

실내 사육한 줄가자미(*Clidoderma asperrimum*)의 성 성숙과 생식주기

임한규 · 정민환[†] · 도용현 · 손맹현
(국립수산과학원 양식관리과)

Sexual Maturity and Reproductive Cycle of Roughscale Sole *Clidoderma asperrimum* Cultured in Indoor Tank

Han Kyu LIM · Min Hwan JEONG[†] · Yong Hyun DO · Maeng Hyun SON
(National Fisheries Research and Development Institute)

Abstract

The gonadosomatic index (GSI), sex steroid hormones and gonadal development of roughscale sole *Clidoderma asperrimum* cultured in indoor tank were investigated to evaluate its sexual maturation and reproductive cycle. The highest GSI values of female and male were 6.91 ± 4.03 (May) and 0.16 ± 0.08 (August), respectively. The reproductive cycle would be classified into four successive developmental stages: growing stage (December to February), maturation stage (March to April), ripe and spawning stage (May to June), recovery and resting stage (July to November). The highest plasma testosterone (T) and estradiol- 17β (E_2) levels of female were 259.4 ± 76.8 and 633.3 ± 182.5 pg/mL, respectively in May. Also 17α , 20β -dihydroxy-4-pregnen-3-one (17α , 20β -OHP) levels of female peaked in April before spawning season (244.2 ± 42.5 pg/mL). The highest plasma testosterone (T) and 11-ketotestosterone levels of male were 231.0 ± 46.0 and 273.9 ± 54.5 pg/mL, respectively in April. But there was no significant difference in 17α , 20β -OHP.

Key words: *Clidoderma asperrimum*, Sexual maturity, Reproductive cycle, Sex steroid hormones

I. 서론

최근 전 세계적으로 자원고갈 및 이상기온으로 인해 각 국가에서는 자국의 식량 확보에 많은 노력을 하고 있으며, 이 중 수산양식은 자국민들의 단백질 공급원으로 매우 중요한 역할을 할 것으로 여겨진다. 따라서 세계 각국에서는 기존의 양식품종 개량 및 생산량 향상을 위한 연구뿐만 아

니라, 상업적으로 생산 가능한 새로운 양식대상 어종을 개발하는 데 많은 관심을 가지고 있다. 우리나라 역시 넙치 *Paralichthys olivaceus*, 조피볼락 *Sebastes schlegelii* 등 소수 어종에 편중되어 있는 양식 품종에서 벗어나, 새로운 양식 어종개발에 많은 관심과 노력을 하고 있다.

줄가자미 *Clidoderma asperrimum*는 가자미목 (Pleuronectiformes) 가자미과(Pleuronectidae)에 속

[†] Corresponding author : 82-51-720-2434, mhjeong5920@gmail.com

* 본 연구는 국립수산과학원 시험연구사업(과제번호: RP-2012-AQ-121) 지원으로 수행되었습니다.

하며, 한국의 동해와 서해, 일본 홋카이도 이북, 동중국해, 캐나다, 동태평양 등 광범위하게 분포하고 있다(NFRDI, 2011). 또한 심해성 어종으로 수심 150~1,000 m의 펄이나 모래 바닥에 서식하면서, 거미불가사리류와 그 외 저서성 갑각류나 갯지렁이 등을 먹이로 한다. 줄가자미는 같은 가자미과에 속하는 강도다리 *Platichthys stellatus*와 마찬가지로 육질이 담백하고 탄력이 있어 고가의 고급횡감으로 평가받고 있으며(Lim et al., 2007), 소비가 증가하고 있는 실정이다. 그러나 줄가자미의 어획량만으로는 수요를 충족시키지 못하고 있어, 남획을 방지하고 증가하는 수요에 대응하기 위해서는 이 어종의 양식기술 확립 및 인공생산이 되어야 할 것으로 판단된다. 최근 국립수산물과학원의 동해수산연구소 해역산업과에서 처음으로 자연 서식하는 줄가자미의 어미를 어획하여 호르몬 처리 후 알과 정액을 채취하여 인공수정을 시도하고 있으나, 아직 좋은 결과를 얻지 못하고 있다. 이것은 줄가자미의 인위적인 사육을 통한 어미관리 및 종묘생산에 관한 체계적인 연구가 부족하기 때문으로 사료되며, 아직까지 줄가자미의 번식패턴에 관한 정보도 매우 제한되어 있다. 따라서 줄가자미의 양식기술을 확립하기 위해서는 번식생리학적 연구가 선행되어야 할 필요성이 있다.

가자미과 어류의 생식에 관해서는 문치가자미 *Limanda yokohamae*의 생식주기(Lee et al., 1985), 참가자미 *L. herzensteini*의 생식주기(Chang et al., 2004), 돌가자미 *Kareius bicoloratus*의 성 성숙(Jun et al., 2003), 범가자미 *Verasper variegatus*의 성 성숙(Kim et al., 1998), 성 스테로이드 호르몬 변화(Kim et al., 1999), 찰가자미 *Microstomus achne*의 성 성숙과 생식주기(Byun et al., 2011) 등 몇몇 종에 대한 보고가 있으나, 줄가자미의 번식과 관련된 기초적인 번식생리학적 연구는 찾아보기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 실내 사육한 줄가자미를 대상으로 조직학적 및 내분비학적 방법을 통해

성 성숙, 생식소발달 및 성 스테로이드 호르몬 변화를 조사하여, 이 어종의 인공 종묘생산을 위한 자료로 얻고자 한다.

II. 재료 및 방법

실험어는 동해수산연구소 해역산업과 실내 원형수조(직경 5.7 m×깊이 2.0 m)에서 사육중인 줄가자미를 2002년 12월부터 2003년 8월까지 매월 암수 각각 12마리씩 실험에 사용하였으며, 암컷과 수컷의 전장은 각각 33.6±0.4, 29.6±0.2 cm, 체중은 551.5±23.6, 345.5±7.4 g이었다. 사육기간 중 수온은 2002년 12월부터 2003년 6월 30일까지는 자연해수를 이용하였으나, 2003년 7월 1일부터 실험 종료 시까지는 줄가자미가 냉수성 어종임을 감안하여 16.0±1.0℃로 유지하였다. 광주기는 자연 상태로 유지하였으며, 먹이는 상업용 냉동 새우와 습사료를 1:1의 비율로 1일 1회 공급하였다.

매월 무작위로 채집한 줄가자미 암수의 전장과 체장은 0.1 cm, 체중은 0.1 g 단위로 측정하였으며, 생식소와 간 중량은 0.01 g 단위로 측정하였다. 이 측정값을 토대로 생식소중량지수(gonadosomatic index: GSI), 간중량지수(hepatosomatic index: HSI) 및 비만도(condition factor: CF)를 아래의 식으로 구하였다.

$$GSI (\%) = (\text{생식소중량} / \text{체중}) \times 100$$

$$HSI (\%) = (\text{간중량} / \text{체중}) \times 100$$

$$CF = (\text{체중} / \text{전장}^3) \times 1,000$$

생식소의 조직학적 변화를 조사하기 위하여 월별로 생식소를 적출하여 난소와 정소의 일부를 Bouin액에 고정한 후, 상법에 따라 파라핀으로 포매한 다음, 조직을 4~6 μm의 두께로 연속절편하였다. 이후 생식소의 구조 및 발달 상태를 조직학적으로 관찰하기 위해서 haematoxyline-eosin (H-E)으로 이중 염색하여 표본을 만든 후 광학현미경으로 관찰하였다. 생식주기는 Chang et al. (2004)의 방법에 따라 성장기, 성숙기, 완숙 및

산란기 그리고 회복 및 휴지기의 4단계로 구분하였다.

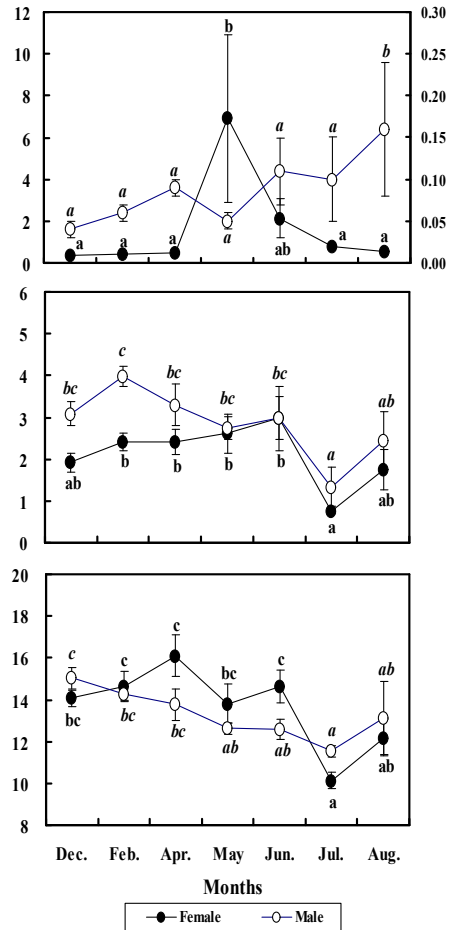
혈액은 헤파린이 처리된 주사기를 사용하여 미부동액에서 채취하였으며 원심분리(4°C, 12,000 rpm, 10분)하여 얻은 혈장은 분석 전까지 -80°C에서 보관하였다. 혈중 성 스테로이드 호르몬은 diethyl ether로 2회 추출 후 Aida et al. (1984)의 방법에 따라 방사면역측정법(radioimmunoassay)으로 분석하였다. 암컷은 testosterone (T), 17 α , 20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one (17 α , 20 β -OHP) 및 estradiol-17 β (E₂)를 측정하였고, 수컷은 T, 17 α , 20 β -OHP 및 11-ketotestosterone (11-KT)를 측정하였다. 실험에 사용한 항체는 모두 Cosmo-Bio Co. Ltd. (Tokyo, Japan)에서, 표준호르몬들은 Steraloids Inc. (Wilton, NH, USA)로부터 구입하였다. 방사선표지 [2,4,6,7-³H]-E₂, [2,4,6,7-³H]-T 그리고 [2,4,6,7-³H]-11-KT는 Amersham Life Science (England)로부터 구입하였고, 방사선표지 17 α , 20 β -OHP는 Young et al. (1983)의 방법에 의해서 [1,2,6,7-³H]-17 α -hydroxyprogesterone로부터 효소적 전환으로 얻은 후 TLC에 의해 분리한 것을 사용하였다. E₂, T, 17 α , 20 β -OHP 및 11-KT RIA계에 있어서 최소 검출량은 각각 12.5 pg/mL, 10 pg/mL, 10 pg/mL 및 16 pg/mL이었다. RIA 시 intra 및 interassay의 변동계수 50% 상대결합률에서 조사한 결과, E₂는 각각 3.4% (n=3), 11.5% (n=6), T는 각각 2.3% (n=3), 12.5% (n=6), 17 α , 20 β -OHP는 각각 3.2% (n=4), 9.5% (n=8) 그리고 11-KT는 각각 3.9% (n=4), 7.3% (n=8)이었다.

모든 측정값은 평균±표준오차로 나타냈으며, 유의차는 SPSS-통계패키지(version 12.0)를 이용하여 One-way ANOVA-test (Duncan's multiple range test)에 의해 검정하였다(P<0.1).

III. 결 과

1. 생체지수

12월부터 익년 8월까지 줄가자미의 월별 GSI, HSI 및 CF 변화는 [Fig. 1]에 나타내었다.



[Fig. 1]. Monthly changes in gonadosomatic index (GSI), hepatosomatic index (HSI) and condition factor (CF) of roughscale sole *Clidoderma asperrimum*. Different letters indicate significant difference among months in female or male (P<0.1)

줄가자미 암컷의 GSI는 12월부터 익년 4월까지 유의한 차이를 보이지 않았으나(P<0.1), 5월에 6.91±4.03로 급격히 증가하였다가 6월에 2.14±0.92로 다시 감소하였고, 7월부터는 5월 이

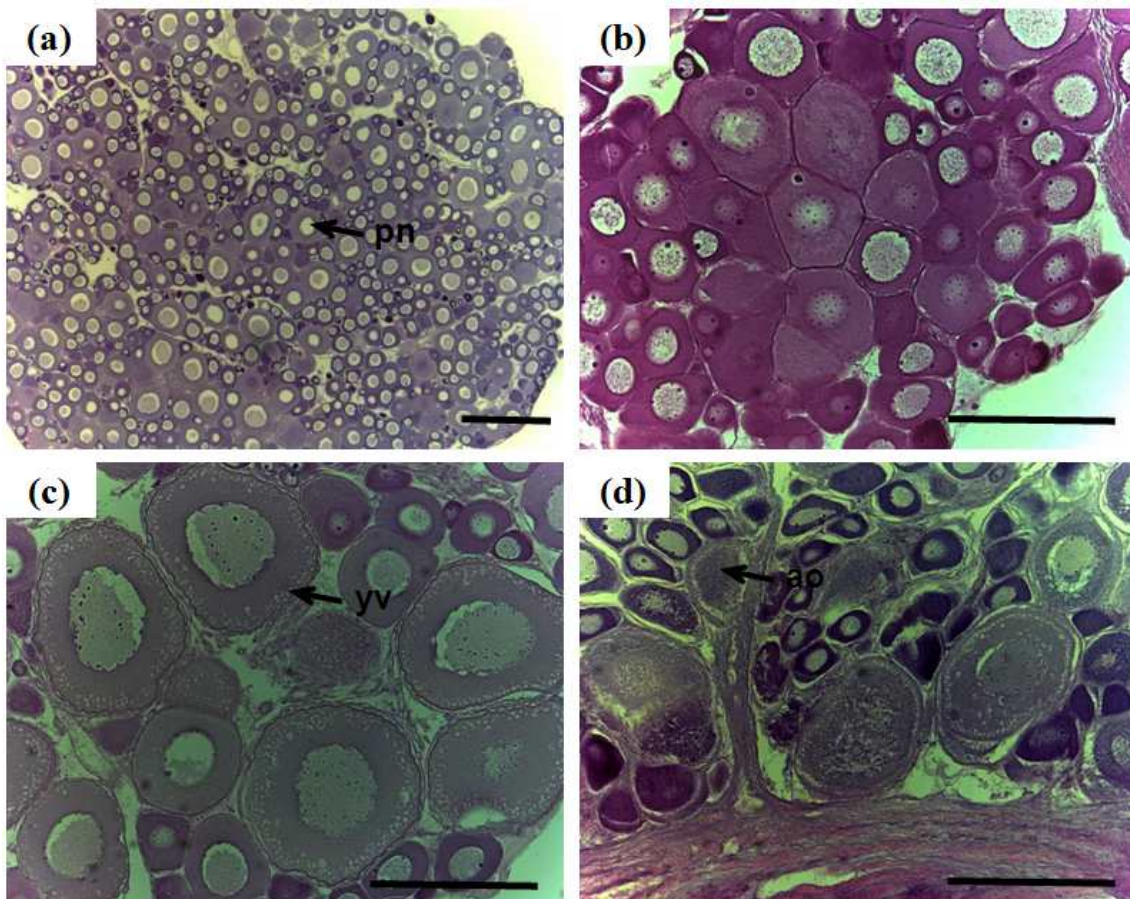
전의 수준으로 낮아졌다. 수컷의 GSI는 12월에 0.04 ± 0.01 에서 4월에 0.09 ± 0.01 까지 증가하였다가 5월에 0.05 ± 0.01 로 감소하였고, 다시 증가하여 8월에 0.16 ± 0.08 로 최대 값을 보였다.

암컷의 HSI는 12월에 1.92 ± 0.23 에서 6월에 2.99 ± 0.51 까지 점차 증가하였다가, 7월에 0.75 ± 0.06 로 급격히 감소, 8월에 1.74 ± 0.48 로 다시 증가하였다. 수컷의 HSI는 2월에 3.98 ± 0.25 로 최대 값을 보인 후 점차 감소하는 경향을 보였으며, 암컷 HSI와 마찬가지로 7월에 1.34 ± 0.48 로 가장 낮았다.

암컷 CF는 12월(14.08 ± 0.39)부터 익년 6월(14.61 ± 12.6)까지 유의한 차이를 보이지 않았으나, 7월에 10.14 ± 0.42 로 감소한 후 8월에 12.19 ± 0.87 로 다시 증가하는 경향을 보였다. 수컷 CF 역시 12월에 15.03 ± 0.53 이었던 것이 지속적으로 감소하여 7월에 11.54 ± 0.26 로 가장 낮은 값을 보인 후, 8월에 다시 증가하는 경향을 보였다.

2. 생식소 발달

난소



[Fig. 2]. Photographs of histologically observed ovary sections and different maturity stages of roughscale sole *Clidoderma asperrium*. a, growing stage; b, maturation stage; c, ripe and spawning stage; d, recovery and resting stage. pn: peri-nucleus, yv: yolk vesicle, ao: atretic oocyte. Scale bars: 200 μm

1) 성장기(growing stage)

12월부터 익년 2월까지 줄가자미 암컷의 난소 소엽 내에는 50 μm 이하의 염색인기 및 주변인기 난모세포군과 50~100 μm 의 주변인기 난모세포군이 함께 존재하고 있었다. 난모세포 세포질은 hematoxylin에 의해 짙게 염색되며, 핵 크기의 증가가 관찰되었다[Fig. 2a].

2) 성숙기(maturation stage)

3월부터 4월까지는 난소 발달이 진행되면서 난소 내에 여러 발달단계의 난모세포들이 관찰되고

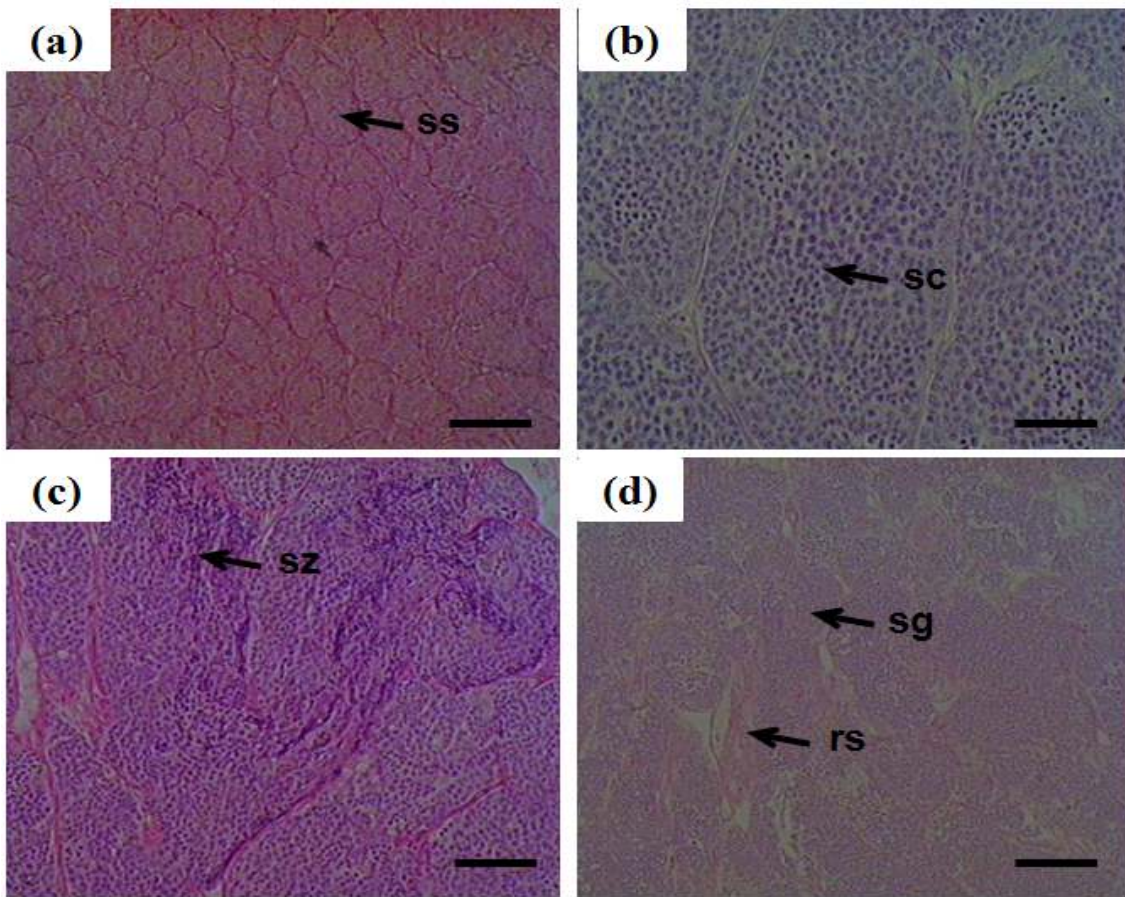
있지만, 난모세포들은 난황구기(yolk globule stage)에 도달하면서 세포질 내에 다량의 난황이 축적되고 있었다[Fig. 2b].

3) 완숙 및 산란기(ripe and spawning stage)

5월과 6월의 난소소엽 내에는 완숙란이 출현하였으며, 난황구는 세포질 내에서 균질화되었다. 또한 배란 흔적을 나타내는 잔존 여포도 관찰되었다[Fig. 2c].

4) 회복 및 휴지기(recovery and resting stage)

7월 이후의 난소소엽은 방란이 종료되어 위축



[Fig. 3]. Photographs of histologically observed testes sections and different maturity stages of roughscale sole *Clidoderma asperrimum*. a, growing stage; b, maturation stage; c, ripe and spent stage; d, recovery and resting stage. ss: secondary spermatogonium, sc: spermatocytes, sz: spermatozoa, sg: spermatogonia, rs: residual spermatozoa. Scale bars: 200 μm

되기 시작하였으며, 미방출된 난모세포 및 잔존 여포들의 퇴화-흡수가 관찰되었다[Fig. 2d].

정소

1) 성장기(growing stage)

12월부터 2월까지 줄가자미 수컷의 정소소엽 상피 내에는 체세포분열에 의해 완만하게 증식한 1차 정원세포(primary spermatogonium)에서 정자형성 과정(spermatogenesis)이 시작되어 활발한 분열 증식을 개시한 2차 정원세포(secondary spermatogonium)들이 관찰되었다[Fig. 3a].

2) 성숙기(maturation stage)

3월과 4월의 정소소엽에는 분열증식을 완료하고 감수분열을 개시한 정모세포들과 성숙중인 정세포군이 관찰되었다[Fig. 3b].

3) 완숙 및 방정기(ripe and spent stage)

5월과 6월 정소소엽 내에서는 정세포가 정자로 변하는 변태기(spermiogenesis)에 접어들어, 정소소엽과 수정세관 내에 정자들이 밀집되어 있는 것이 관찰되었다. 또한 방정기에 접어들면서 정자들이 빠져나가 정소소엽 내부가 부분적으로 비어 있었다[Fig. 3c].

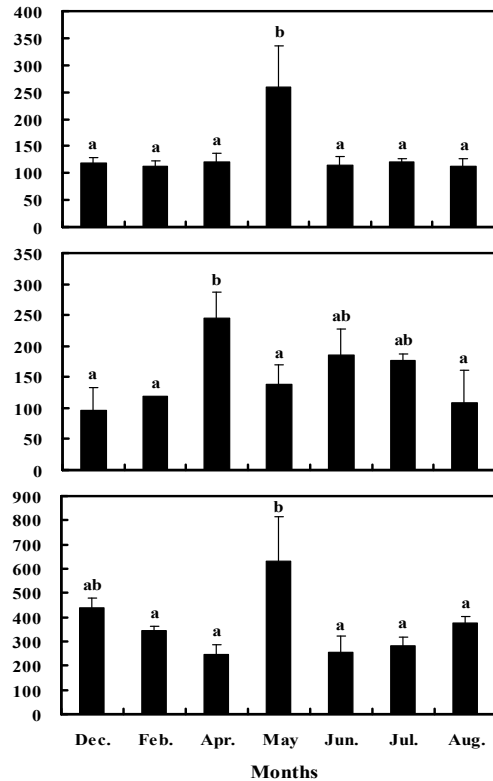
4) 회복 및 휴지기(recovery and resting stage)

7월 이후에는 대부분의 정자들이 방정되었고, 나머지 방정되지 못한 정자들의 퇴화-흡수와 정원세포들의 출현이 관찰되었다[Fig. 3d].

3. 혈중 성 스테로이드 호르몬 변화

암컷 줄가자미의 혈중 T 농도는 12월부터 4월까지 낮은 수준으로 유지되었으나, 5월에 259.4±76.8 pg/mL로 급격히 증가하였다가 6월 이후에는 이전의 수준으로 다시 낮아졌다. 17α, 20β-OHP 농도는 12월부터 2월까지 낮은 수준으로 유지되었으나, 4월에 244.2±42.5 pg/mL로 유의하게 증가하였다가 5월에 다시 138.3±31.5 pg/mL의 낮은 수준으로 감소하였다. 6월에는 186.2±41.4

pg/mL로 다시 증가하였다가 8월까지 108.7±52.6 pg/mL로 서서히 감소하였다. E₂ 농도는 12월에 438.0±40.0 pg/mL이었던 것이 2월과 4월에 각각 346.1±17.0, 248.3±39.5 pg/mL로 감소하였다가, 5월에 633.3±182.5 pg/mL로 급격히 증가하는 경향을 보였다. 6월 이후에는 이전의 수준으로 다시 낮아졌다[Fig. 4].



[Fig. 4]. Monthly changes in plasma levels of testosterone (T), 17α, 20β-dihydroxy-4-pregen-3-one (17α, 20β-OHP) and estradiol-17β (E2) of female roughscale sole *Clidoderma asperrium*. Different letters indicate significant difference (P < 0.1)

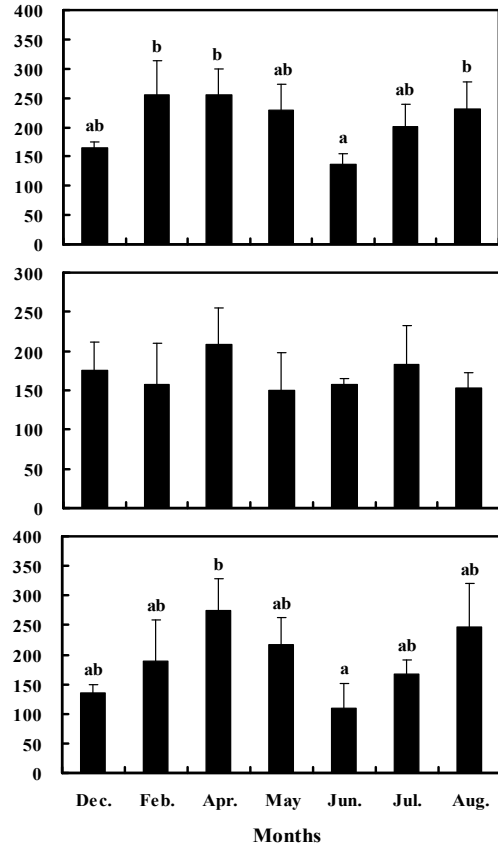
수컷에서 혈중 T 농도는 12월에 165.4±9.8 pg/mL이었던 것이 2월과 4월에 각각 255.9±57.2, 254.7±44.8 pg/mL로 증가하였다가 다시 감소하여

6월에 136.9±18.0 pg/mL로 최저 값을 보였다. 7월 이후에 다시 증가하기 시작하여 8월에 231.0±46.0 pg/mL로 나타냈다. 17α, 20β-OHP 농도는 실험 기간동안 유의한 차이를 보이지 않았다($P < 0.1$). 11-KT 농도는 12월에 136.1±14.1 pg/mL이었던 것이 4월에 273.9±54.5 pg/mL로 증가하였다가 감소하여 6월에 108.6±42.3 pg/mL로 최저 값을 보였다. 7월 이후에는 다시 증가하여 8월에 246.3±73.8 pg/mL로 나타나, 혈중 T 농도 변화와 유사한 경향을 나타냈다[Fig. 5].

IV. 고 찰

대부분의 경골어류는 1년의 생식주기를 가지고 있으며, 난 발달 양식에 따라 동기발달형(synchronous), 난군동기발달형(group-synchronous) 및 비동기발달형(asynchronous) 3가지로 구분해 볼 수 있다(Wallace and Selman, 1981). 본 연구에서 줄가자미 암컷의 생식소발달 단계 중 완숙 및 산란기동안 난소 내에는 성숙 난모세포군과 함께 초기 난모세포군까지의 다양한 단계의 난모세포들이 존재하고 있었으며, 성장기의 난소 내에서는 여러 단계의 초기 난모세포군이 함께 관찰되어 줄가자미는 비동기발달형에 속하는 것으로 판단된다. 또한 이런 난 발달 양식의 특성과 완숙 및 산란기의 조직상을 고려해 볼 때, 줄가자미는 범가자미(Kim et al., 1998), 돌가자미(Jun et al., 2003) 및 강도다리(Lim et al., 2007)와 같이 긴 산란기를 가지며, 다회 산란하는 것으로 판단된다.

어류의 경우 일반적으로 수컷의 GSI가 암컷에 비하여 낮는데, 자리돔 *Chromis notatus* (Lee and Lee, 1987)과 그물코쥐치 *Rudarius ercodes* (Lee et al., 1984) 수컷의 GSI는 각각 6.1, 6.9로, 각 어종의 암컷에 비하면 비교적 낮지만 줄가자미의 수컷에 비하면 매우 높게 나타나고 있다. 그러나 턱대 *Pampus echinogaster*와 병어 *Pampus argenteus* (Lee and Jin, 1989) 수컷의 최대 GSI는



[Fig. 5]. Monthly changes in plasma levels of testosterone (T), 17α, 20β-dihydroxy-4-pregnen-3-one (17α, 20β-OHP) and 11-ketotestosterone (11-KT) of male roughscale sole *Clidoderma asperrimum*. Different letters indicate significant difference ($P < 0.1$)

각각 1.98, 0.96이며, 황놀래기 *Pseudolabrus japonicus* (Lee et al., 1992)는 0.38, 쟁쟁어 *Boleophthalmus pectinirostris* (Chung et al., 1991)는 0.48로 체중에 대한 정소 중량이 차지하는 비율이 낮은 종들도 있다. 해산 경골어류 중 체외수정을 하는 어종에 있어서 이와 같이 다양한 GSI를 가지는 것은 산란 행동이 다르기 때문으로 알려져 있다(Billard, 1986). 즉, 수컷의 GSI가 낮은 어종들은 짝을 지어 산란 행동을 하는데 비하여,

GSI가 높은 어종들은 무리를 지어 산란 행동을 한다는 가설이다(Suquet et al., 1994). 일반적인 경골어류 수컷의 성성숙은 암컷의 성 성숙과 같은 시기 또는 이전에 완료되어 번식에 가입하기를 기다리고 있다고 알려져 있다(Kang et al., 2009). 그러나 본 종에서는 수컷이 암컷보다 2-3개월 늦게 GSI 최대 값을 보여, 앞서 서술한 가설을 증명하기 위해서는 번식습성 및 정액량 등에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서 줄가자미 암컷과 수컷의 HSI와 CF는 모두 7월에 최저 값을 나타내어 GSI와 상관관계가 나타나지 않았다. 경골어류 중에서 문치가자미(Lee et al., 1985), 돌가자미(Jun et al., 2003) 및 강도다리(Lim et al., 2007) 등에서는 GSI와 HSI의 역상관계가 보고되어 있으며, 이것은 난모세포의 발달시기에 생식소에서 E₂가 분비되어 이 호르몬에 의해 간에서 난황전구물질인 vitellogenin이 합성, 알에 축적되기 때문이라고 보고되고 있다(Aida et al., 1973). 이와 반대로 농어 *Lateolabrax japonicus* (Kang et al., 2001), 바닥문절 *Sagamia geneionema* (Hur et al., 2006) 등 일부 어종에서는 정상관계로 보고되어 있다. 또한 2년생 자주복 *Takifugu rubripes*의 경우 GSI와 HSI는 어떠한 상관관계가 없는 무상관계라고 보고되어 있다(Yang et al., 1994). 따라서 줄가자미의 번식기간동안 GSI, HSI 그리고 CF의 관계는 무상관계라고 추측된다.

대부분의 경골어류에서 생식소발달은 서식하고 있는 지역의 수온 및 광주기 등의 환경적인 변화에 의해 주기성을 가지고 이루어진다. 이러한 환경변화는 어류의 감각기관을 통해서 수용된 후 신경정보로써 전달되어 내분비계에서 방출된 각종 호르몬이 생식주기를 조절하게 되며(Strssmann et al., 1996), 생식소 발달과정 중 E₂의 혈중 농도변화는 일반적으로 난소 발달 단계 및 GSI 변화와 일치한다(Kim et al., 1999). 또한 어류의 내분비계에서 T는 GTH (gonadotropin

hormone)의 자극에 의해 난소 내에서 합성되며, E₂의 전구체 역할을 한다. 합성된 E₂는 간에 작용하여 간세포 내에서 분비되는 vitellogenin이 난모세포의 세포질 내에서 난황 단백질로 축적된다(Aida et al., 1973). 난황 축적을 완료한 난모세포의 난성숙 능력을 획득하게 하는 progestin은 난성숙유도 steroid (maturation-inducing hormone, MIS)로 불리고 있으며, 대부분의 경골어류에서 17 α , 20 β -OHP가 MIS로 작용한다고 알려져 있다(Aida, 1988). 본 연구에서 줄가자미 암컷의 혈중 T와 E₂ 농도는 GSI의 월간 변화와 마찬가지로 5월에 최대 값을 보였다. 이 결과는 산란이 시작되는 5월에 T와 E₂의 작용에 의해 난황 축적이 이루어지는 것으로 판단된다. 또한 17 α , 20 β -OHP 농도는 산란기 전·후인 4월에 최대 값을 보였으며 6월과 7월에도 높은 수치를 보여, 17 α , 20 β -OHP가 줄가자미의 난 성숙을 완료하는 부분에 관여하는 것으로 판단된다.

수컷의 정소에서 생성되는 T, 11-KT 등의 호르몬은 정자형성, 2차 성징의 발달, 성행동의 발현 등을 촉진하며, 산란기에 이들 호르몬의 농도가 증가하는 것으로 알려져 있다. 잉어과인 roach *Rutilus rutilus*의 혈중 11-KT 농도는 GSI와 같은 경향을 보였으며(Geraudie et al., 2010), 정어리 *Sardinops melanostictus*의 혈중 T 농도도 GSI 변화와 마찬가지로 정자형성기 때 점차 증가하여 정자배정기 때 최고 농도를 보였다(Matsuyama et al., 1991). 하지만 본 연구에서 줄가자미 수컷의 혈중 T와 11-KT의 농도는 GSI가 최대값을 보이는 8월에 유의하게 높은 수치를 보이면서, 4월에도 유의하게 높은 수치를 보였다. 이 결과는 암컷의 GSI가 최대 값을 나타내고 산란기가 시작되는 5월 이전에 혈중 T와 11-KT의 작용에 의해 정자 형성이 이루어진다는 것을 의미하며, 수컷 생식소의 조직학적 관찰 결과와도 일치한다. 하지만 8월에 GSI와 혈중 T 및 11-KT의 수치가 높게 나타나는 것에 대해서는, 냉수성 어종인 줄가자미를 실내에서 사육하면서 7월 이후부터 수온

을 인위적으로 낮게 유지시켰기 때문에 사료되며, 이 부분에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

V. 요약 및 결론

실내 사육한 줄가자미 *Clidoderma asperrimum*의 성 성숙 및 생식주기를 알아보기 위하여 생체지수, 생식소 발달 및 성 스테로이드 호르몬 변화를 조사하였다. 줄가자미 암컷의 생식소중량지수(gonadosomatic index: GSI)는 5월에 6.91 ± 4.03 로 최대 값을 보였으며, 수컷의 GSI는 8월에 0.16 ± 0.08 로 최대 값을 보였다. 줄가자미의 생식소 발달은 암컷과 수컷 모두 12월부터 2월까지 성장기(growing stage), 3월부터 4월까지 성숙기(maturation stage), 5월부터 6월까지 완숙 및 산란기(ripe and spawning stage), 7월 이후 회복 및 휴지기(recovery and resting stage)로 관찰되었다. 줄가자미 암컷의 혈중 testosterone (T)과 estradiol-17 β (E₂) 농도 5월에 각각 259.4 ± 76.8 , 633.3 ± 182.5 pg/mL로 최대 값을 보였으며, 17 α , 20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one (17 α , 20 β -OHP) 농도는 산란전인 4월에 244.2 ± 42.5 pg/mL로 최대 값을 보였다. 수컷의 혈중 T와 농도는 8월에 231.0 ± 46.0 pg/mL, 11-ketotestosterone는 4월에 273.9 ± 54.5 pg/mL로 최대 값을 보였다. 17 α , 20 β -OHP 농도는 실험기간동안 유의한 차이를 보이지 않았다($P < 0.1$).

참고 문헌

- Aida, K., Awaji M. and Kato T.(1984). Effects of castration on the smoltification of precocious male masu salmon, *Oncorhynchus masou*, Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 50(4), 565~571.
- Aida, K., Nagahama Y. and Hibiya T.(1973). Physiological studies on the gonadal maturation of fish. I. Sexual difference in composition of plasma protein of ayu in relation to gonadal maturation, Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 39, 1091~1106.
- Aida, K.(1988). A review of plasma hormone changes during ovulation in cyprinid fishes, Aquaculture, 74, 11~21.
- Billard, R.(1986). Spermatogenesis and spermatology of some teleost fish species, Reproduction Nutrition Development, 26, 877~920.
- Byun, S.G., Kim S.Y., Kim J.D., Lee B.I., Lee J.H., Han K.H. and Jeong M.H.(2011). Sexual maturity and gonadal development of slime flounder, *Microstomus achne*, Korean Journal of Ichthyology, 23(3), 179~186.
- Chang, Y.J., Lee J.Y. and Chang Y.J.(2004). Reproductive cycle of the brown sole *Limanda herzensteini* in eastern water of Korea, Journal of Aquaculture, 17(2), 128~132.
- Chung, E.Y., An C.M. and Lee T.Y.(1991). Sexual maturation of the bluespotted mud hopper, *Boleophthalmus pectinirostris* (Linnaeus), Bulletin of Korean Fisheries Society, 24(3), 167~176.
- Geraudie, P., Gerbron M. and Minier C.(2010). Seasonal variations and alterations of sex steroid levels during the reproductive cycle of male roach *Rutilus rutilus*, Marine Environmental Research, 69, 53~55.
- Hur, S.W., Kim S.J., Song Y.B., Lee C.H., Lim B.S., Rho S., Baek H.J., Kim H.B. and Lee Y.D.(2006). Reproductive cycle of female hairychin goby *Sagamia geneionema*, Journal of Korean Fisheries Society, 39, 404~409.
- Jun, J.C., Sim D.S., Kim Y.H. and Chung E.Y.(2003). Sexual maturation of the stone flounder *Kareius bicoloratus* on the west coast of Korea. Korean Journal of Ichthyology, 15, 259~271.
- Kang, D.Y., Cho K.C., Lee J.H., Kang H.W., Kim G.H. and Kim H.C.(2009). Annual reproductive cycle of Korean yellow croaker *Larimichthys polyactis*, Journal of Aquaculture, 22, 5~10.
- Kang, D.Y., Lim H.G. and An C.M.(2001). Reproductive cycle of seabass *Lateolabrax japonicus*, Korean Journal of Ichthyology, 13,

- 201~209.
- Kim, Y., An C.M., Kim K.K. and Baek H.J.(1998). Sexual maturation of the spotted flounder *Verasper variegatus*, Korean Journal of Ichthyology, 10, 191~199.
- Kim, Y., Baek H.J., Han C.H., Aida K. and Kobayashi M.(1999). Changes in plasma sex steroid hormone and viellogenin levels during gonadal development of the spotted flounder, *Verasper variegatus*, Journal of Korean Fisheries Society, 32, 624~628.
- Lee, T.Y., Kang Y.J. and Lee B.D.(1985). Reproduction and population dynamics of marbled sole *Limanda yokohamae*, Journal of Korean Fisheries Society, 18, 253~261.
- Lee, Y.D. and Lee T.Y.(1987). Studies on the reproductive cycle damsel fish *Chronis notatus* (Temminck et stellatus), Bulletin of Korean Fisheries Society, 20, 509~519.
- Lee, T.Y. and Jin J.J.(1989). Studies on the fishery biology of pomfrets, *Pampus* spp. in the Korean water. 2. Gonadal maturation and spawning, Bulletin of Korean Fisheries Society, 22, 266~280.
- Lee, T.Y., Hanyu J. and Furukawa K.(1984). Effects of photoperiod and temperature on the gonadal activity in small filefish, *Rudarius ercodes*, Bulletin of Korean Fisheries Society, 17, 523~528.
- Lee, Y.D., An C.M., Lee J.J. and Lee T.Y.(1992). Reproductive cycle and sex reversal of *Pseudolabrus japonicus* (Houttuyn), Bulletin of Marine Resource Research Institute, Cheju National University, 16, 55~66.
- Lim, H.K., Byun S.G., Lee J.H., Park S.U., Kim Y.C., Han H.K., Min B.H. and Lee B.Y.(2007). Sexual maturity and reproductive cycle of starry flounder *Platichthys stellatus* cultured in indoor tank, Journal of Aquaculture, 20, 212~218.
- Matsuyama, M., Adachi S., Nagahama Y., Kitajima C. and Matsuura S.(1991). Testicular development and serum levels of gonadal steroids during the annual reproductive cycle of captive japanese serdine. Japan Journal of Ichthyology, 37, 381~390.
- NFRDI, East Sea Fisheries Research Institute. (2011). Aquacultural technique development of roughscale sole. 2010 Report of National Fisheries Research & Development Institute, 61.
- Strssmann, C.A., Takashima F. and Toda K.(1996). Sex differentiation and hormonal feminization in pejerrey *Odontesthes bonariensis*, Aquaculture, 139, 31~45.
- Suquet, M., Billard R., Cosson J., Dorange G., Chauvaud L., Mugnier C. and Fauvel C.(1994). Sperm features in turbot (*Scophthalmus maximus*), a comparison with other freshwater and marine fish species, Aquatic Living Resources, 7, 283~294.
- Wallace, R.A. and Selman K.(1981). Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts, American Zoologist, 21, 325~343.
- Yang, S.K., Lee Y.D. and Pyun C.K.(1994). A study on the gonadal maturation and egg-stripping by ormone treatments of tiger piffer, *takitgu rubripes*, Journal of Aquaculture, 7, 189~205.
- Young, G., Crim L.W., Kagawa H., Kambegawa A. and Nagahama Y.(1983). Plasma 17 α , 20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one levels during sexual maturation of amago salmon (*Oncorhynchus rhodurus*): Correlation with plasma gonadotropin and in vitro production by ovarian follicles, General and Comparative Endocrinology, 51, 96~105.

-
- 논문접수일 : 2012년 11월 03일
 - 심사완료일 : 1차 - 2012년 11월 20일
 - 게재확정일 : 2012년 11월 23일