning of spawning season in the orange-red type medaka, Zoology Science 5, 1059~104.
- Chang, Y. J., Lim, H. K. and Kwon, J. Y.(2001). Changes in plasma steroid hormone level in rochfish *Sebastes inermis* by the controlled water temperature and photoperiod, Journal of Korean Fisheries Society 34(1), 13~16.
- De Valming, V. L.(1975). Effects of photoperiod and temperature on gonadal activity in the cyprinid teleost *Notemigonus crysoleucas*, Biology Bulletin 148, 402~415.
- Furukawa, K., Aida, K., Yoshioka, M., Satoh, H. and Hanyu, I.(1991). Effects of photoperiod and water temperature on the spawning rhythm of the kisu *Sillago Japonica*, Nippon Suisan Gakkaishi.
- Han, C. H. and Kim, D. J.(1993). Studies on the X-organ of eyestalk and the photoperiod for the control of gonadal maturation in a freshwater prawn, *Macrobrachium nipponense* (De Haan), Bulletin of Korean Fisheries Society 26(1), 76~90.
- Han, K. N., Nam K. B. and Jeong, C. H.(2001). Development of egg, larvae and juvenile of

- the korean bullhead, *Pseudobagrus fulvidraco* (Richardson) reared in the laboratory, Korean Journal of Ichthyology 13(1), 74~84.
- Kagawa, H., Young, G., Adachi, S. and nagahama, Y.(1982). Estradiol-17 β production of amago salmon *Oncorhynchus rhodurus* ovarian follicles : Role of the thecal and granulosa cells, General and Comparative Endocrinology 47, 440~448.
- Kaneko, T.(1985). Annual reproductive cycle of the chichibugoby *Tridentiger obscurus*, Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish 51, 1645~1650.
- Ko, C. S., Chang, Y. J., Lim, H. K., Kim, J. H. and Cho, K. C.(1998). Controlled reproductive cycle of rockfish (*Sebastes inermis*) by water temperature and photoperiod, Journal of Korean Fisheries Society 31(5), 713~720.
- Kobayashi, M., Aida, K. and Hanyu, I.(1987). Hormone changes during ovulation and effects of steroid hormones on plasma gonadotropin levels and ovulation in glodfish, General and Comparative Endocrinology 67, 24~32.
- Kuo, C. M. and Nash, C. E.(1979). Annual reproductive cycle of milkfish *Chanos chanos* Forskal, in hawaiian waters, Aquaculture 16, 247~251.
- Kwon, H. C., Choi, N. J. and Park, H. Y.(1996). Induced ovulation in Catfish (*Silurus asotus*) by GnRH-Analogue, Journal of Aquaculture 9(3), 205~213.
- Lee, T. Y. and Hanyu, I.(1984). Reproductive cycle of small filefish *Rudarius ercodes*, Bulletin of Korean Fisheries Society 17, 423~435.
- Lee, T. L. and Kim, S. K.(1987). Experimental studies on the mechanism of reproductive cycle in the bluegill *Lepomis macrochirus*, Bulletin of Korean Fisheries Society 20(6), 489~500.
- Lim, S. G. (1997), Control of reproductive cycle in banded catfish *Pseudobagrus fulvidraco* Doctor Thesis, Dong-eui University Busan Korea.
- Lim, S. G., Baek, H. J. and Han, C. H.(1997). Effect of steroids and HCG on in vitro maturation and ovulation of oocyte in banded catfish, *Pseudobagrus fulvidraco* Journal of Korean Fisheries Society 30(2), 203~210.
- Lou, S. W., Aida, K., Hanyu, I., Sakai, K., Nomura, M., Tanaka, M. and Tazaki, S.(1984). Endocrining profiles in the females of twice annually spawning strain of rainbow trout, Aquaculture 43, 13~22.
- Matsuyama, M., Adachi, S., Nagahama, Y. and Matsuura, S.(1988). Diurnal rhythm of oocyte development and plasma steroid hormone levels in the female red sea bream pagrus major, during the spawning season, Aquaculture 73, 357~372.
- Nagahama, Y.(1987). Gonadotropin action on gametogenesis and steroidogenesis in teleost gonads, Zoology Science (Toko). 4, 209~222.
- Nagahama, Y., Takemura, A., Takano, K., Adachi, S. and Kusakari, M.(1991). Serum steroid hormone levels in relation to the reproductive cycle of *Sebastes taczanowskii* and *S. schlegeli*, Environmental Biology of Fish 30, 31~38.
- Richard, J., Kestemont, P., Kuhn, E. R. and Fostier, A.(1993). Seasonal changes in plasma levels of steroid hormones in an asynchronous fish the gudgeon *Gobio gobio* L. General and Comparative Endocrinology 92, 168~178.
- Scott, D. B. C.(1979). Environmental timing and the control of reproduction in teleost fish, Symposia of the Zoological Society of London 44, 105~128.

-
- 논문접수일 : 2012년 10월 06일
 - 심사완료일 : 1차 - 2012년 10월 22일
2차 - 2012년 10월 30일
 - 게재확정일 : 2012년 10월 31일