

양식산 참조기, *Larimichthys polyactis*의 생식잠재력 및 자연산란을 통한 2, 3세대 수정란 생산 특성

강희웅 · 황인준[†] · 한종철^{*}

국립수산과학원(연구관) · [†]·^{*}국립수산과학원(연구사)

Reproductive Capacity, and Production Characteristics of Fertilization Eggs in Second and Third Generation by Natural Spawning of Cultured Broodstock Small Yellow Croaker, *Larimichthys polyactis*

Hee-Woong KANG · In Joon HWANG[†] · Jong Cheol HAN^{*}

National Institute of Fisheries Science(senior researcher) · [†] · ^{*}National Institute of Fisheries Science(researcher)

Abstract

This study investigated the reproductive capacity of the 1st generation of cultured broodstock small yellow croaker, *Larimichthys polyactis*, and the characteristics of fertilized egg production through natural spawning of 2nd and 3rd generation broodstock. Matured ovaries for had a fair of asymmetric crystovarian structure. Cultured females broodstock grow faster than males at the same age, the relationship between body weight (BW) and total length (TL) of female was expressed as $BW = 92.293TL^{0.1378}$ ($r^2=0.2324$). The range for fecundity was 35,844~87,778 individuals (TL and BL of broodstock were 19.0~23.0 cm and 101.8~214.1 g, respectively) and gonadosomatic index (GSI) was 29.8~40.8. Natural spawning of cultured 2nd generation broodstock (3 years old) was maintained for 18~33 days by different supplied feed type (extruded pellet combine with shrimp, grounded fish feed (control) and moist pellet). The highest floating rate (27.3%) was observed in the moist pellet feed group, while spawning volume (2,728 mL) was found in the shrimp feed group. Natural spawning of cultured 3rd generation broodstock (2 years old) was maintained for 40 days, and the spawning volume (4,466 mL) and floating rate (67.0%) were improved compared to those of 2nd generation (3 years old). These results suggest that reproductive capacity of cultured small yellow croaker was better than that of wild stock and it was increased as the generation progresses with domestication.

Key words : *Larimichthys polyactis*, Floating rate, Natural spawning, Reproductive capacity

I. 서론

참조기(*Larimichthys polyactis*)는 농어목 민어과 (Family Sciaenidae)에 속하며 우리나라 서해 특산 어종으로 알려져 있으며 가장 비싼 어종 중 하나로 알려져 있다(NFRDI, 2011). 우리나라 연근해

어업 참조기 어획량은 1970년 31,765톤, 1990년 27,890톤, 2000년 19,630톤, 2020년 41,039톤으로 2000년대 초반에는 감소하다가 최근 증가 추세를 보이지만, 상품성이 높은 큰 개체의 어획량은 감소하고 있는 실정이다(KOSIS, 2022). 최근에는 인공 종자생산이 가능해져 전남 여수, 경남 통영,

[†] Corresponding author : 032-745-0711, astraroth@korea.kr

* 이 논문은 2023년도 국립수산과학원 수산시험연구사업 양식생물 자연재해 피해 판별기술 연구(R2023041)에 의해 연구되었음.

제주 등 지역에서 해상가두리식과 육상수조식을 이용하여 양식하고 있으며, 양식생산량은 2014년 16톤, 2017년 70톤, 2020년에는 112톤으로 집계되었다(KOSIS, 2022).

참조기에 관한 국내 연구는 연령과 성장(Chung, 1970; Hwang and Choi, 1980; Kim et al., 2006), 번식 생태(Park, 1981; Kang et al., 2006; Kang et al., 2009; Lim et al., 2010), 어장 분포와 해황(Yang and Cho, 1982; NFRDI, 2010), 계군분석(Kim et al., 2010; Kim et al., 2012) 등 생리생태 및 자원관리 관련 연구가 대부분을 차지하고 있다. 참조기 양식관련 연구는 조기류 생산기술 연구(MST, 1993), 초기 난발생 및 자치어 사육연구(Myoung et al., 2004), 종자생산 기술개발(MOF, 2006; JeollaNamdo IOFS, 2011), 자연산과 양식산의 영양분석(Kang et al., 2010), 참조기 및 수조기 미성어의 계절별 성장 경향과 저수온 내성(Kang et al., 2012a), 광주기와 수온이 수컷 참조기 성숙에 미치는 영향(Kim et al., 2021) 등이 보고되어 있다. 국외에서는 계군분석(Wang et al., 2009), 유전적 다양성(Xiao et al., 2009)의 일부 연구만이 보고되어 있다. 최근에는 제주도에 육상수조식 양식 넓치의 대체 품종으로, 전남 영광군은 자연산 어획 생산의 대체를 목적으로 양식기술을 지속적으로 개발 중에 있다.

자연산 참조기는 위 내용물이 새우류가 주종을 이루고 있으며(MOF, 2006), 2세대 어미관리 시 배합사료만으로 양성은 가능하나 안정적인 수정란이 생산되도록 성숙유도를 위해 생사료 등 부가공급이 필요하며, 먹이별 효과 분석이 요구된다.

양식산 어류의 생식소 형태, 포란수 등 생식잠재력 구명은 수산생물의 번식과 종 보존을 위한 중요한 기초 자료이다(Kang et al., 2015). 어미의 정밀한 번식주기 조절은 성공적인 양식산업을 위한 기본 요소이다(Boccanfuso et al., 2019). 아직까지 인공 생산된 참조기 종자를 어미화하여 실내 수조에서 자연산란하여 수정란을 생산한 연구사례는 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 참조기의

주요 어장인 영광 앞바다에서 어획한 자연산 어미를 이용하여 인공종자를 생산한 뒤 어미화하여 서해안 지역특산 양식 대상종 개발 및 제주도 양식 넓치 대체 품종 개발을 목적으로 양식산 참조기의 생식소 형태, 포란수 등 생식잠재력과 양식산 2세대, 3세대 어미의 자연산란을 통한 산란량, 부상을 등을 조사하였다.

II. 연구 방법

1. 양식산 1세대 어미의 번식 잠재능

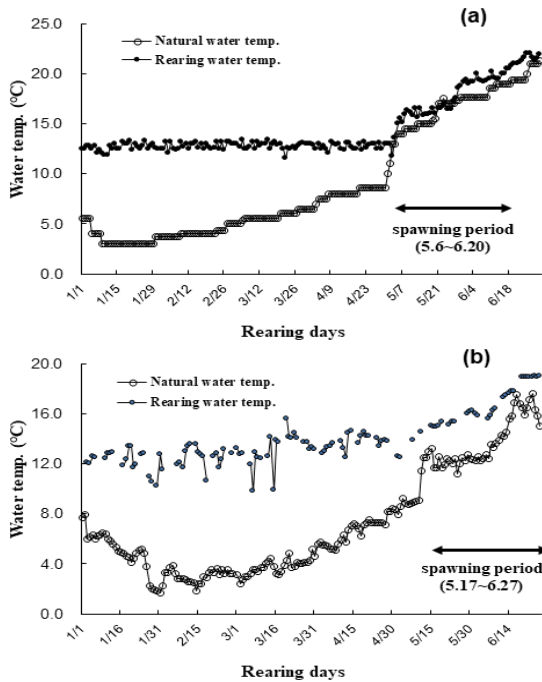
양식산 1세대 참조기 어미(2년생)의 크기에 따른 번식력을 파악하기 위해 산란기 전후(4월 21일~6월 4일)에 26마리(암컷 17, 수컷 9마리)를 대상으로 전장에 대한 체중의 관계를 조사하였다. 포란수 계산은 산란에 가담하지 않은 8마리의 난소를 해부하여 400 μm 이상의 난들을 Bagenal and Braum(1987) 및 Kang et al.(2015)의 습중량법으로 계수하였다. 또한, 체중에 따른 생식소중량지수(GSI)는 $GSI = \text{생식소중량(g)} / \text{체중(g)} \times 100$ 으로 산출하였고, 난경(μm)은 petri dish (ϕ 50 mm)에 옮겨 만능투영기(V-12A, Nikon Corp, Japan)를 이용하여 30개씩 측정하였다.

2. 실험어 및 사육환경

가. 양식산 2세대 어미

양식산 2세대 어미는 전남 영광 연안에서 어획된 자연산 참조기 어미를 이용하여 인공 종자생산된 2세대를 거쳐 어미화된 개체였다. 본 연구에 사용된 2세대 어미는 3년생 개체(체중 80.0~180.0 g)로 100% 산란 가입이 가능하였다. 어미 사육은 원형콘크리트 수조(ϕ 5 m, 수용적 14톤) 3개를 이용하여 각각 150마리(10.7마리/㎡)를 수용하였다. 먹이별 시험구는 3개로 배합사료+새우 공급구, 배합사료+생사료(멸치) 공급구(대조구), 배합사료+MP 공급구의 3개를 설정하여 3월부터 산란 후까지 공급하면서 사육하였다. 수

온은 11.5~22.0℃로 가온하였으며, 이 기간 동안 염분은 30.0~32.0 psu, DO는 7.0 mg/L 이상 유지하였다([Fig. 1 a]).



[Fig. 1] Changes in water temperature during rearing and spawning period of second (a) and third generation (b) cultured broodstock, *L. polyactis*.

나. 양식산 3세대 어미

양식산 3세대 어미(2년생)는 2세대 어미에서 수정란을 생산하여 부화·성장·성숙하여 어미화된 개체였다(자연산 어미(2005년) → 양식산 1세대 어미(2007) → 양식산 2세대 어미(2009) → 양식산 3세대 어미(2011년)). 어미 크기는 암컷 전장 22.4±1.2 cm(체중 129.3±24.6 g), 수컷 전장 20.8±1.4 cm(체중 85.3±19.8 g)였다. 어미 사육은 원형 콘크리트 수조(수용적 10톤)를 이용하여 총 450마리(45마리/m³)를 수용하였다. 월동기(12~4월) 수온은 12~14℃로 가온하였다([Fig. 1 b]).

사료는 월동기 및 사육기에는 넙치용 부상 배합사료를 1일 2회 공급하며, 산란기 이전인 2월

부터 산란종료 시까지는 배합사료에 비타민제 등으로 영양 보충과 신선한 새우를 공급하였고, 주산란기에는 새우만을 단독 공급하였다. 사육 기간 염분은 30.0~32.5 psu, DO는 7.0 mg/L 이상, pH는 7.8~8.0이었다.

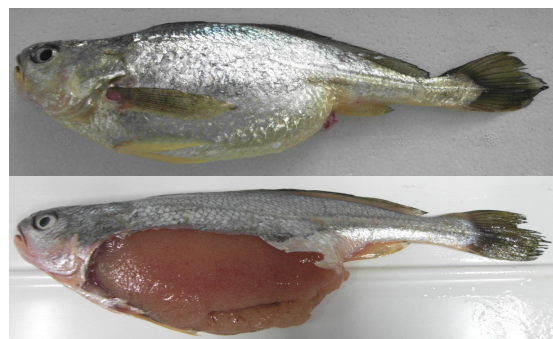
3. 자연산란 유도

양식산 2세대 및 3세대 어미 사육 수조의 조도는 100 lux 이하의 낮은 조도의 조명으로 09:00 ~ 18:00까지 점등 후 소등하여 산란하는 어미들이 놀라지 않도록 안정시켜 자연산란을 유도하였다. 수정란 채집은 18시경 어미 사육수조에 채란망(φ 60×H 45 cm, 망목크기 700 μm)을 설치하여 중앙배수관을 통해 배출된 난을 다음 날 아침 9시까지 수거하였다. 수정란은 여과 해수로 여러 번 세란한 후 표면적이 넓은 2 L 비이커에 수용하여 부상란과 침강란을 분리하여 부상란만을 선별하여 부상율을 계산하였다.

Ⅲ. 연구 결과

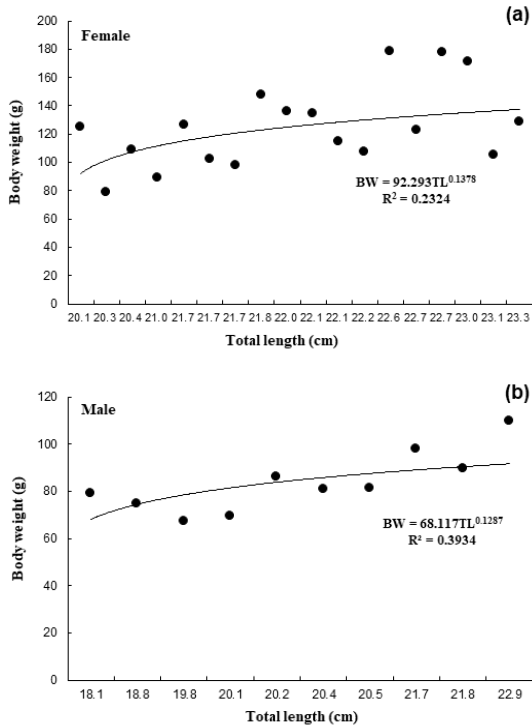
1. 번식 잠재능

양식산 1세대 참조기 암컷 어미(2년생)는 5월이 되면 성숙하여 외형적으로 복부가 팽만하고 가로 줄무늬가 선명하게 나타났다.



[Fig 2] External feature of ripe ovary from cultured female broodstock, *L. polyactis*.

성숙한 난소는 좌우 비대칭 1쌍의 낭상형으로 복강의 배측의 후방부에 위치하며 비뇨생식공과 연결되어 있었다. 난소 안에는 완숙기 세포군들과 성장기 세포군이 혼합하여 나타났고, 성숙한 난소는 살색을 띠었다([Fig. 2]).

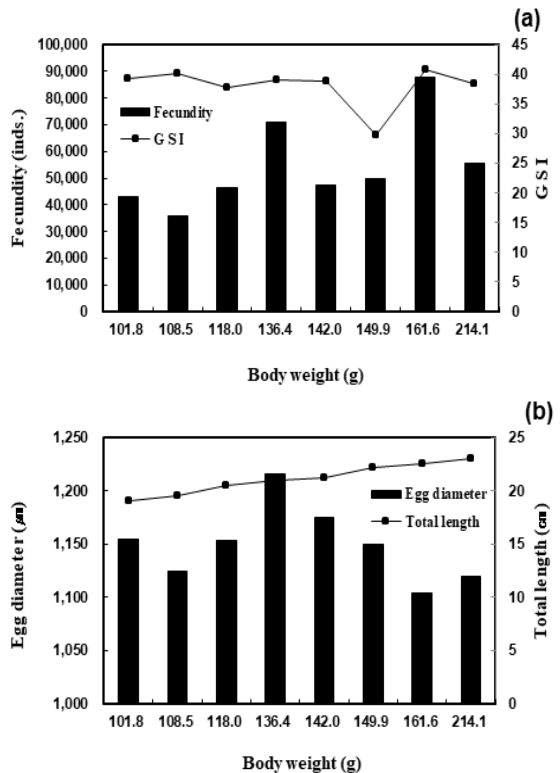


[Fig. 3] Relationship between body weight and total length of female (a) and male (b) broodstock during spawning period.

양식산 1세대 참조기(2년생)의 번식력을 알기 위하여 산란기 전후(4~6월)에 암컷 17마리와 수컷 9마리를 대상으로 전장에 대한 체중과의 관계를 조사한 결과, 동일 연령의 참조기 어미는 암컷이 수컷에 비해 크기가 큰 것으로 나타났다. 참조기 암·수컷의 체중 증가는 전장의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 체중(BW)과 전장(TL) 과의 관계는 암컷이 체중(BW) = $92.293TL^{0.1378}$ ($r^2=0.2324$)였고, 수컷은 $BW = 68.117TL^{0.1287}$ ($r^2=0.3934$)로 산출되었다([Fig. 3

a, b]).

산란기 동안 산란에 가입하지 않은 성숙한 양식산 1세대 어미(2년생)의 포란량은 크기에 따라 차이가 나타났으며, 암컷(전장 19.0~23.0 cm, 체중 101.8~214.1 g) 마리당 포란량은 35,844~87,778개였으며, 생식소중량지수(GSI)는 29.8~40.8, 난경은 1,104~1,206 μm 였다([Fig. 4 a, b]).



[Fig 4] Fecundity and GSI (a), egg diameter and total length (b) according to body weight of cultured female broodstock, *L. polyactis*.

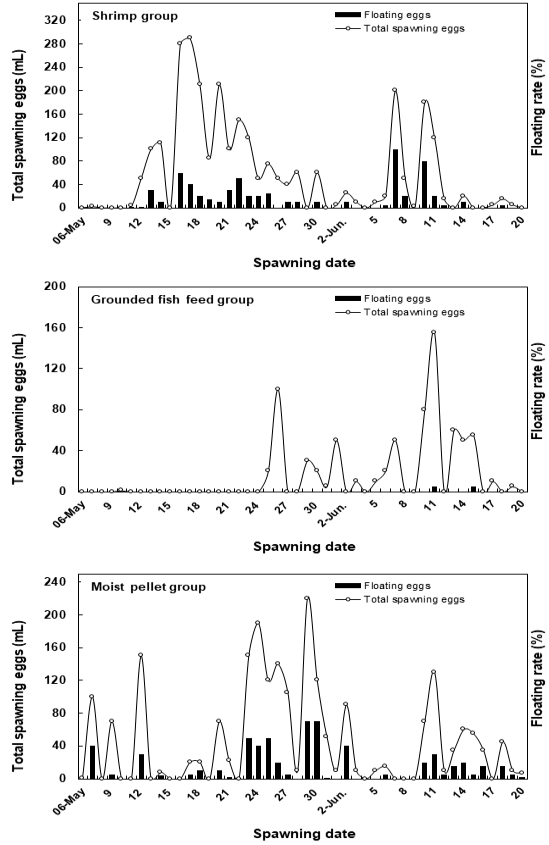
2. 양식산 2세대 참조기 어미의 자연산란

2세대 참조기 어미(3년생)의 자연산란은 각 수조당 150마리를 수용한 먹이별 3개 실험구(새우, 생사료(대조구) 및 습사료 공급구)에서 2010년 5월 6일부터 6월 20일까지 45일간 이루어졌으며 ([Fig. 5]), 새우 공급구에서 34일로 가장 오래 지속되었다(<Table 1>).



[Fig. 5] Fertilized eggs by natural spawning of second generation cultured broodstock, *L. polyactis*.

산란기간 중 수온은 15.1~21.0℃로 산란 후기에는 가온하여 높게 유지하였다([Fig. 1]). mL당 수정란 수는 650개였다. 공급 먹이별 총 산란량은 새우 공급구가 2,728 mL로 생사료 (731 mL) 및 MP 공급구 (2,159 mL) 보다 높게 나타났고, 산란량은 새우 공급구가 산란 초기에, 생사료 공급구는 산란 후기에, MP 공급구는 산란 중기에 가장 많이 나타났다. 최종 부상율은 MP 공급구가 27.3%, 새우 공급구 22.6%, 생사료 공급구 1.4% 순이었다(<Table 1>, [Fig. 6]).



[Fig. 6] Volume of spawned eggs and floating rates from second generation cultured broodstock, *L. polyactis* by different feed type.

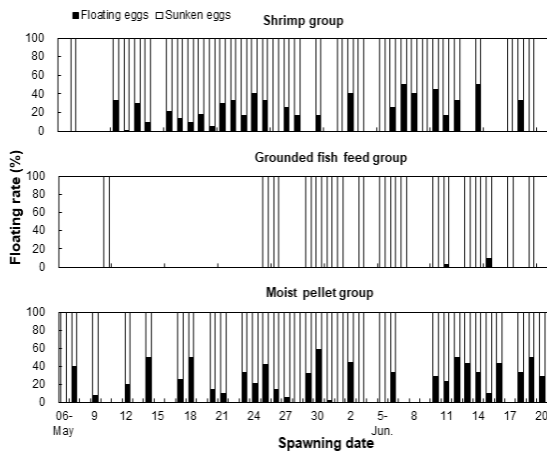
<Table 1> Total spawning volume and floating rate during spawning season of second and third generation cultured broodstock, *L. polyactis* by different feed type

Broodstock origin	Supplied feed	Broodstock number	Spawning period (days)	No. of spawned eggs (mL*)	Floating eggs	
					Volume (mL)	Rate (%)
Second generation	Shrimp ¹	150	7 th May~ 19 th June 19 (34)	2,728	617	22.6
	Grounded fish feed ²	150	10 th May~ 19 th June (18)	731	10	1.4
	Moist pellet ³	150	6 th May~ 20 th June (33)	2,159	589	27.3
Third generation ⁴	Mixed ⁴	450	17 th May~ 27 th June (40)	4,466	2,994	67.0

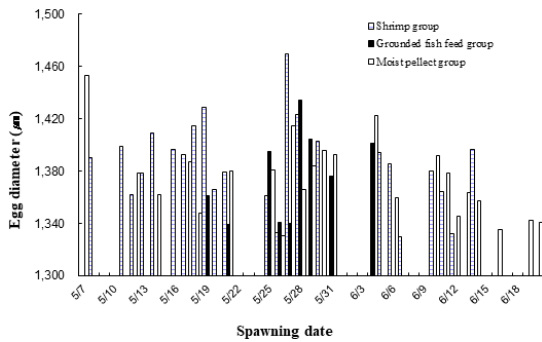
* 1 mL = 650 individuals in second generation, 600 individuals in third generation,

1: frozen shrimp, 2: frozen anchovy, 3: fish meal+shrimp powder, 4: extruded pellet+frozen shrimp+vitamin supplements

산란 일자별 부상율은 생사료 공급구를 제외하고 산란 후기로 갈수록 감소 경향을 보였다(Figs. 6, 7). 수정란의 난경은 1,340.9~1,469.8 μm 이었으며, 먹이별 3개 실험구의 난경 변화는 산란 초기·중기에 비해 산란후기로 갈수록 크기가 감소하였다(Fig. 8).



[Fig. 7] The ratio of floating eggs and sunken eggs by natural spawning of second generation cultured broodstock, *L. polyactis* by different feed type.



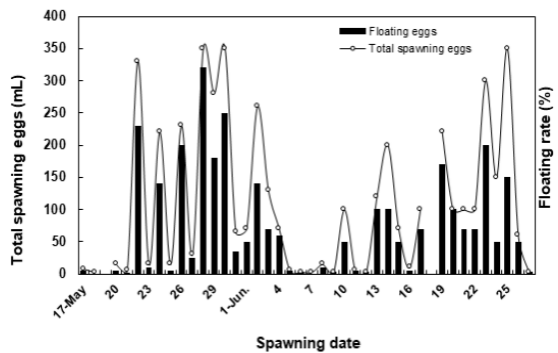
[Fig. 8] Changes in egg diameter during natural spawning period of second generation cultured broodstock, *L. polyactis* by food type.

3. 양식산 3세대 참조기 어미의 자연산란

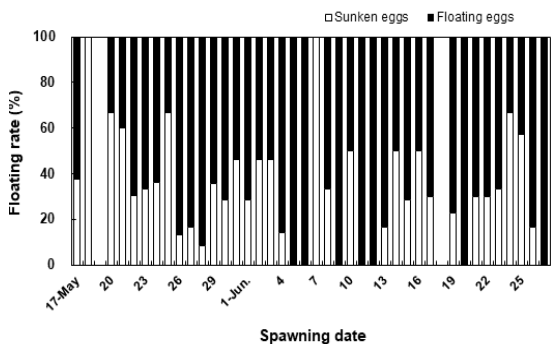
양식산 3세대 어미(2년생)는 4월 초순부터 암

컷의 복부가 팽만해져 암수 구별이 쉬웠다. 산란은 주로 19시부터 22시 사이에 이루어졌으며, 수정란의 난경은 1,300~1,500 μm 로, 평균 직경이 500 μm 인 유구를 한 개 가지고 있었다. 3세대 어미(450마리)의 자연산란은 2011년 5월 17일부터 6월 27일까지 40일간 진행되었다. mL당 수정란 수는 600개였다. 총 산란량은 4,466 mL이었으며, 2,994 mL가 부상하여 최종 부상율은 67.0%였다(<Table 1>).

자연산란은 5월 28~30일에 가장 많은 양이 산란되었고, 6월 23~25일에 2차로 다시 증가 경향을 보였다. 일간 부상율은 산란 중기에 가장 많이 나타났다(Figs. 9, 10).



[Fig. 9] Volume of spawned eggs and floating rates from third generation cultured broodstock, *L. polyactis*.



[Fig. 10] The ratio of floating eggs and sunken eggs by natural spawning of third generation cultured broodstock, *L. polyactis*.

IV. 결론

어류 양식 신품종을 개발하기 위해서는 우선 자연산 어미 후보군을 확보하여 실내 순치사육하면서 산란생태 및 생식잠재력 등을 파악하고 이후 수정란 생산과 인공 종자생산이 가능하다 (Kang et al., 2006). 지금까지 양식산 참조기의 자연산란에 의한 수정란 생산 연구는 거의 알려지지 않았고, 본 연구에서는 양식산 참조기 2세대와 3세대 어미의 산란생태를 비교함으로써 가축화에 따른 영향을 조사하였다.

대부분의 경골어류는 특정한 시기에 성숙·산란하며, 산란기를 중심으로 생식소의 발달 변화가 주기성을 나타낸다. 이러한 주기적인 변화는 수온 및 광주기 등 외적 환경 요인에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다 (Strüssmann et al., 1996; Kang et al., 2004; Kang et al., 2008; Kang et al., 2012b; Lim and Han, 2012; Lim et al., 2014; Kang et al., 2015). 어류의 산란형은 계절적으로 5가지 산란형(봄 산란형, 봄-여름 산란형, 여름 산란형, 가을 산란형, 겨울 산란형)으로 구분할 수 있고 (Aida, 1991), 우리나라의 참조기는 봄-여름 산란형에 속한다 (Kang et al., 2006). 경골어류의 성숙한 난소는 나상형(gymnovarian type)과 낭상형(crystovarian type)으로 구분되며, 참조기 (Kang et al., 2006)의 난소 형태는 쥐노래미, *Hexagrammos otakii* (Kang et al., 2004)와 황복, *Takifugu obscurus* (Kang et al., 2008), 동갈돛돔, *Hapalogenys nitens* (Kang et al., 2015) 등과 유사하게 좌우로 분리된 한 쌍의 비대칭 낭상형에 속한다.

인공 종자생산 후 어미화된 참조기 어미(2년생)의 암·수 크기는 NFRDI(2011)가 보고(암컷 평균체중 129.3±24.6 g, 수컷 평균체중 85.3±19.8 g)한 것과 같이 본 연구에서도 동일 연령에서 암컷의 성장이 빠른 경향을 보였으며, 암·수 성비는 32.7:57.3%를 보였다.

산란기를 간접적으로 추정하기 위한 지표로 이

용되는 GSI는 본 연구에서 양식산 1세대 암컷(2년생)이 산란기 전후(4월말~6월초)에 29.8~40.8으로 NFRDI(2011)이 보고한 17.2~23.5%보다 높게 나타났다. 또한 자연산 참조기에서 5월(최고값 13.45)보다 매우 높은 값을 보여 자연산 참조기보다 양식산 참조기에서 GSI가 높은 경향을 보였다. 자연산 암컷(체중 65.2~115.0 g)의 산란 전 개체별 포란수는 28,268~44,951개(MOF, 2006)로 본 연구인 양식산 암컷(체중 101.8~214.1 g)의 35,844~87,778개보다 적게 나타났으며, 이는 양식산 개체의 체중이 큰 것으로 생각되며, 체중 증가에 따라 포란수도 증가경향을 보였다. 자연산 참조기 포란량은 전장 20 cm 전후(체중 120 g 전후)에서 12,000~13,000개, 전장 30 cm 전후(체중 270 g 전후)에서 30,000~70,000개로 나타나 (Park, 1981; JeollaNamdo IOFS, 2011) 역시 본 연구의 양식산 참조기 어미의 포란량이 높게 나타났다. 따라서, 양식산 참조기 1세대(2년생)의 실내 성숙 및 자연산란에 의한 GSI와 포란수 등의 번식력이 자연산 개체에 비해 높은 것을 확인하였다.

경골어류의 성 성숙은 다양한 환경 요인(수온, 염분, 빛, 사육밀도 등)의 복합적인 신호에 반응한 Brain-Pituitary-Gonad (BPG) axis에 의해 조절되며, 이 중 광주기와 수온이 주요인으로 알려져 있다 (Lim et al., 2003; Tobin and Wright, 2011; Weltzien et al., 2004; Kim et al., 2021). 또한, 호르몬 투여 등 내분비 조절을 통한 산란 유도 방법도 다양한 어종을 통해 연구되었으나, 핸들링에 의한 스트레스, 질병 감염 및 면역 저하로 인한 폐사, 난질 저하, 수정란 생산량 감소 등의 문제가 발생할 수 있다고 알려져 있어 (Baek et al., 2000; Bonga, 1997; Tort, 2011), 양식산 참조기의 안정적인 수정란 생산을 위해서는 환경조절을 통한 성숙 유도 기술 확보가 필요하다 (Kim et al., 2021). 본 연구에서는 월동기 및 산란기 가온을 통해 자연산란을 유도하였으며, 세대별 번식능 개선 여부를 비교하였다.

이전 연구에서 참조기 산란유도 시 호르몬 (LHRH-a; des-Gly10[D-Ala6]-luteinising hormone releasing hormone ethylamide; Sigma, USA) 주사를 하면 만 48시간 안에 자연산란을 시작하여 약 4~5일 만에 종료되는 반면(MOF, 2006; JeollaNamdo IOFS, 2011) 본 연구에서는 먹이와 환경조절을 통해 33~40일간 유지되는 것을 확인하였다. 참조기 산란 유도는 호르몬 주사보다 적정 먹이와 수온, 광주기 등 환경조절을 통한 자연산란을 유도하는 것이 어미의 폐사 없이 우량 수정란을 생산할 수 있었다. 호르몬 주사는 일시에 많은 양의 수정란을 얻을 수 있더라도 주사 후 산란 직전 스트레스로 많은 어미가 폐사하거나 산란하지 못한 개체가 폐사하는 등 약 20%의 폐사율이 보고되어 있어(NFRDI, 2011), 자연산란을 유도하는 것이 어미의 폐사 없이 안정적으로 우량 수정란을 생산할 수 있는 것으로 확인되었다.

양식산 참조기 어미의 세대별 자연산란은 2세대 참조기(3년생)가 먹이별로 18~34일간, 3세대 참조기(2년생)가 40일간 이루어져 3세대(2년생) 참조기에서 산란기간이 길게 나타났다(<Table 1>). 총 산란량은 2세대에서는 배합사료+새우 공급구가 2,728 mL로 가장 많았으며, 3세대 참조기는 4,466 mL로 나타나 어미의 사육밀도가 총 450마리로 2세대(150마리)보다 3배 많아 산란량도 증가한 것으로 생각되며, 동일한 개체수를 가정했을 때는 2세대의 산란량이 3세대보다 더 많은 것으로 추정된다(3세대: 1,489 mL/150마리). 최종 부상율은 2세대는 1.4~27.3%였으나, 3세대는 67.0%를 나타내, 2세대에서 부상율이 가장 낮은 생사료 공급구를 제외하고도 부상율은 3세대에서 3배 이상 높게 나타났다. 이러한 세대별 자연산란에 의한 산란기간, 산란량과 수정란의 부상율 차이는 산란 유도를 위한 사육 수온 차이(2세대: 11.5~22.0℃, 3세대 9.8~19.0℃), 어미의 연령(2세대: 3년생, 3세대: 2년생) 그리고 세대를 거치며 가축화(domestication)에 의한 변식능의 개선으로

생각된다. 본 연구에서 세대를 거듭해 가장 개선된 내용은 3세대에서 부상율이 77.0%로 높아졌고, 자연산 어미를 이용하여 호르몬(GnRH, HCG)을 주사해 산란((MOF, 2006)한 부상율 52.3%보다 24% 이상 좋은 결과를 보였다.

참조기 산란기에는 신선한 새우만을 단독 공급하는 것이 좋으며, 한 번에 삼킬 수 있는 크기의 첫새우를 가장 선호하였다. 양식산 3세대 수정란 생산은 기존 1, 2세대 참조기에서 생산된 수정란보다 먹이 및 환경조절에 의해 부상율이 향상된 우량 수정란이 생산된 것으로 볼 수 있다. 기존 배합사료만을 단독 공급할 경우, 평균 부상율은 4.3% 정도로 매우 낮았다. 산란 개시 3개월 전인 2월부터 양질의 새우와 비타민제를 혼합하여 계속 공급한 것이 1세대(미발표자료), 2세대 어미보다 부상율(난질) 향상에 큰 효과를 나타냈다.

참조기 전 주기 양식을 위해서는 여러 세대를 거친 양식산 어미를 이용해야 먹이붙임 및 성장 촉진을 기대할 수 있다. 서해안 영광 등 갯벌지역에서 어획한 자연산 참조기 어미의 생존율은 0.2~30.0%로 매우 낮아(NFRDI, 2011; JeollaNamdo IOFS, 2011), 안정적인 참조기 어미군 확보를 위해서는 여러 세대를 거친 어미 중에서 성장이 빠른 개체의 선별이 필요하다. 향후 자연산란된 수정란의 난질 분석 등을 위해 먹이 종류에 따른 지방산, 아미노산 분석과 부화율 확인 등 세밀한 연구가 필요할 것으로 보인다. 본 연구를 통해 양식산 참조기 어미의 암수 크기, 난소 형태, 포란수, 생식소중량지수 등 생식잠재력을 구명하였고, 양식산 2, 3세대 어미의 자연산란을 통한 수정란 생산과 부상율을 조사하여 참조기 전 주기 양식과 산업화 연구를 위한 기초자료로써 활용될 것으로 기대된다.

References

- Aida K(1991). Environmental regulation of reproductive rhythms in teleostes. Bull. Inst Zool Academia

- Sinica Monograph 16, 173~187.
- Baek HJ, Kim Y, An CM, Cho KC, Myeong JI and Lee NJ(2000). Effect of hormonal treatment of induced maturation and ovulation in the spotted halibut, *Verapser variegatus*. J Aquac 13(1), 47~53.
- Bagenal TB and Braum E(1987). Eggs early life history. In. E. Richer (editor). methods for assesment of fish production in fresh water. 165~210 (Int. Bio. programme) Hand b. 3.
- Boccanfuso JJ, Arisitizabal Abud EO and Berrueta M(2019). Improvement of natural spawning of black flounder, *Paralichthys orbignyanus* (Valenciennes, 1839) by photothermal and salinity conditioning in recirculating aquaculture system. Aquacul 502, 134~141.
- Bonga SW(1997). The stress response in fish. Physiol Rev 77, 591~625.
- Chung SC(1970). Age and growth of the yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* JORDAN et THOMPSON, in the Western coastal waters of Korea. Bull Korean Fish Soc 3(3), 154~160.
- Hwang BI and Choi SH(1980). Age and growth of the yellow croaker, *Pseudosciaena manchurica* JORDAN et THOMPSON, in the yellow Sea and East China Sea. Bull Natl Fish Res Dev Inst 23, 171~187.
- JeollaNamdo Institute of Ocean and Fisheries Science. 2011. An easy to understand of small yellow croaker culture. 51.
- Kang DY, Jo KC, Lee JH, Kang HW, Kim HC and Kim GH(2006). Annual reproductive cycle of wild female yellow croaker, *Larimichthys polyactis*. J Aquac 19(3), 188~196.
- Kang HW, Chung EY, and Kim JH(2004). Sexual maturation and spawning characteristics in greenling, Hexagrammos otakii of the west coast in Korea. J Kor Aquar Soc 17(1), 30~38.
- Kang HW, Chung EY, Kang DY, Park YJ, Jo KC and Kim GH(2008). Gonadal maturation and spawning of river puffer *Takifugu obscurus* indoor cultured in low salinity. J Aquacult 21(4), 331~338.
- Kang DY, Cho KC, Lee JH, Kang HW, Kim GH and Kim HC(2009). Annual reproductive cycle of Korean yellow croaker *Larimichthys polyactis*. J Aquac 22(1), 5~10.
- Kang HW, Shim GB, Cho YJ, Kang DY, Cho KC, Kim JH and Park KJ(2010). Biochemical composition of the wild and cultured yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in Korea. Kor J Fish Aquat Sci 43(1), 18~24.
- Kang HW, Kang DY, Han HS and Cho KC(2012a). Growth and cold temperature tolerance of cultured juvenile small yellow croaker, *Larimichthys polyactis* and yellow drum, *Nibea albiflora*. Korean J Ichthyol 24(1), 41~47.
- Kang HW, Lim HG, Kang DY, Han HS, Do YH and Park JS(2012b). Maturation and spawning of the female tongue sole, *Cynoglossus semilaevis* in the west coast in Korea. Dev Reprod 2, 87~93.
- Kang HW, Cho JK, Son MH, Hong CG, Park JY and Kim SH(2015). Gonadal maturation, fecundity and reproductive potential of the indoor cultured grunt, *Hapalogenys nitens*. JFMSE 27(4), 990~997. <http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2015.27.4.990>
- Kim YH, Lee SK, Lee JB, Lee DW and Kim YS(2006). Age and growth of small yellow croaker, *Larimichthys polyactis* in the South Sea of Korea. Korean J Ichthyol 18(1), 45~54.
- Kim JK, Kim YH, Kim MJ and Park JY(2010). Genetic diversity, relationships and demographic history of the small yellow croaker, *Larimichthys polyactis* (Pisces: Sciaenidae) from Korea and China inferred from mitochondrial control region sequence data. Ani Cel Syst, 1, 45~51.
- Kim JK, Min GS, Yoon MG, Kim YH, Choi JH, Oh TY and Ni Y(2012). Genetic structure of *Larimichthys polyactis* (Pisces: Sciaenidae) in the Yellow and East China Seas inferred from microsatellite and mitochondrial DNA analyses. Ani Cel Syst 1, 1~8.
- Kim HW, Kim JH, Park JW, Baek HJ and Kim DJ (2021). Effects of photoperiod and water temperature on male sex steroid levels in cultured small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*). J Life Sci 31(3), 314~320. <https://doi.org/10.5352/JLS.2021.31.3.314>
- KOSIS(2022). Fishery production survey. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EW0004&conn_path=I3
- Lim BS, 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.
- Lim HK, Le MH, An CM, Kim SY, Park MS and Chang YJ(2010). Reproductive cycle of yellow croaker *Larimichthys polyactis* in Southern waters of Korea. *Fish Sci* 76, 971~980.
- Lim SG and Han CH(2012). Effect of water temperature and photoperiods on gonadal development in banded catfish *Pseudobagrus fulvidraco*. *JFMSE* 24(6), 854~861.
- Lim SG, Kim YS, Baek JM, Han HK, Cho YC, and Kang YJ(2014). Effect of photoperiods on sexual maturation in spotted seabass, *Lateolabrax maculatus*. *JFMSE* 26(5), 935~940.
<http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2014.26.5.935>
- Ministry of Oceans and Fisheries(2006). Technology development of the hatchery-based seed production of small yellow croaker, *Larimichthys polyactis*. 203.
- MST (1993). Study on the production techniques for Sciaenids (III). Final report 309.
- Myoung JG, Kim YU, Park YJ, Kim PK, Kim JM and Huh HT(2004). Embryonic development, larvae and juveniles of the small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) reared in aquarium. *J Kor Fish Sci* 37(6), 478~484.
- National Fisheries Research and Development Institute(2010). Ecology and fishing ground of fisheries resources in Korean Waters. Yemunsa, 384.
- National Fisheries Research and Development Institute(2011). Development of culture techniques for the aquaculture of small yellow croaker, *Larimichthys polyactis*. Report of NFRDI. 50.
- Park CS(1981) Maturation and spawning of yellow croaker, *Larimichthys polyactis* of the West coast of Korea. *Bull Natl Fish Res Dev Inst* 27, 93~101.
- Strüssmann CA, Takashima F and Toda K(1996). Sex differentiation and hormonal feminization in pejerrey *Odontesthes bonariensis*. *Aquacult* 139, 31~45.
- Tort L(2011). Stress and immune modulation in fish. *Develop Comp Immunol* 35, 1366~1375.
- Tobin D and Wright PJ(2011). Temperature effects on female maturation in a temperate marine fish. *J Exp Mar Biol Ecol* 403, 9~13.
- Wang XL, Li DP, Meng XG and Qiu X.M(2009). A panel of polymorphic EST-derived microsatellite loci for the small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*). *Conserv Genet* 10, 1629~1631.
- Weltzien FA, 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.
- Xiao YS, Zhang Y, Gao TX, Yanagimoto T, Yabe M and Sakurai Y(2009). Genetic diversity in the mtDNA control region and population structure in the small yellow croaker *Larimichthys polyactis*. *Environ Biol Fish* 85, 303~314.
- Yang SK and Cho KD(1982) The relationship between oceanographic condition and fishing ground distribution of yellow croaker in the East China Sea and the Yellow Sea. *Bull Korean Fish Soc* 15(1), 26~34.

-
- Received : 04 May, 2023
 - Revised : 31 May, 2023
 - Accepted : 08 June, 2023