

동자개 (*Pseudobagrus fulvidraco*)의 생식소 퇴화에 미치는 수온과 광주기의 영향

임상구[†] · 김영수 · 한창희^{*}

([†] 국립수산과학원 내수면양식연구센터 · ^{*} 동의대학교)

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

Sang-Gu LIM[†] · Young-Soo KIM · Chang-Hee HAN^{*}

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

Abstract

To investigate the role of temperatures and photoperiods as environmental cues regulating reproductive rhythm in *Pseudobagrus fulvidraco*, rearing experiments were conducted using several rearing regimes combined with photoperiods and water temperatures during gonadal degeneration periods. Gonadosomatic index (GSI) in control was $8.16 \pm 1.50\%$, while in other experiment GSI levels in female were lower than that in the control. In case of experimental precinct of 9 light (L) and 15 L, GSI levels were decreased. But GSI level with 20°C was no difference after 40 and 60 days. GSI level in male of control was $0.35 \pm 0.05\%$. GSI under 9 L and 25°C was similar to that in control, whereas its level in other experiments was lower than that in control. Testosterone (T) of female was 3.68 ± 0.22 ng/mL at experimental precinct. In case of 9 L and 15 L, concentration of T were lower than experimental precinct in all of water temperature. Estradiol-17β (E_2) and 7α, 20β-dihydroxy-4-pregnen-3-one (17α 20β OHP) levels of female were 0.42 ± 0.02 and 0.83 ± 0.01 ng/mL at experimental precinct. E_2 levels of 9 and 15 L were higher than experimental precinct and 17α 20β OHP levels of 9 and 15 L were higher than experimental precinct. In case of T and 11-ketotestosterone levels were 0.69 ± 0.11 and 0.62 ± 0.03 ng/mL in male. During the period of gonadal degeneration, gonadal maturation did not occur in any of the experimental regimes. However, comparatively high levels of E_2 observed at low temperature regimes (20°C) regardless of photoperiods.

Key words : Banded catfish, *Pseudobagrus fulvidraco*, Water Temperature, Photoperiod, Gonadal degeneration period

I. 서론

일반적으로 자연채란이 잘 되지 않은 어류들에게서 인위적으로 성 성숙을 촉진시키고 배란을 유

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

^{*} 이 논문은 국립수산과학원 Biofloc (미생물층) 기술을 이용한 친환경양식기술개발(RP-2012-AQ-086)과제로 수행된 연구의 일부이며, 이에 감사드립니다.

도하기 위하여 잉어류나 연어류의 생식선자극호르몬(gonadotropin hormone, GTH), 사람의 태반성 성선자극호르몬(human chorionic gonadotropin, HCG), 합성 성선자극호르몬방출호르몬(gonadotropin releasing hormone agonist, GnRHa) 등을 사용하고 있으며, 이외에 스테로이드성 성 성숙 유도호르몬들을 사용하고 있다. 그러나 단백질 호르몬의 종류와 투여시기, 그리고 어종에 따라 그 효과가 다를 수가 있으며, 스테로이드성 호르몬제들은 과다 투입으로 오히려 억제 효과를 초래하는 수가 있다. 따라서 성 성숙 유도물질을 사용하여 성공적으로 성 성숙과 배란을 유도하기 위해서는 그 대상 어종에 대한 성 성숙과 배란에 대한 내분비학적인 정보가 있어야 하며, 이를 토대로 성 성숙 유도물질들의 적정 농도와 투여시기를 결정해야한다. 그러나 자연적인 산란에 의해 얻은 난에 비하여 난질이 떨어질 가능성이 많으므로, 가능한 자연채란에 의해 수정란을 얻는 것이 가장 바람직하고 이를 위해서는 환경요인에 관한 기초 연구가 이루어져야만 할 것이다. 초기 어류의 성숙에 영향을 미치는 환경 인자에 관한 연구는 조류, 양 및 사슴 등의 번식시기에 영향을 미치는 광주기에 관한 연구에서 착안하여, 연어와 송어류의 성숙과 산란에 대한 환경요인의 영향에 대하여 조사한 연구였다(An, 1995). 어류의 번식시기를 조절하는 일반적인 방법으로는 수온 및 광주기 조절 및 호르몬처리 등이 있으며, 수온과 광주기를 조절하여 생식주기를 조사한 연구는 해산어류중에서 볼락 *Sebastes inermis*의 수온과 광주기에 따른 성스테로이드 변화(Chang et al., 2001)에 관한 연구가 있으며, 담수종으로는 각시붕어 *Rhodeus uyekii*의 생식주기에 미치는 수온과 광주기의 영향(An, 1995), 동자개 *Pseudobagrus fulvidraco*의 생식소에 미치는 수온과 광주기의 영향(Lim, 1997) 등이 있다. 그러나 아직 이러한 어종에서도 번식기간에 수온과 광주기에 따른 영향에 관한 연구만 되어져 있을 뿐, 실험대상종의 퇴화에 수온과 광주기의 영향에 관한 연구는

이루어진 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 동자개의 생식소 퇴화에 수온과 광주기가 미치는 영향에 관해 조사하여, 동자개의 생식주기에 관한 기초자료를 제공하고자 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 7월까지 순치 시킨 다음 8월에서 10월까지 60일간 실험을 실시하였다. 실내에서 수온과 광주기를 조절할 수 있는 FRP 사각 수조(81×81×60 cm)에 암컷(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 15 L : 9 D 및 9 L : 15 D 로 설정하였으며, 수온은 각각의 광주기 조건 하에서 20, 25 및 30℃로 설정하여 실험을 실시하였다(Table 1). 25 W의 광원 형광등을 사용하여 광주기를 타이머로 조절하였고 수온은 자동온도 조절기가 부착된 히터(500 W)를 사용하여 조절하였다.

<Table 1> Combination of photoperiods and water temperatures in rearing experiments

Experimental period	Experimental factors (water temperature-day length)
Aug. 9 ~ Oct. 10	20℃-9 L, 15 D and 15 L, 9 D
	25℃-9 L, 15 D and 15 L, 9 D
	30℃-9 L, 15 D and 15 L, 9 D

L: light, D: dark.

3. 사육조건

사육 수심은 45 cm을 유지하였고, 수온은 1일 2회 사료 공급시 측정하여, 수온은 설정온도 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 이내로 유지되도록 하였다. 먹이는 생사료와 뱀장어용 배합사료를 혼합하여 매일 오전과 오후 (09:00과 18:00) 2회에 나누어 충분히 공급하였다. 수질은 1주일마다 수질 측정기로 용존산소, pH, 암모니아태 질소량을 측정하여 관리하였다.

4. 혈액 채취 및 분석

60일간 사육중, 실험개시시, 40일 및 60일째에 10마리씩 무작위로 채집하여, 전장, 체중 및 생식소를 측정하였고, 측정된 자료를 이용하여 실험구별 실험어의 생식소중량지수(GSI=생식소무게 $\times 100$ /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 최소화 하기 위하여 채혈 24시간전부터 절식시켰다. 채취한 혈액의 일부를 원심분리(5,600 \times g, 5분)하여 얻은 혈장으로 분석전까지 -72°C 에 보관하면서 분석시 사용하였다. 혈장 estradiol-17 β (E_2)의 분석은 Kobayashi et al., (1987)의 방법에 따라 혈장을 전처리하고 표지호르몬으로 [24,6,7 ^3H]- E_2 (Amersham International Ltd.)를, 항체로 rabbit anti- E_2 -6(O-ca-rboxymethyl)-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 ^3H]-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.

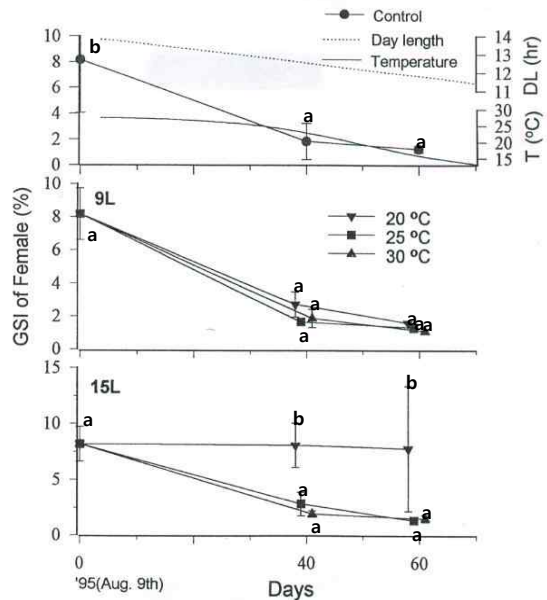
5. 통계처리

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

III. 결과

1. Gonadosomatic index (GSI)

암컷의 GSI는 [Fig. 1]과 같이 초기 대조구의 값은 $8.16\pm 1.50\%$ 였고, 사육 40일 후, 20°C -9 L에서 $2.71\pm 0.76\%$, 25°C -9 L에서 $1.64\pm 0.20\%$ 및 30°C -9 L에서 $1.85\pm 0.55\%$ 를 보여 모든 실험구에서 실험개시시보다 낮은 값을 보였다. 실험종료시인 60일째에도 각각 1.58 ± 0.02 , 1.29 ± 0.26 및 $1.06\pm 0.07\%$ 로 시간이 경과할수록 낮은 값을 보였다.



[Fig. 1] Changes of gonadosomatic index (GSI) in female banded catfish *Pseudobagrus fulvidraco* reared in 20, 25 and 30°C combined with 0 and 15 L during gonadal degeneration period. DL: day length, T: water temperature, L: light

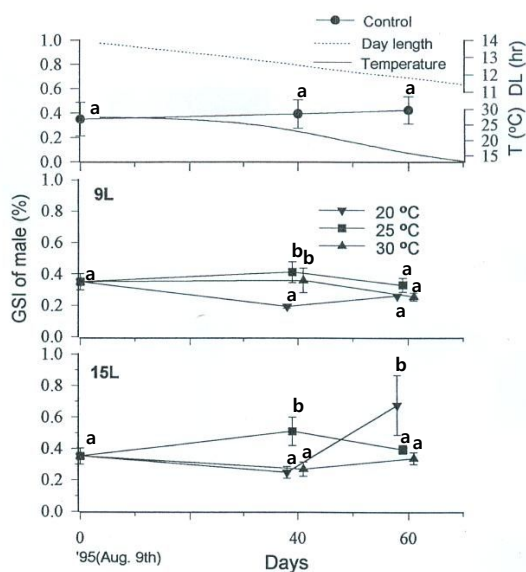
15 L 실험구에서는 9 L과 같이 시간이 경과할수록 GSI가 낮아졌으나, 20°C에서만 40일째와 60일째에 각각 8.04±1.97과 7.75±5.59%로 유의한 차이를 보이지 않았다(P>0.05). 또한 20°C-15 L 실험구를 제외한 나머지 실험구에서는 대조구와 같은 경향을 보였다.

수컷 GSI는 [Fig. 2]와 같이 대조구는 실험개시시에 0.35±0.05%였으며, 실험 40일째와 60일째에 각각 0.35±0.05 및 0.42±0.03%였다. 9 L의 실험구에서 40일째와 60일째에 20°C에서 각각 0.19±0.01 및 0.25±0.00%, 25°C에서 0.41±0.07, 0.32±0.04%, 30°C에서 0.36±0.08과 0.25±0.02%로 25°C의 실험구에서만 유의한 차이를 보이지 않았을 뿐 (P>0.05), 나머지 실험구에서는 대조구에 비해 낮은 값을 보였다. 15 L 실험구에서 20°C에서 40일째와 60일째에 각각 2.25±0.04와 0.67±0.19%, 25°C에서 0.50±0.09와 0.39±0.03% 및 30°C에서

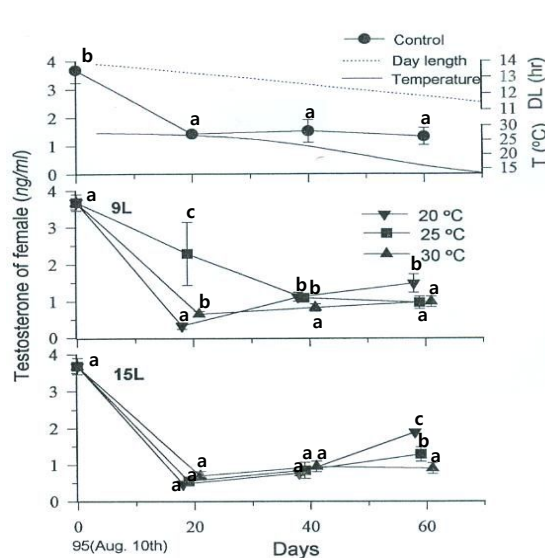
0.27±0.05 및 0.34±0.04%로 9 L의 실험구와 달리 20°C에서 대조구에 비해 높은 값을 보였으나, 다른 실험구에서는 낮은 값을 보였다.

2. 암컷의 Estradiol-17β (E₂)와 testosterone (T) 및 7α, 20β-dihydroxy -4-pregnen-3-one (17α 20β OHP)

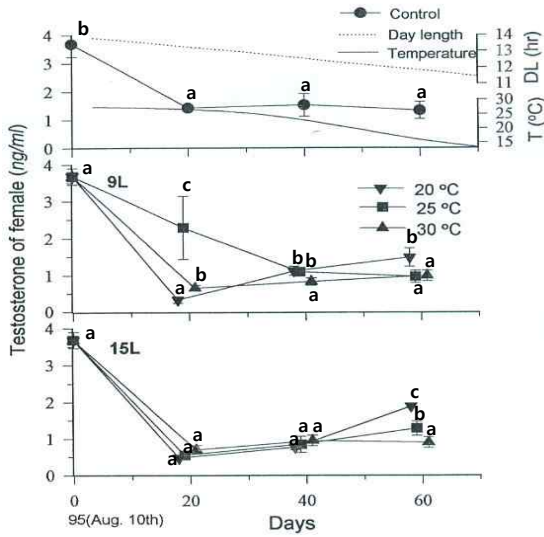
암컷의 혈중 T 농도는 [Fig. 3]과 같다. 자연조건에서 T 농도는 실험개시시 대조구에서 3.68±0.22 ng/mL였고, 사육 20일째에 1.08±0.28 ng/mL로 낮아져 40일째에 1.16±0.13 ng/mL, 60일째에 0.99±0.22 ng/mL로 시간이 경과할수록 낮아지는 경향을 보였다. 9 L의 20, 25 및 30°C의 모든 수온에서 시간이 경과할수록 낮아지는 경향을 보였으며, 60일째에는 각각 1.48±0.25, 0.96±0.17 및 0.98±0.14 ng/mL로 실험개시시 보다 실험종료시에 낮은 값을 보였다. 15 L의 실험구에서도 9 L의



[Fig. 2] Changes of gonadosomatic index (GSI) in male banded catfish *Pseudobagrus fulvidraco* reared in 20, 25 and 30°C combined with 0 and 15 L during gonadal degeneration period. DL: day length, T: water temperature, L: light



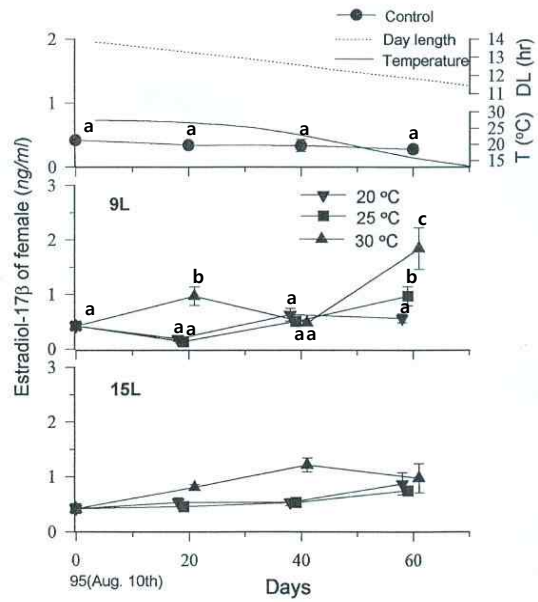
[Fig. 3] Changes of plasma testosterone in female banded catfish *Pseudobagrus fulvidraco* reared in 20, 25 and 30°C combined with 0 and 15 L during gonadal degeneration period. DL: day length, T: water temperature, L: light



[Fig. 3] Changes of plasma testosterone in female banded catfish *Pseudobagrus fulvidraco* reared in 20, 25 and 30°C combined with 0 and 15 L during gonadal degeneration period. DL: day length, T: water temperature, L: light

실험구와 같은 경향을 보였으며, 실험종료시 60 일째에 각각 1.88±0.06, 1.28±0.19 및 0.90±0.15 ng/mL로 광주기와 수온에 관계없이 대조구와 같은 경향을 보여 유의한 차이를 보이지 않았다 ($P>0.05$).

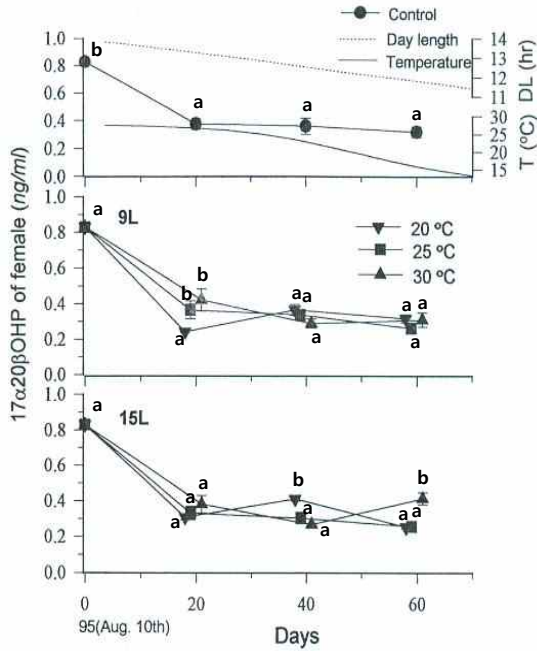
암컷의 혈중 E_2 농도는 [Fig. 4]와 같다. 실험 개시시 대조구의 E_2 농도는 0.42±0.02 ng/mL였으며, 개시후 20, 40 및 60일째에 각각 0.34±0.15, 0.33±0.06 및 0.27±0.04 ng/mL였다. 9 L의 실험에서 20°C에서 20, 40 및 60일째에 각각 0.19±0.04, 0.63±0.12 및 0.56±0.08 ng/mL, 25°C에서 각각 0.134±0.02, 0.5±0.03 및 0.96±0.18 ng/mL, 30°C에서 0.97±0.17, 0.47±0.04 및 1.84±0.37 ng/mL로 모든 실험구에서 대조구에 비해 높은 값을 보였다. 15 L-20°C에서 각각



[Fig. 4] Changes of plasma estradiol-17β in female banded catfish *Pseudobagrus fulvidraco* reared in 20, 25 and 30°C combined with 0 and 15 L during gonadal degeneration period. DL: day length, T: water temperature, L: light

0.54±0.08, 0.53±0.07 및 0.87±0.20 ng/mL, 25°C에서 0.45±0.03, 0.53±0.02 및 0.75±0.02 ng/mL, 30°C에서 0.81±0.05, 1.21±0.13 및 0.97±0.27 ng/mL로 9 L의 실험구와 같이 대조구에 비해 높은 값을 보였으며, 15 L-30°C의 실험구에서 가장 높은 값을 보였다.

암컷 혈중 17α20βOHP 농도는 [Fig. 5]와 같다. 대조구의 실험개시시 농도는 0.83±0.01 ng/mL였으며, 실험개시후 20, 40 및 60일째에 각각 0.37±0.02, 0.36±0.03 및 0.31±0.02 ng/mL였다. 9 L과 15 L 실험구에서 20, 25 및 30°C에서 대조구에 비해 낮은 값을 보였다. 각각의 실험구에서는 유의한 차이를 보이지 않았으나($P>0.05$), 30°C-15 L에서 유의하게 높은 값을 보였다($P<0.05$).



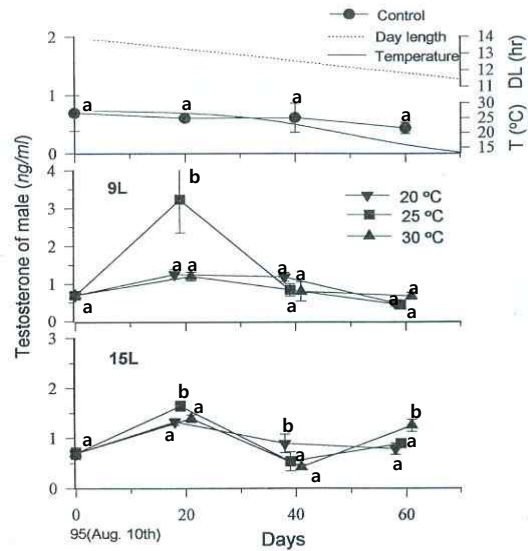
[Fig. 5] Changes of plasma 7α,20β-dihydroxy-4-pregnen-3-one (17α20βOHP) in female banded catfish *Pseudobagrus fulvidraco* reared in 20, 25 and 30°C combined with 0 and 15 L during gonadal degeneration period. DL: day length, T: water temperature, L: light

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

수컷의 혈중 T 농도는 [Fig. 6]과 같다. 실험개시시 대조구의 T 농도는 0.69±0.11 ng/mL였으며 실험 후 20, 40 및 60일째에 각각 0.60±0.02, 0.60±0.14 및 0.44±0.06 ng/mL로 시간이 경과 할수록 낮아지는 경향을 보였다. 9 L-20°C에서 각각 1.25±0.12, 1.18±0.12 및 0.47±0.09 ng/mL, 25°C에서 3.23±0.87, 0.82±0.16 및 0.43±0.04 ng/mL, 30°C에서 1.19±0.11, 0.79±0.26 및 0.66±0.06 ng/mL였다. 15 L-20°C에서 1.33±0.07, 0.88±0.18 및 0.78±0.11 ng/mL, 25°C에서 1.64±0.10, 0.53±0.18 및 0.88±0.07 ng/mL로 20일째에 모든 실험구에서 급격히 증가하였다 실험종료시에 대조구와 유

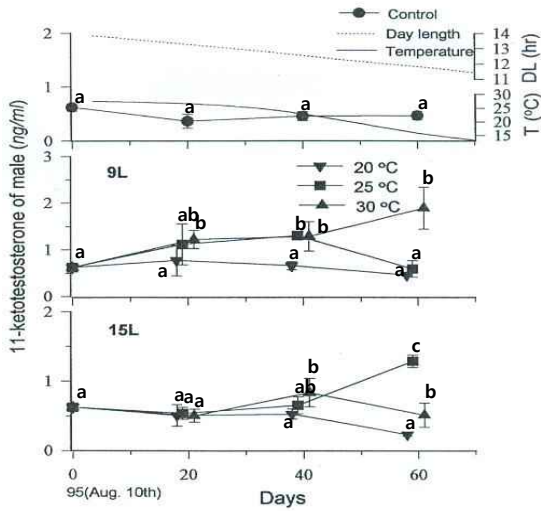
의한 차이를 보이지 않았다(P>0.05).

수컷의 혈중 11-KT 농도는 [Fig. 7]과 같다. 실험개시시 대조구는 0.62±0.03 ng/mL였으며, 20,



[Fig. 6] Changes of plasma testosterone in male banded catfish *Pseudobagrus fulvidraco* reared in 20, 25 and 30°C combined with 0 and 15 L during gonadal degeneration period. DL: day length, T: water temperature, L: light

40 및 60일째에 각각 0.36±0.07, 0.45±0.04 및 0.46±0.04 ng/mL였다. 9 L-20°C에서 0.77±0.33, 0.65±0.08 및 0.45±0.02 ng/mL, 25°C에서 1.11±0.44, 1.29±0.08 및 0.59±0.18 ng/mL, 30°C에서 1.21±0.19, 1.28±0.31 및 1.88±0.44 ng/mL였다. 대조구에 비해서는 대부분 높은 값을 보였으며, 특히 30°C에서 가장 높았다. 15 L-20°C에서는 각각 0.51±0.15, 0.53±0.07 및 0.23±0.02 ng/mL, 25°C에서 0.53±0.09, 0.65±0.12 및 1.28±0.09 ng/mL, 30°C에서 0.50±0.09, 0.83±0.20 및 1.28±0.09 ng/mL로 25°C-60일째에 가장 높은 값을 보였으며, 20°C-60일째에 최저 값을 보였다.



[Fig. 7] Changes of plasma 11-ketotestosterone in female banded catfish *Pseudobagrus fulvidraco* reared in 20, 25 and 30°C combined with 0 and 15 L during gonadal degeneration period. DL: day length, T: water temperature, L: light

IV. 고찰

동자개의 생식주기를 결정하는 수온 및 광주기 등 환경요인의 영향을 구명하기 위하여 산란기가 종료되는 8월 이후 퇴화기에 수온과 광주기 조건을 달리한 실험구를 설정하여 실시하였다. 어류의 생식주기는 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)에서 동자개는 6~8월이 산란기로 성숙 초기 단계의 난황구기(yolk globule stage) 난모세포의 출현시기가 나타나는 현상이 여름 산란형인 흰줄납줄개 *Rhodeus ocellatus ocellatus* (Asahina et al.,

1980)와 유사하여 여름산란형으로 구분할 수 있다 하였다. 또한 산란 후 생식소는 퇴화하고 초기성장기 난모세포인 주변인기 세포들로서 휴지기를 지내는 것은 해산 청어류 *Chanos chanos* (Kuo and Nash, 1979), 담수산 파랑볼우럭 *Lepomis macrochirus* (Lee and Kim, 1987) 및 각시붕어(An, 1995) 등과 유사하게 나타났다. 산란기의 생식소를 가진 실험어를 8월 초순에 수온 20, 25 및 30°C와 광주기 9 L과 5 L을 조합하여 실험한 결과 암컷의 GSI는 초기 대조구보다 사육 60일째에 생식소의 성 성숙과 산란이 이루어지지 않는 것으로 보이며, 15 L-20°C에서 일부 개체를 제외한 모든 실험구에서 GSI가 현저히 감소하였다. 이것은 하계 고수온과 단일광주기에 반응하여 생식소의 성숙과 산란이 억제되는 것으로 생각되어진다. 따라서 단일 광주기에 춘계 성 성숙 초기 환경의 광주기성이 뚜렷하게 나타나는 것으로 생각되어지며, 장기간 생식리듬 중에서 광주기성이 반복된다는 것을 의미하는 것으로 판단된다. 그리고 생식소의 성숙시기와 동일한 수온대가 존재하는 9월에 생식소가 완숙상태에 도달하지 못하는 것은 수온이 완숙상태까지 지속되지 않고 하강하기 때문이며, 자연조건하의 단일 광주기가 생식소 퇴화를 촉진하는 것으로 추정되었다. 동자개는 20°C 봄의 초기성숙기 온도와 15 L의 장일 조건에서는 생식소의 퇴화가 억제되었으며, 이것은 20°C-15 L 조건에서 환경에 대한 반응성이 느린 것으로 판단되었다. 또한 볼락의 연구결과에서 수컷의 GSI가 암컷의 GSI보다 약 2개월 빨리 상승하고 2개월 빨리 감소했다는 결과(Ko et al., 1998)와는 다르게 비슷한 시기에 감소하여 다른 결과를 보였다. 이는 난생 어류와 난태생 어류의 중간 차이로 판단된다. 암컷의 혈중 T 농도와 17 α 20 β OHP의 농도 변화는 GSI의 변화와 같은 경향을 나타내었으나 E₂ 농도는 사육 전과 비슷하거나 30°C에서 높은 값을 보였다. 이는 이 호르몬들이 동자개 생식소의 성숙과는 관련이 적은 것으로 판단되며, 볼락의 연구(Chang

et al., 2001)에서 처럼 암컷의 T 농도가 감소하면서 E_2 가 조금 상승하는 경향을 보았을 때, T 농도가 E_2 로 전환시 필요한 스테로이드 호르몬인 것으로 판단된다. 수컷에서는 암컷과는 다르게 광주기 조건에 관계없이 사육전과 같은 GSI를 유지하였으며, 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 어류에서 T의 증가 후 11-KT의 증가와 함께 정자형성이 일어나며, 이러한 정자형성에 직접적으로 관여하는 androgen은 11-KT로 알려져 있다(Matsuyama et al., 1991). 본 종에서도 T와 11-KT의 변화가 같은 양상을 보임으로써 정자형성에 관여하는 androgen은 11-KT로 판단된다. T 농도와 11-KT의 농도에서도 유사한 결과를 얻었다. 이것은 알맞은 수온 조건하에서 생식소가 성숙되어진 결과로 생각된다. 이러한 결과로서 산란기 종료는 여러 가지 환경요인 즉 광주기나 수온 그리고 피로도 등 다양한 원인에 기인된다고 생각되어 진다.

V. 요약 및 결론

암컷의 Gonadosomatic index (GSI) 초기 대조구의 값은 $8.16 \pm 1.50\%$ 였고, 모든 실험구에서 실험개시시보다 낮은 값을 보였다. 15 light (L) 실험구에서는 9 L과 같이 시간이 경과할수록 GSI가 낮아 졌으나, 20°C에서만 40일째와 60일째에 각각 8.04 ± 1.97 과 $7.75 \pm 5.59\%$ 로 유의한 차이를 보이지 않아($P > 0.05$), 20°C-15 L 실험구를 제외한 나머지 실험구에서는 대조구와 같은 경향을 보였다. 수컷 GSI는 실험개시시에 $0.35 \pm 0.05\%$ 였으며, 9 L-25°C의 실험구에서만 유의한 차이를 보이지 않았을 뿐($P > 0.05$), 나머지 실험구에서는 대조구에 비해 낮은 값을 보였다. 15 L-20°C에서 9 L의 실험구와 달리 20°C에서 대조구에 비해 높은 값

을 보였고, 나머지 실험구에서는 낮은 값을 보였다. 암컷의 혈중 testosterone (T) 농도는 실험개시시 대조구에서 3.68 ± 0.22 ng/mL였고 시간이 경과할수록 낮아지는 경향을 보였다. 9 L의 실험구에서 20, 25 및 30°C에서 모두 시간이 경과할수록 낮아지는 경향을 보였다. 15 L의 실험구에서도 9 L의 실험구와 같은 경향을 보여 광주기와 수온에 관계없이 대조구와 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 암컷의 혈중 estradiol-17 β (E_2) 농도는 0.42 ± 0.02 ng/mL였으며, 개시후 20, 40 및 60일째에 각각 0.34 ± 0.15 , 0.33 ± 0.06 및 0.27 ± 0.04 ng/mL였다. 9 L의 모든 실험구에서 대조구에 비해 높은 값을 보였다. 15 L에서는 9 L 실험구와 같이 대조구에 비해 높은 값을 보였으며, 15 L-30°C의 실험구에서 가장 높은 농도를 보였다. 암컷 혈중 7 α , 20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one (17 α 20 β OHP) 농도는 실험개시시 농도는 0.83 ± 0.01 ng/mL였으며, 9 L과 15 L 실험구에서 20, 25 및 30°C에서 대조구에 비해 낮은 값을 보였다. 각각의 실험구에서는 유의한 차이를 보이지 않았으나($P > 0.05$), 30°C-15 L에서 유의하게 높은 값을 보였다($P < 0.05$). 수컷의 혈중 T 농도는 실험개시시 0.69 ± 0.11 ng/mL였으며, 시간이 경과할수록 낮아지는 경향을 보였다. 15 L의 실험구에서 20일째에 모두 급격히 증가하였으나, 실험 종료시에 대조구와 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 수컷의 혈중 11-ketotestosterone (11-KT) 농도는 실험개시시 대조구는 0.62 ± 0.03 ng/mL였으며, 20, 40 및 60일째에 각각 0.36 ± 0.07 , 0.45 ± 0.04 및 0.46 ± 0.04 ng/mL였다. 9 L의 실험구에서 대조구에 비해서는 대부분 높은 값을 보였으며, 특히 30°C에서 가장 높은 값을 보였다. 15 L에서는 각각 0.51 ± 0.15 , 0.53 ± 0.07 및 0.23 ± 0.02 ng/mL, 25°C에서 0.53 ± 0.09 , 0.65 ± 0.12 및 1.28 ± 0.09 ng/mL, 30°C에서 0.50 ± 0.09 , 0.83 ± 0.20 및 1.28 ± 0.09 ng/mL로 25°C-60일째에 가장 높은 값을 보였으며, 20°C-60일째에 최저 값을 보였다.

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). Effect 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.
- Chang, Y. J., Lim, H. K. and Kwon, J. Y.(2001). Changes in plasma steroid hormone level in rockfish *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.
- Kuo, C. M. and Nash, C. E.(1979). Annual reproductive cycle of milkfish *Chanos chanos* Forskal, in hawaiian waters, Aquaculture 16, 247~251.
- Kobayashi, M., Aida, K. and Hanyu, I.(1987). Hormone changes during ovulation and effects of steroid hormones on plasma gonadotropin levels and ovulation in goldfish, General and Comparative Endocrinology 67, 24~32.
- 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.
- 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.
- Matsuyama, M., Adachi, S., Nagahama, Y. and Matsuura, S.(1991). 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.
- 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 05일
 - 심사완료일 : 1차 - 2012년 10월 20일
2차 - 2012년 10월 27일
 - 게재확정일 : 2012년 10월 29일