

Effects of Photoperiod and Water Temperature on Male Sex Steroid Levels in Cultured Small Yellow Croaker (*Larimichthys polyactis*)

Hyo-Won Kim^{1,3}, Jung-Hyun Kim¹, Jin Woo Park¹, Hea-Ja Baek² and Dae-Jung Kim^{1*}

¹Jeju Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Jeju 63610, Korea

²Department of Marine Biology, Graduate School, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

³South Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Yeosu 59780, Korea

Received October 10, 2020 / Revised November 12, 2020 / Accepted November 12, 2020

In the present study, we investigated the effect of photoperiod and water temperature on the gonadosomatic index (GSI), histological stage of the testes, and plasma levels of sex steroid (testosterone, T; 11-ketotestosterone, 11-KT) hormones in cultured male small yellow croakers (*Larimichthys polyactis*). In a photoperiod experiment, small yellow croakers were reared under a natural photoperiod (NP, 10L:14D - 11L:13D), long photoperiod (LP, 14L:10D), and short photoperiod (SP, 10L:14D) at 17°C for 90 days. The GSI was significantly higher in the LP group than in the other groups at 30 and 60 days. The plasma 11-KT levels were significantly higher in the LP group than in the other groups at 30 days. In a water temperature experiment, small yellow croakers were reared under natural water temperature (NT, 19.1-15.0°C), or at 17°C, 21°C, or 25°C under a LP (14L:10D) for 60 days. The GSI was significantly lower for the 25°C group than for the other groups at 30 and 60 days. The plasma 11-KT levels were significantly lower for the 25°C group than for the other groups at 60 days. Therefore, the sexual maturation of cultured male yellow croakers was promoted by LP and inhibited at water temperatures above 25°C. These findings suggest that the sexual maturation of cultured male small yellow croakers is controlled by both the photoperiod and the water temperature.

Key words : *Larimichthys polyactis*, photoperiod, reproduction, small yellow croaker, water temperature

서 론

참조기(*Larimichthys polyactis*)는 농어목(Order Perciformes) 민어과(Family Sciaenidae)에 속하며 봄에 서해에서 산란한 후 겨울에 동중국해로 남하하여 월동하는 회유성 어종으로, 우리나라에서 선호도가 높은 고부가가치 어종이다[3, 13, 14]. 그러나 최근 기후변화와 남획 등으로 인해 참조기 어획량이 2011년 59,226톤, 2014년 27,622톤, 2018년 23,000톤으로 감소하고 있어서[27], 종자생산을 통한 생산량 증가가 요구된다. 어류의 성성숙 및 산란조절은 주로 외재성 호르몬을 투여하거나 환경조건을 조절하는 방법이 이용된다. 그러나 현재까지 참조기의 수정란 생산과 관련된 연구는 펙타이드계 호르몬(Luteinizing hormone-releasing hormone analogue, LHRH-a)을 투여하는 방법만이 수행되었으며[7], 환경조절을 통한 성성숙 및 산란조절에 대한 연구는 미비한 실정이다. 인위적인 호르몬 투여를 통한 산란유도는 핸들링에 의한 스트레스, 감염 및 면역저하

로 인한 폐사, 난질 저하, 수정란 생산량 감소 등의 문제가 발생할 수 있다고 알려져 있어서[4, 5, 31], 보다 안정적인 참조기 수정란 공급을 위해서는 환경조절을 통한 수정란 생산 기술 확보가 요구된다.

참조기와 같은 경골어류의 성성숙은 다양한 환경요인(수온, 빛, 밀도, 염분 등)의 복합적인 신호에 반응한 Brain-Pituitary-Gonad (BPG) axis에 의해 조절되며, 이 중 광주기와 수온이 주요인으로 알려져 있다[17, 30, 35]. 환경요인에 의한 자극은 시상하부의 생식소자극호르몬방출호르몬(Gonadotropin-releasing hormone, GnRH)의 분비를 촉진시키며, GnRH는 뇌하수체의 생식소자극호르몬(Gonadotropin hormone, GtH)인 여포자극호르몬(Follicle-stimulating hormone, FSH)과 황체형성호르몬(Luteinizing hormone, LH)의 분비를 자극하고, GtHs는 생식소의 GtH 수용체(receptor)를 통해 성호르몬(sex steroid hormone)의 생합성을 촉진하여[18, 25], 어류의 성호르몬 합성, 배란, 산란 시기 및 난질 등에 영향을 준다고 알려져 있다[6, 8, 26]. 환경조절을 통한 성성숙유도 연구는 다양한 어종들에서 수행되었지만[24, 33], 종의 서식환경에 따라 성성숙에 미치는 영향은 차이가 있어 대상어종의 특성에 적합한 연구가 필요하다. 따라서 환경조절을 통한 참조기 수정란 생산 기술을 확립하기 위해 환경조건이 암·수컷 참조기의 성성숙에 미치는 영향을 조사하고자 하였다.

본 연구에서는 우선 수컷 참조기의 성성숙 메커니즘에 대한

*Corresponding author

Tel : +82-64-720-2430, Fax : +82-64-780-5409

E-mail : djkim4128@korea.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

기초자료를 제공하기 위해 광주기와 수온에 따른 양식산 수컷 참조기의 생식소중량지수(Gonadosomatic index, GSI), 정소 발달 및 혈중 성호르몬 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

실험어 및 환경조건

본 연구는 국립수산물과학원 동물실험윤리위원회의 승인(2019-동물실험-21)과 관리 감독 하에 실시되었다. 실험어는 국립수산물과학원 제주수산연구소 위미시험포에서 종자생산하여 사육중인 1년생 참조기(평균 전장 191.2±1.9 mm, 평균 체중 70.9±2.7 g)를 사용하였다. 실험어의 외형으로 암수 구별이 어려워, 샘플링시 생식소 조사를 통해 수컷을 구별하였다.

실험에 이용한 환경조건은 자연조건에서 월동 및 자연산란이 가능한 제주도 서귀포 지역의 연중광주기(10L:14D~14L:10D)와 수온(14.2~27.1°C)을 참고하여 설정하였다.

실험 1: 광주기가 수컷 참조기 성성숙에 미치는 영향 조사

실험구의 광주기는 자연광주기(Natural photoperiod, NP, 10L:14D (12월, 실험시작시)~11L:13D (3월, 실험종료시)), 14L:10D (Long photoperiod, LP), 10L:14D (Short photoperiod, SP)로 설정하였고, 수온은 17°C로 조절하였다. 실험구의 광주기는 30W LED 전등과 타이머를 이용하여 조절하였다. 실험구마다 1톤 원형수조 3개에 실험어를 30마리씩 수용하였고, 7일간 순치 후 90일간 실험을 진행하였다. 실험기간동안 수조 내 별도의 에어레이션을 설치하여 용존산소량(Dissolved oxygen, DO)을 7 mg/ml 이상으로 유지하였고, 각 수조의 환수율은 1일 10회전으로 조절하였다. 사료는 넙치용 배합사료(Crude protein 55%)를 1일 1회 반복 공급하였다. 광주기 조절에 따른 GSI, 조직발달 및 혈중 성호르몬(Testosterone, T; 11-Ketotestosterone, 11-KT) 변화는 30일 간격으로 조사하였다.

실험 2: 수온이 수컷 참조기 성성숙에 미치는 영향 조사

실험구의 수온은 자연수온(Natural temperature, NT, 19.1°C (12월, 실험시작시)~15.0°C (2월, 실험종료시), 17°C, 21°C, 25°C로 설정하였고, 광주기는 14L:10D로 조절하였다. 실험구의 수온은 디지털 수온 조절기(±0.5°C)를 이용해 설정된 각 실험구의 수온까지 1일 1°C씩 사육수온을 조절하였고, 광주기는 LED 전등과 타이머를 이용하여 조절하였다. 각 실험구마다 2톤 원형수조에 실험어를 70마리씩 수용하여 7일간 순치하여 60일간 실험을 진행하였고, 사육조건은 실험 1과 동일하게 조절하였다. 수온 조절에 따른 GSI, 조직발달 및 혈중 성호르몬(T, 11-KT) 변화는 30일 간격으로 조사하였다.

혈중 성호르몬 분석

실험구마다 실험어를 7마리씩 무작위로 2-phenoxyethanol

(200 ppm, Sigma, USA)에 마취시켜 체중을 측정하고, heparin 처리된 주사기를 이용해 미부혈관에서 각 1 ml 채혈하였다. 채혈한 혈액은 원심분리(6,000 RPM, 4°C, 15 min)하여 혈장을 분리하고, 분석 전까지 -70°C에서 보관하였다.

혈중 T (EIA-1559, DRG, USA)와 11-KT (582751, Cayman, USA)는 EIA kit를 이용하여 매뉴얼대로 효소면역측정법(ELISA)으로 측정하였고, microplate reader (Sunrise, Tecan, Switzerland)를 이용하여 흡광도를 측정 후 Magellan (v17.2, Tecan, Switzerland)를 이용하여 결과값을 계산하였다.

조직학적 분석

정소 발달 정도를 조사하기 위해 조직학적 분석을 수행하였다. 체중과 정소 무게를 측정하여 GSI (GSI = 생식소 / 체중 × 100)를 계산하였고, 정소 일부는 조직학적 분석을 위해 고정액(Bouin's solution)에 고정하였다. 고정된 정소를 일련의 과정을 거쳐 paraffin으로 포매하고, microtome (RM 2135, Leica, Germany)을 이용해 4-5 µm 두께로 박절하였다. 절편은 H-E (hematoxylin-eosin)염색법으로 대비 염색하였고, 광학현미경(C-DS, Nikon, Japan)으로 정소발달 상태를 조사하였다. 참조기 정소의 발달단계는 Weltzien 등[34]의 방법을 참고하여 5단계(미성숙기, 성장기, 성숙기, 방정기, 퇴화기)로 구분하였다(Fig. 1).

통계분석

모든 결과값은 평균±표준오차로 나타냈고, 통계처리는 SPSS statistics program (version 19.0)을 사용하여 Duncan's multiple range test로 유의성을 분석하였다($p < 0.05$).

결 과

광주기가 수컷 참조기의 성성숙에 미치는 영향 GSI 및 성호르몬 변화

광주기에 의한 수컷 참조기 GSI 변화를 Fig. 2에 나타냈다. 실험시작시 수컷 참조기의 GSI는 0.8±0.1, 정소의 발달단계는 성장기(Fig. 1B)였다. NP, LP, SP 실험구의 GSI는 실험 30일째 각 1.6±0.1, 2.6±0.1, 1.9±0.1, 실험 60일째 각 1.8±0.3, 2.8±0.1, 2.1±0.2, 실험 90일째 각 2.2±0.4, 0.7±0.2, 2.3±0.4로 나타났다. 실험 30일째와 60일째 GSI는 NP와 SP 실험구보다 LP 실험구가 유의하게 높았고, 정소의 발달단계는 NP와 SP 실험구는 성숙기(Fig. 1C), LP 실험구는 방정기(Fig. 1D)로 나타났다. 그러나 실험 90일째 GSI는 LP 실험구보다 NP와 SP 실험구가 유의하게 높았고, 정소의 발달단계는 LP 실험구는 퇴화기(Fig. 1E), NP와 SP 실험구는 성숙기(Fig. 1C)로 나타났다.

광주기에 의한 수컷 참조기의 혈중 성호르몬(T, 11-KT) 변화를 Fig. 3에 나타냈다. 실험시작시 혈중 T 농도는 0.45±0.07 ng/ml였다. NP, LP, SP 실험구의 혈중 T 농도는 실험 30일째

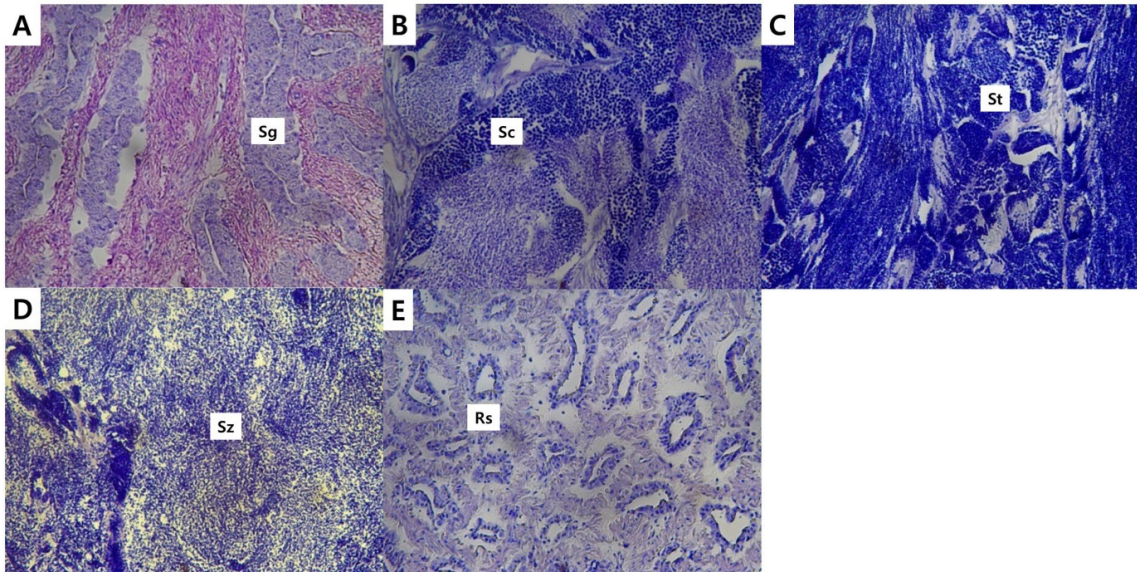


Fig 1. Histological observation (X 400) of testis at different maturation stage in male small yellow croaker *L. polyactis* (modified from Weltzien et al., 2002). (A) Immaturation stage, (B) Growth stage, (C) maturation stage, (D) spermiation stage, (E) degeneration stage. Rs residual spermatozoa, Sg spermatogonia, Sc spermatocytes, St spermatids, Sz spermatozoa.

각 0.72 ± 0.13 , 0.88 ± 0.14 , 0.61 ± 0.13 ng/ml, 실험 60일째 각 0.80 ± 0.04 , 0.80 ± 0.12 , 0.88 ± 0.11 ng/ml, 실험 90일째 각 1.03 ± 0.08 , 0.82 ± 0.08 , 0.95 ± 0.13 ng/ml로 나타났으며, 실험기간 동안 실험구 사이에 유의한 차이가 없었다.

혈중 11-KT 농도는 실험시작시 0.03 ± 0.01 ng/ml였다. NP, LP, SP 실험구의 혈중 11-KT 농도는 실험 30일째 각 0.05 ± 0.02 , 0.29 ± 0.07 , 0.09 ± 0.04 ng/ml, 실험 60일째 각 0.15 ± 0.09 , 0.34 ± 0.08 , 0.34 ± 0.12 ng/ml, 실험 90일째 각 0.75 ± 0.46 , 0.01 ± 0.003 , 0.34 ± 0.12 ng/ml로 나타났다. 실험 30일째 11-KT 농도는 NP

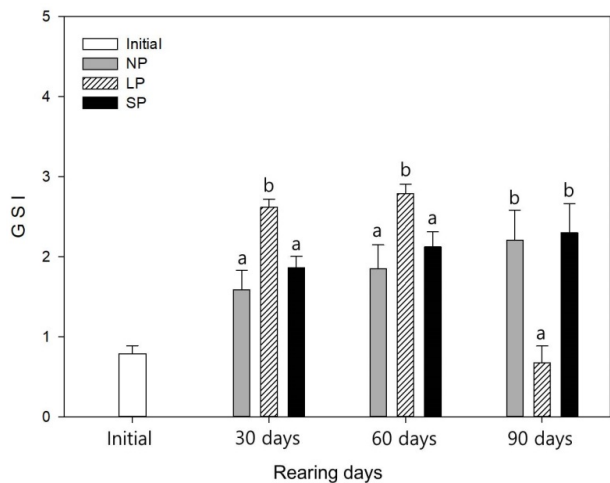


Fig 2. Effect of various photoperiods on gonadosomatic index (GSI) of male small yellow croaker *L. polyactis*. The data are represented as the mean \pm SEM (n=7). The different letters indicate statistically significant differences between groups ($p < 0.05$).

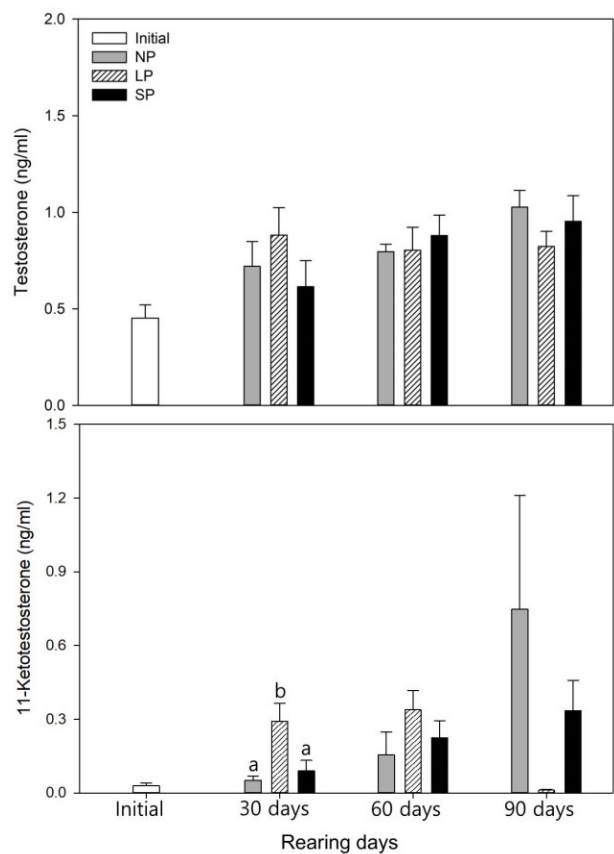


Fig 3. Change in sex steroid hormone (T, 11-KT) levels of male small yellow croaker *L. polyactis* under various photoperiods. The data are represented as the mean \pm SEM (n=7). The different letters indicate statistically significant differences between groups ($p < 0.05$).

와 SP 실험구보다 LP 실험구가 유의하게 높았고, 실험 60일째와 90일째는 실험구 사이에 유의한 차이가 없었다.

수온이 수컷 참조기의 성성숙에 미치는 영향

GSI 및 성호르몬 변화

수온에 의한 수컷 참조기 GSI 변화를 Fig. 4에 나타냈다. 실험시작시 수컷 참조기의 GSI는 0.7±0.1, 정소의 발달단계는 성장기(Fig. 1B)였다. NT, 17°C, 21°C, 25°C 실험구의 GSI는 실험 30일째 각 3.0±0.3, 3.0±0.2, 2.0±0.2, 0.4±0.1, 실험 60일째 각 3.7±0.2, 3.0±0.2, 0.9±0.1, 0.3±0.04로 나타났다. 실험 30일째 GSI는 NT와 17°C 실험구가 21°C, 25°C 실험구보다 유의하게 높았고, 21°C 실험구는 25°C 실험구보다 유의하게 높았다. 실험 60일째는 모든 실험구에서 유의한 차이를 보였으며, NT, 17°C, 21°C, 25°C 순으로 유의하게 높았다. 정소의 조직학적 분석결과, 실험 30일째 NT와 17°C 실험구는 방정기(Fig. 1D), 21°C 실험구는 성숙기(Fig. 1C), 25°C 실험구는 퇴화기(Fig. 1E)의 발달을 보였고, 실험 60일째 NT와 17°C 실험구는 방정기(Fig. 1D), 21°C 실험구는 퇴화기(Fig. 1E)와 25°C 실험구는 미성숙기(Fig. 1A)의 발달을 보였다.

수온에 의한 수컷 참조기의 혈중 성호르몬(T, 11-KT) 변화를 Fig. 5에 나타냈다. 실험시작시 혈중 T 농도는 0.4±0.1 ng/ml였다. NT, 17°C, 21°C, 25°C 실험구의 혈중 T 농도는 실험 30일째 각 1.2±0.2, 1.8±0.4, 0.9±0.1, 1.0±0.1 ng/ml, 실험 60일째 2.5±0.7, 0.8±0.1, 0.9±0.1, 1.0±0.1 ng/ml로 나타났다. 실험 30일째 혈중 T 농도는 17°C 실험구가 다른 실험구보다 유의하게 높았고, 실험 60일째는 NT 실험구가 다른 실험구보다 유의하게 높았다.

혈중 11-KT 농도는 실험시작시 0.05±0.01 ng/ml였다. NT, 17°C, 21°C, 25°C 실험구의 혈중 11-KT 농도는 실험 30일째

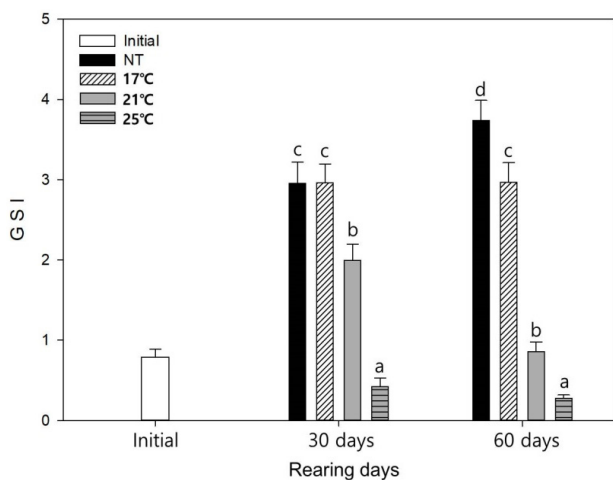


Fig. 4. Effect of various water temperatures on GSI of male small yellow croaker *L. polyactis*. The data are represented as the mean ± SEM (n=7). The different letters indicate statistically significant differences between groups (p<0.05).

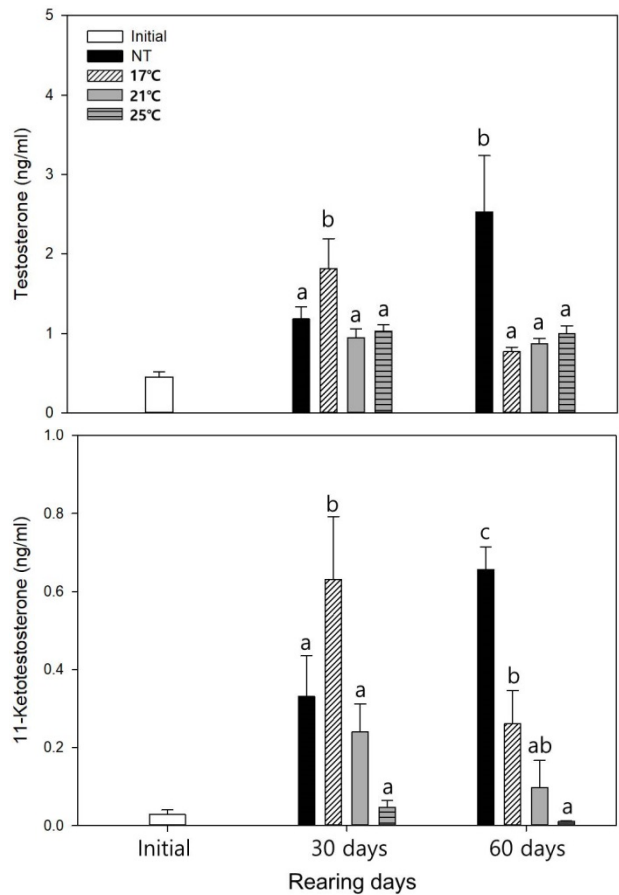


Fig 5. Change in sex steroid hormone (T, 11-KT) levels of male small yellow croaker *L. polyactis* at various water temperatures. The data are represented as the mean ± SEM (n=7). The different letters indicate statistically significant differences between groups (p<0.05).

0.33±0.10, 0.63±0.16, 0.24±0.07, 0.05±0.02 ng/ml, 실험 60일째 0.66±0.06, 0.26±0.09, 0.10±0.07, 0.01±0.003 ng/ml로 나타났다. 실험 30일째 혈중 11-KT 농도는 17°C 실험구가 다른 실험구보다 유의하게 높았고, 60일째는 NT 실험구가 다른 실험구보다 유의하게 높았으며, 17°C 실험구는 25°C 실험구보다 유의하게 높았다.

고 찰

본 연구는 환경조건이 수컷 참조기의 성성숙에 미치는 영향을 알아보고자, 광주기와 수온 조절에 따른 GSI, 혈중 성호르몬 농도 및 생식소 조직발달 변화를 조사하였다.

광주기 조건을 달리하여 실험한 결과, GSI는 실험 30일째와 60일째에 LP 실험구가 다른 실험구보다 유의하게 높았고, 90일째는 LP 실험구가 다른 실험구보다 유의하게 낮게 나타났다. 실험 30일째와 60일째 GSI가 높았던 LP 실험구의 정소 발달단계는 정소 내강에 변태된 정자들로 가득 찬 방정기였

고, NP와 SP 실험구의 정소 발달단계는 대부분 정세포로 이루어져 있으며 생식세포들이 발달단계별로 포낭을 형성한 성숙기였다. 실험 90일째 GSI가 낮았던 LP 실험구의 정소 발달단계는 일부 잔존 정자들이 존재하지만 대부분 방출되어 정소 내강이 비어있는 퇴화기였고, NP와 SP 실험구의 정소 발달단계는 이전과 비슷하게 성숙기로 유지되었다. 따라서 수컷 참조기의 GSI와 정소 조직발달은 광주기에 영향을 받았으며, 정소 조직의 발달과 함께 GSI 변화가 수반되는 것을 확인할 수 있었다.

혈중 T 농도는 실험기간 동안 실험구 사이에 유의한 차이가 없었다. 혈중 11-KT 농도는 실험 30일째에 LP 실험구가 다른 실험구보다 유의하게 높았으나, 실험 60일째와 90일째는 실험구 사이에 유의한 차이가 없었다. 수컷의 정소 발달과 정자형성과정은 T와 11-KT의 복합적인 작용에 의해 조절되며[19, 25], T는 11 β -hydroxy-steroid dehydrogenase (11 β -HSD)에 의해 11-KT로 전환되고[11], 11-KT는 정원세포 증식[2], 정자형성과정[19] 및 배정[32]에 관여한다고 알려져 있다. 이와 같은 T와 11-KT의 호르몬 대사로 미루어 볼 때, 실험구 사이에 혈중 T 농도의 유의한 차이가 없었던 원인은 혈중 T가 11-KT로 전환되었기 때문으로 생각되나, 본 연구에서는 성호르몬 대사에 관한 연구가 수행되지 않아 추후 이에 대한 구체적인 연구가 필요할 것으로 보인다. 또한, 실험 30일째 다른 실험구보다 LP 실험구의 혈중 11-KT 농도가 유의하게 높았고, 이와 같은 혈중 11-KT 농도 증가는 정소 조직발달과 GSI 증가에 영향을 주었다고 판단된다. 타 어종의 연구로 Homnoroko (*Gnathopogon caeruleus*)와 black sea bass (*Centropristis striata*)에서도 장일주기에서 GSI, 혈중 T와 11-KT 농도가 증가하여, 본 연구와 유사한 결과를 보였다[12, 21]. 따라서 수컷 참조기의 성성숙은 광주기에 영향을 받았으며, NP와 SP 같은 단일주기보다 LP와 같은 장일주기에서 촉진되는 것으로 생각된다. 그러나 광주기가 성성숙에 미치는 영향은 생식소 발달단계에 따라 차이를 보인다고 알려져 있어[1, 9], 추후 광주기가 미성숙기, 성숙기, 방정기 및 퇴화기 단계에서 미치는 영향도 조사할 필요가 있다고 생각된다.

수온 실험에서 광주기 조건은 선행연구[15]에서 성성숙 유도에 효과적이었던 14L:10D로 설정하였으며, 실험기간은 실험 60일째 GSI가 최고치를 나타낸 후 90일째 감소하였기 때문에 60일로 설정하여 실험을 진행하였다. 그 결과, GSI는 실험 30일째 NT와 17 $^{\circ}$ C 실험구가 21 $^{\circ}$ C, 25 $^{\circ}$ C 실험구보다 유의하게 높았고, 21 $^{\circ}$ C 실험구가 25 $^{\circ}$ C 실험구보다 유의하게 높았다. 실험 60일째는 NT, 17 $^{\circ}$ C, 21 $^{\circ}$ C, 25 $^{\circ}$ C 순으로 유의하게 높게 나타났다. 정소 조직의 발달단계는 NT와 17 $^{\circ}$ C 실험구는 실험 30일째와 60일째 모두 방정기, 21 $^{\circ}$ C 실험구는 실험 30일째 성숙기, 실험 60일째 퇴화기로 나타났다. 25 $^{\circ}$ C 실험구는 실험 30일째 퇴화기, 60일째 대부분 정원세포로 구성되어있는 미성숙기로 나타나 GSI 변화는 정소 조직의 발달과 같은 경향을 보였다.

혈중 11-KT 농도는 실험 30일째 17 $^{\circ}$ C 실험구가 다른 실험구보다 유의하게 높았고, 실험 60일째는 NT 실험구가 다른 실험구보다 유의하게 높았으며, 17 $^{\circ}$ C 실험구는 25 $^{\circ}$ C 실험구보다 유의하게 높았다. 수온은 어류 뇌하수체의 GtH 생산 및 체내 11 β -hydroxy-steroid dehydrogenase (11 β -HSD) 활성화에 영향을 주며[23, 29], 성성숙 적정 범위 밖의 수온에서는 뇌하수체의 GtH 생산, 생식소의 GtH 수용체(receptor) 발현과 11 β -HSD 활성화가 감소한다고 보고되었다[17, 22]. 본 연구에서 25 $^{\circ}$ C 실험구는 11 β -HSD 활성화가 감소하여 11-KT 농도가 낮게 유지된 것으로 생각되나, 추후 수온에 따른 11 β -HSD 활성 변화에 대한 연구가 수반되어야 할 것으로 생각된다. 타 어종의 연구에서도 수컷 Homnoroko (*Gnathopogon caeruleus*)는 16 $^{\circ}$ C보다 24 $^{\circ}$ C의 고수온에 노출시 GSI와 혈중 T 농도가 감소하고[21], Round stingray (*Urobatris halleri*)도 18-20 $^{\circ}$ C보다 고수온인 25 $^{\circ}$ C에 노출시 혈중 T 농도가 감소한다고 보고되었다[20]. 또한, 수컷 Pejerrey (*Odontesthes bonariensis*)의 경우에도 19 $^{\circ}$ C, 23 $^{\circ}$ C와 27 $^{\circ}$ C 수온에 노출시 수온이 높을수록 GSI, 혈중 T 및 11-KT 농도가 감소하여, 본 연구와 유사한 결과를 보였다[10, 26]. 따라서 수컷 참조기의 성성숙 유도는 17 $^{\circ}$ C 이하의 수온이 효과적이고, 25 $^{\circ}$ C 이상의 수온은 성성숙을 억제하는 것으로 판단된다. 그러나 추후 수온 조건에 따른 GtH 생산, GtH 수용체 발현, 11 β -HSD 활성화 및 15 $^{\circ}$ C 이하의 수온이 성성숙에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

본 연구결과, 수컷 참조기의 성성숙은 광주기와 수온에 의해 영향을 받았다. 수컷 참조기는 단일주기보다 장일주기(LP, 14L:10D)에서 성성숙이 촉진되었고, 25 $^{\circ}$ C 이상의 수온에서는 성성숙이 억제되는 것으로 나타났다. 추후 정소 발달 시기에 따른 광주기의 영향과 15 $^{\circ}$ C 이하의 수온조건이 성성숙에 미치는 영향 등이 구명된다면, 참조기 번식생리학 연구를 위한 기초자료로 유용하게 이용될 것이라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국립수산물과학원 연구사업(R2021039)의 지원을 받아 수행되었습니다.

The Conflict of Interest Statement

The authors declare that they have no conflicts of interest with the contents of this article.

References

- Almeida, F. F. L., Taranger, G. L., Norberg, B., Karlsen, Ø., Bogerd, J. and Schulz, R. W. 2009. Photoperiod-modulated testis maturation in atlantic cod (*Gadus morhua*, L.). *Biol. Reprod.* **80**, 631-640.

2. Amer, M. A., Miura, T., Miura, C. and Yamauchi, K. 2001. Involvement of sex steroid hormones in the early stages of spermatogenesis in Japanese huchen (*Hucho perryi*). *Biol. Reprod.* **65**, 1057-1066.
3. Baik, C. I., Cho, K. D., Lee, C. I. and Choi, K. H. 2004. Oceanographic conditions of Eishing Ground of Yellow Croaker (*Pseudosciaena polyactis*) in Korean Waters. *J. Kor. Fish. Soc.* **37**, 232-248.
4. Baek, H. J., Kim, Y., An, C. M., Cho, K. C., Myeong, J. I. and Lee, N. J. 2000. Effect of hormonal treatment of induced maturation and ovulation in the spotted halibut, *Verapser variegatus*. *J. Aquac.* **13**, 47-53.
5. Bonga, S. W. 1997. The stress response in fish. *Physiol. Rev.* **77**, 591-625.
6. Campos-Mendoza, A., McAndrew, B. J., Coward, K. and Bromage, N. 2004. Reproductive response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to photoperiodic manipulation; effects on spawning periodicity, fecundity and egg size. *Aquaculture* **231**, 299-314.
7. Cho, K. C. 2007. Seedling production of *Larimichthys polyactis*. Ph. D. dissertation, Pukyong National University, Busan, Korea.
8. Davie, A., Porter, M. J., Bromage, N. R. and Migaud, H. 2007. The role of seasonally altering photoperiod in regulating physiology in Atlantic cod (*Gadus morhua*). Part I. Sexual maturation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **64**, 84-97.
9. Davies, B. and Bromage, N. 2002. The effects of fluctuating seasonal and constant water temperatures on the photoperiodic advancement of reproduction in female rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* **205**, 183-200.
10. Elisio, M., Chalde, T. and Miranda, L. A. 2012. Effects of short periods of warm water fluctuations on reproductive endocrine axis of the pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) spawning. *Comp. Biochem. Physiol. A. Mol. Integr. Physiol.* **163**, 47-55.
11. Elisio, M., Chalde, T. and Miranda, L. A. 2015. Seasonal changes and endocrine regulation of pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) spermatogenesis in the wild. *Gen. Comp. Endocrinol.* **15**, 236-243.
12. Howell R. A., Berlinsky D. L. and Bradley, T. M. 2003. The effects of photoperiod manipulation on the reproduction of black sea bass, *Centropristis striata*. *Aquaculture* **218**, 651-669.
13. Kang, D. Y., Jo, K. C., Lee, J. H., Kang, H. W., Kim, H. C. and Kim, G. H. 2006. Annual reproductive cycle of wild female yellow croaker, *Larimichthys polyactis*. *J. Aquac.* **19**, 188-196.
14. 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*. *J. Aquac.* **22**, 5-10.
15. Kim, H. W., Kim, J. H., Jung, M. H., Ji, S. C., Baek, H. J., Myeong, J. I. and Kim, D. J. 2019. Effects of the photoperiod on the sexual maturation of the small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*). KOFFST International Conference 2019. November 7-8. Busan, Korea.
16. Lee, C. H., Hur, S. W., Kim, B. H., Soyano, K. and Lee, Y. D. 2020. Induced maturation and fertilized egg production of the red spotted grouper, *Epinephelus akaara*, using adaptive physiology of photoperiod and water temperature. *Aquac. Res.* **51**, 2084-2090.
17. Lim, B. S., Kagawa, H., Gen, K. and Okuzawa, K. 2003. Effects of water temperature on the gonadal development and expression of steroidogenic enzymes in the gonad of juvenile red seabream, *Pagrus major*. *Fish. Physiol. Biochem.* **28**, 161-162.
18. Lubzens, E., Young, G., Bobe, J. and Cerdà, J. 2010. Oogenesis in teleosts: how fish eggs are formed. *Gen. Comp. Endocrinol.* **165**, 367-389.
19. Miura, T., Yamauchi, K., Takahashi, H. and Nagahama, Y. 1991. Hormonal induction of all stages of spermatogenesis *in vitro* in the male Japanese eel (*Anguilla japonica*). *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* **88**, 5774-5778.
20. Mull, C. G., Lowe, C. G. and Young, K. A. 2008. Photoperiod and water temperature regulation of seasonal reproduction in male round stingrays (*Urobatis halleri*). *Comp. Biochem. Physiol. A. Mol. Integr. Physiol.* **151**, 717-725.
21. Okuzawa, K., Furukawa, K., Aida, K. and Hanyu, I. 1989. Effects of photoperiod and temperature on gonadal maturation, and plasma steroid and gonadotropin levels in a cyprinid fish, the Honmoroko *Gnathopogon caeruleus*. *Gen. Comp. Endocrinol.* **75**, 139-147.
22. Okuzawa, K. and Gen, K. 2013. High water temperature impairs ovarian activity and gene expression in the brain-pituitary-gonadal axis in female red seabream during the spawning season. *Gen. Comp. Endocrinol.* **194**, 24-30.
23. Pankhurst, N. W. and Porter, M. J. R. 2003. Cold and dark or warm and light: variations on the theme of environmental control of reproduction. *Fish. Physiol. Biochem.* **28**, 385-389.
24. Ridha, M. T. and Cruz, E. M. 2000. Effect of light intensity and photoperiod on Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. seed production. *Aquac. Res.* **31**, 609-617.
25. Schulz, R. W., de França, L. R., Lareyre, J. J., LeGac, F., Chiarini-Garcia, H., Nobrega, R. H. and Miura, T. 2010. Spermatogenesis in fish. *Gen. Comp. Endocrinol.* **165**, 390-411.
26. Soria, F. N., Strüssmann, C. A. and Miranda, L. A. 2008. High water temperatures impair the reproductive ability of the pejerrey fish *Odontesthes bonariensis*: effects on the hypothalamic-gonadal axis. *Physiol. Biochem. Zool.* **81**, 898-905.
27. Statistics Korea. 2019. The status of fish catch. <http://kostat.go.kr>
28. Suquet, M., Normant, Y., Gaignon, J. L., Quemener, L. and Fauvel, C. 2005. Effect of water temperature on individual reproductive activity of pollack (*Pollachius pollachius*). *Aquaculture* **243**, 113-120.
29. Tsai, C. L., Chang, S. L., Wang, L. H. and Chao, T. Y. 2003. Temperature influences the ontogenetic expression of aromatase and oestrogen receptor mRNA in the developing tilapia (*Oreochromis mossambicus*) brain. *J. Neuroendocrinol.* **15**, 97-102.
30. Tobin, D. and Wright, P. J. 2011. Temperature effects on female maturation in a temperate marine fish. *J. Exp. Mar.*

- Biol. Ecol.* **403**, 9-13.
31. Tort, L. 2011. Stress and immune modulation in fish. *Develop. Comp. Immunol.* **35**, 1366-1375.
 32. Ueda, H., Kambegawa, A. and Nagahama, Y. 1985. Involvement of gonadotrophin and steroid hormones in spermiation in the amago salmon, *Oncorhynchus rhodurus*, and goldfish, *Carassius auratus*. *Gen. Comp. Endocrinol.* **59**, 24-30.
 33. Webb, M. A., Van Eenennaam, J. P., Doroshov, S. I. and Moberg, G. P. 1999. Preliminary observations on the effects of holding temperature on reproductive performance of female white sturgeon, *Acipenser transmontanus* Richardson. *Aquaculture* **176**, 315-329.
 34. Weltzien, F. A., Taranger, G. L., Karlsen, Ø. and Norberg, B. 2002. Spermatogenesis and related plasma androgen levels in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Comp. Biochem. Physiol. A. Mol. Integr. Physiol.* **132**, 567-575.
 35. Weltzien, F. A., Andersson, E., Andersen, Ø., Shalchian-Tabrizi, K. and Norberg, B. 2004. The brain - pituitary - gonad axis in male teleosts, with special emphasis on flatfish (Pleuronectiformes). *Comp. Biochem. Physiol. A. Mol. Integr. Physiol.* **137**, 447-477.

초록 : 광주기와 수온이 양식산 수컷 참조기(*Larimichthys polyactis*) 성성숙에 미치는 영향

김효원^{1,3} · 김정현¹ · 박진우¹ · 백혜자² · 김대중^{1*}

(¹국립수산과학원 제주수산연구소, ²부경대학교 자원생물학과, ³국립수산과학원 남해수산연구소)

본 연구는 환경요인이 성숙기 발달단계의 양식산 수컷 참조기(*Larimichthys polyactis*)의 성성숙에 미치는 영향을 알아보려고 광주기와 수온에 따른 GSI, 정소 발달 및 혈중 성호르몬 변화를 조사하였다. 실험 1 : 광주기를 자연광주기(Natural Photoperiod, NP, 10L:14D~11L:13D), 장일주기(Long Photoperiod, LP, 14L:10D), 단일주기(Short Photoperiod, SP, 10L:14D)로 설정하였고, 수온은 17°C로 설정하여 90일간 실험하였다. 그 결과, GSI는 실험 30일째와 60일째, 혈중 11-KT 농도는 실험 30일째에 LP 실험구에서 다른 실험구보다 유의하게 높게 나타났다. 실험 2 : 수온을 자연수온(Natural temperature, NT, 19.1~15.0°C), 17°C, 21°C, 25°C로 설정하였고, 광주기는 14L:10D로 설정하여 60일간 실험하였다. 그 결과, GSI는 실험 30일째와 60일째, 혈중 11-KT 농도는 실험 60일째에 25°C 실험구에서 다른 실험구보다 유의하게 낮게 나타났다. 따라서 수컷 참조기는 단일주기(10L:14D)보다 장일주기(14L:10D)에서 성성숙이 촉진되고, 25°C 이상의 수온에서는 성성숙이 억제되는 것으로 생각된다. 이러한 결과는 참조기 번식생리학 연구를 위한 기초자료로 유용하게 이용될 것이라 기대된다.