

능성어(*Hyporthodus septemfasciatus*)의 산업적 양식을 위한 수정란 대량생산

박충국*

전라남도 해양수산과학원 해양수산과학관

The Mass Production of Fertilized Eggs for Industrial Aquaculture of the Convict Grouper *Hyporthodus septemfasciatus*

Chung-Kug Park*

Maritime and Fisheries Science Museum, Yeosu 59771, Korea

The mass production of fertilized eggs of the convict grouper *Hyporthodus septemfasciatus* was studied from 2013 to 2020 for industrial aquaculture. The experiment was divided into two groups. Group 1 broodstock was raised from wild-caught fry and used from 2013 to 2020. Group 2 broodstock was raised from artificially propagated fry and used from 2019 to 2020. Males used to collect sperm for artificial insemination weighed more than 7 kg. The effects of various hormones on artificial ovulation were investigated from 2013 onward. Among these, luteinizing hormone-releasing hormone analogue (LHRHa) at 100 µg/kg body weight showed the most effective results and was used for artificial egg collection from 2014 onward. In Group 1, the average total egg production per year, average egg production per individual, fertilization rate, and hatching rate were 26,143 mL, 609.7 mL, 93.3%, and 91.8%, respectively, and in Group 2, were 2,750 mL, 316.5 mL, 92.1%, and 90.4%, respectively. Based on these results, we showed that a large number of fertilized eggs for artificial seeding could be produced consistently. Moreover, the mass production of fertilized eggs in Group 2 establishes a foundation for the complete aquaculture cycle of *H. septemfasciatus*.

Keywords: *Hyporthodus septemfasciatus*, Grouper, Mass production, LHRHa, Ovulation

서론

국내에 서식하는 바리과(Family Serranidae) 어류는 12속 27종으로(Kim et al., 2005), 능성어(*Hyporthodus septemfasciatus*), 붉바리(*Epinephelus akaara*) 및 자바리(*Epinephelus bruneus*) 등은 주요 양식품종으로 각광 받고 있다. 또한 열대와 아열대 해역인 동남아시아를 중심으로 산업적 양식이 이루어지고 있음에도 불구하고, 아직까지 양식기술개발과 생산량이 매우 낮은 실정이다(Kohno et al., 1993; Harikrishnam et al., 2012). 동남아시아의 능성어류 양식과 기술개발 현황을 보면 대만은 1980년대 인공종묘생산 기술개발을 시작으로 1990년대 연간 2,000만 마리 이상 대량 종묘생산 체제를 구축하여 2013년 25,946톤을 생산하였으며, 중국은 대만산 종묘를 입식하여 2013년 82,434톤의 능성어류를 생산하여 아시아에서 가

장 높은 양식생산량을 기록하였다(Wullur et al., 2011; FAO, 2015). 우리나라는 2003년에 능성어 인공종묘 생산의 가능성이 확인된 이후 산업화를 위한 대량생산까지는 이루어지지 못하고 있다. 국내외 능성어 수정란 생산 및 종묘 생산에 대한 연구는 유어의 성장과 형태(Miyailara et al., 1989), 난 발생 및 자치어 형태발달(Kitajima et al., 1991), 번식기술개발(Lee and Go, 2003), 난소발달과 성숙배란유도(Shein et al., 2004), 성전환 유도(Song et al., 2005), 자치어 기형(Nagano et al., 2007) 및 초기생활사(Park et al., 2014), 바이러스성 질병 발생 및 사례(Kim et al., 2012; Won et al., 2017), 어미 크기 및 복부팽만도에 따른 배란유도 효과(Cho et al., 2016), 사육조건에 따른 수정란의 난질 및 아미노산 조성(Kim et al., 2016) 등이 보고되었다.

어류의 성 성숙은 환경요인인 수온과 일장에 의해 영향을 받는 것으로 알려졌다(Aida, 1991). 능성어 수정란 생산에 필요한

*Corresponding author: Tel: +82. 61. 644. 4136 Fax: +82. 61. 644. 4137

E-mail address: kug0313@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.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0031>

Korean J Fish Aquat Sci 54(1), 31-37, February 2021

Received 4 January 2021; Revised 26 January 2021; Accepted 29 January 2021

저자 직위: 박충국(연구사)

성 성숙 양상 및 그 시기는 아열대 지역인 대만과 우리나라는 서로 다를 수 있어 국내에서 사육한 능성어로부터 수정란을 생산기술이 선행되어야 한다. 지금까지 국내의 능성어 수정란 생산에 대한 연구와 실험은 실험실 규모의 수준에 머물렀을 뿐만 아니라 일시적 연구가 수행되었고 지속적으로 진행되지 않고 있다. 본 연구는 산업적 규모의 능성어 양식 및 지속 가능한 완전양식을 위해 어미집단 육성 및 수정란 대량생산을 성공적으로 수행한 2006년부터 2020년까지의 연구결과를 종합하였다.

재료 및 방법

실험어

능성어 어미집단은 Group 1과 Group 2로 구분하여 사용하였다. Group 1 (Wild caught fingerling derived broodstock)은 2006년 8월 전남 여수시 거문도 해역의 통발어업으로부터 약 1,100마리 치어를 구입 후 해상가두리(10×10×5 m)에서 7년 동안 양성하여 2013년부터 2020년까지 실험에 사용하였다. Group 2 (Artificial seedling fry derived broodstock)는 2014년 Group 1에서 생산된 수정란으로부터 만들어진 인공종묘를 입식하고 5년간 관리하여 2019년과 2020년 어미집단으로 사용하였다.

호르몬 종류에 따른 효과조사 및 수정란 평가

Group 1을 대상으로 2013년도에 적정 호르몬 종류 및 농도 구명을 위해 성숙한 암컷에서 호르몬 투여에 의한 배란효과를 조사하였다. 호르몬은 salmon GnRHa (gonadotropin releasing hormone agonist) and Domperidone (Ovaprim, Syndel, Canada), luteinizing hormone releasing hormone analogue (LHRHa; Sigma, USA) 및 LHRHa pellet 3종을 사용하였다. 호르몬 농도는 Ovaprim 0.5 mL/kg, LHRHa 100 µg/kg 및 200 µg/kg 2개 구간과 Lee et al. (1986) 방법으로 제작된 LHRHa pellet 400 µg/kg을 사용하였으며 어체 1극조 하부 등 근육에 주사하였다.

주사 후 가두리(5×5×5 m)에 실험 구간별로 수용하였고, 24시간부터 48시간까지 복부팽만 상태를 관찰하여 성숙 및 배란이 유도된 개체로 추정되는 개체는 복부압박법으로 채란하고

건식법으로 수정시켰다. 수정란은 입체현미경(Nikon NM-40, Tokyo, JAPAN)하에서 채란 현장에서 수정 유무를 확인하여 수정률을 조사하였고, 수온 20±0.5°C, 염분 33.4±0.2 psu에서 관리하였다. 부화율은 종묘생산업체에 공급 후 현장에서 부화율을 확인하였다. 인공수정에 사용된 정액은 성체 수컷으로부터 확보하였으며, 수컷은 평균 전장 79.4±1.9 cm, 평균 체중 7.8±0.4 kg 개체들을 사용하였다.

수정란 대량 생산

Group 1: 2013년도에 결과를 바탕으로 효과가 가장 좋았던 LHRHa 100 µg/kg을 암컷에 주사하고 채란 및 수정란 생산에 대해 2014년부터 2020년까지 조사하였다. 어체의 전장과 체중을 측정하였으며, 채란량은 총 채란량 및 개체별 채란량으로 산정하였다. 난질 평가는 수정률과 부화율로 나타냈으며, 최대 생산가능 종묘수는 연평균 채란량×mL당 난수×평균 수정률(%)×평균 부화율(%)로 산정하였다.

정액을 채취한 수컷은 2014년 평균 전장 80.2±1.2 cm, 평균 체중 8.2±0.5 kg였으며 매년 성장하여 2020년 평균 전장 93.8±3.2 cm, 평균 체중 10.4±1.2 kg에 달하였다.

Group 2: 2014년 Group 1에서 생산된 수정란으로부터 만들어진 인공종묘를 입식하고 5년간 관리 후 LHRHa 100 µg/kg을 암컷에 주사하여 채란 및 수정란 생산에 대해 2019년부터 2020년까지 조사하였다. 어체의 전장과 체중을 측정하였고, 채란량은 총 채란량 및 개체별 채란량으로 산정하였다. 난질 평가는 수정률과 부화율로 나타냈으며, 정액을 채취한 수컷은 Group 1 집단을 이용하였다.

결 과

호르몬 종류별 배란유도

호르몬 종류와 농도에 따른 배란유도 효과를 조사하였다 (Table 1). Ovaprim 0.5 mL/kg, LHRHa 100 µg/kg, LHRHa 200 µg/kg, LHRHa pellet 400 µg/kg 모든 실험구에서 배란유도가 확인되었다. 총 채란량은 Ovaprim 0.5 mL/kg 3,430 mL, LHRHa 100 µg/kg 4,650 mL, LHRHa 200 µg/kg 4,550 mL, LHRHa pellet 400 µg/kg 3,140 mL가 채란되어 LHRHa에서

Table 1. Effect of different hormone on the ovulation and the eggs quality in *Hyporthodus septemfasciatus*

Treatment	No. of fish	TL (cm)	BW (kg)	Number of Ovulated	Ovulation rate			Fertilization rate (%)	Hatching rate (%)
					Total amount of eggs (mL)	Fertilization eggs (mL)	Individual (mL)		
Ovaprim (0.5 mL/kg)	10	58.4±2.5	5.6±2.1	5	3,430	2,330	466	42.1	52.6
LHRHa (100 µg/kg)	10	61.6±1.5	5.2±3.5	7	4,650	4,350	614	92.8	93.4
LHRHa (200 µg/kg)	10	62.3±3.1	5.5±3.5	7	4,550	4,150	593	91.2	91.2
LHRHa pellet (400 µg/kg)	10	61.8±2.8	5.4±3.5	5	3,140	1,870	374	48.6	64.8

TL, total length ; BW, body weight; LHRHa, luteinizing hormone-releasing hormone analogue.

Ovaprim, LHRHa pellet 보다 높은 채란량을 나타내었다. 개체별 채란량은 Ovaprim 0.5 mL/kg 466 mL, LHRHa 100 µg/kg 614 mL 및 LHRHa 200 µg/kg 593 mL, LHRHa pellet 400 µg/kg 374 mL 였다. 수정률은 LHRHa 100 µg/kg과 LHRHa 200 µg/kg에서 각각 92.8% 및 91.2%로 높은 수정률을 나타냈었고, 농도 간의 유의한 차이는 없었으며, LHRHa pellet 400 µg/kg 48.6%, Ovaprim 0.5 mL/kg 42.1% 순으로 나타났다. 수정란에 대한 부화율은 LHRHa 100 µg/kg에서 93.4%로 가장 높았고, Ovaprim과 LHRHa pellet 처리구가 각각 52.6% 및 64.8%로 낮게 나타나 호르몬 종류에 따른 부화율의 현저한 차이를 나타냈다. 총 채란량, 개체별 채란량, 수정률, 부화율은 LHRHa 100 µg/kg에서 가장 효과적인 것으로 나타나 2014년부터는 LHRHa 100 µg/kg 농도를 능성어 수정란 생산을 위해 사용하였다.

Group 1 수정란 생산

Group 1은 2014년부터 2020년까지 LHRHa 100 µg/kg으로 인공채란을 실시하였다(Table 2). 2014년 어미집단의 평균 전장 68.5±3.5 cm, 평균 체중 6.8±1.2 kg, 총 채란량 21,200 mL, 개체별 채란량 605.7 mL, 수정률 91.6%, 부화율 90.6% 였다. 2015년 어미집단의 평균 전장 70.1±4.2 cm, 평균 체중 7.3±0.8 kg, 총 채란량 33,600 mL, 개체별 채란량 685.7 mL, 수정률 92.2%, 부화율 90.4% 였다. 2016년 어미집단의 평균

전장 72.3±3.8 cm, 평균 체중 7.2±1.1 kg, 총 채란량 35,500 mL, 개체별 채란량 739.6 mL, 수정률 93.8%, 부화율 92.8% 였다. 2017년 어미집단의 평균 전장 75.1±2.5 cm, 평균 체중 7.9±0.7 kg, 총 채란량 32,800 mL, 개체별 채란량 713.0 mL, 수정률 93.4%, 부화율 92.1% 였다. 2018년 어미집단의 평균 전장 77.5±3.1 cm, 평균 체중 7.6±0.3 kg, 총 채란량 26,500 mL, 개체별 채란량 662.5 mL, 수정률 94.8%, 부화율 93.2% 였다. 2019년 어미집단의 평균 전장 79.2±3.4 cm, 평균 체중 8.5±1.2 kg, 총 채란량 19,900 mL, 개체별 채란량 452.3 mL, 수정률 93.9%, 부화율 91.5% 였다. 2020년 어미집단의 평균 전장 80.1±2.7 cm, 평균 체중 9.4±2.2 kg, 총 채란량 13,500 mL, 개체별 채란량 409.1 mL, 수정률 93.6%, 부화율 91.8% 였다.

개체별 채란량은 2014년부터 2016년까지 점차적으로 증가하나 2017년부터 감소하여 2019년과 2020년에는 급격히 감소하였다.

Group 2 수정란 생산

Group 2는 2016년에 선발한 어미후보군에 대해 2019년부터 2020년까지 LHRHa 100 µg/kg로 주사하고 총 채란량, 개체별 채란량, 수정률과 부화율을 조사하였다(Table 3). 어미집단은 2019년 평균 전장 47.5±2.3 cm, 평균 체중 3.74±0.3 kg이었고, 2020년에는 평균 전장 48.2±1.8 cm, 평균 체중 3.96±0.4 kg으로 2년간 전장 약 0.7 cm, 체중 약 0.22 kg 증가하였다.

Table 2. Group 1 induction of ovulation by LHRHa 100 µg/kg in *Hyporthodus septemfasciatus* from 2014 to 2020

Experiment year	No. of fish	TL (cm)	BW (kg)	Number of Ovulated	Ovulation rate				Fertilization rate (%)	Hatching rate (%)
					Individual (mL)	TL (mL)	BW (mL)	Total amount of eggs(mL)		
2014	50	68.5±3.5	6.8±1.2	35	605.7	309.5	311.8	21,200	91.6	90.6
2015	61	70.1±4.2	7.3±0.8	49	685.7	479.3	460.3	33,600	92.2	90.4
2016	60	72.3±3.8	7.2±1.1	48	739.6	491.0	493.1	35,500	93.8	92.8
2017	60	75.1±2.5	7.9±0.7	46	713.0	434.1	412.7	32,800	93.4	92.1
2018	50	77.5±3.1	7.6±0.3	40	662.5	341.9	348.7	26,500	94.8	93.2
2019	55	79.2±3.4	8.5±1.2	44	452.3	251.3	234.1	19,900	93.9	91.5
2020	41	80.1±2.7	9.4±2.2	33	409.1	198.5	143.7	13,500	93.6	91.8
Average	54	74.7±3.4	7.81±1.1	41	609.7	357.9	343.5	26,143	93.3	91.8

LHRHa, luteinizing hormone-releasing hormone analogue; TL, total length; BW, body weight.

Table 3. Group 2 induction of ovulation by LHRHa 100 µg/kg in *Hyporthodus septemfasciatus* from 2019 to 2020

Experiment year	No. of fish	TL (cm)	BW (kg)	Number of Ovulated	Ovulation rate				Fertilization rate (%)	Hatching rate (%)
					Individual (mL)	TL (mL)	BW (mL)	Total amount of eggs(mL)		
2019	11	47.5±2.3	3.74±0.3	8	310	56.8	721.9	2,700	91.8	90.3
2020	10	48.2±1.8	3.96±0.4	8	323	58.9	748.7	2,800	92.3	90.5
Average	10.5	47.9±2.1	3.85±0.3	8	316.5	57.9	735.3	2,750	92.1	90.4

LHRHa, luteinizing hormone-releasing hormone analogue; TL, total length; BW, body weight.

배란유도율은 2019년 어미집단 11마리 중 8마리가 배란 유도되어 73%, 2020년 어미집단 10마리 중 8마리가 배란 유도되어 80%로 나타났다. 총 채란량은 2019년 2,700 mL 개체별 채란량 310 mL였고, 2020년 2,800 mL 개체별 채란량은 323 mL로 나타나 채중의 증가와 더불어 채란량도 증가하는 경향을 나타내었다. 수정률과 부화율은 2019년 91.8% 및 90.3%였고 2020년에는 92.3%, 90.5%로 나타나 2년간 수정률과 부화율은 각각 90% 이상을 보였다.

고 찰

능성어는 자성선속형 자용동체로서 암컷 중에서 가장 우세한 암컷이 수컷으로 성전환을 하며 세력권 내의 다른 암컷의 성전환을 억제하여 1마리의 수컷과 다수의 암컷 집단을 형성한다. 수컷으로 성전환이 일어나는 시기는 체중 6 kg 이상이며, 세력권 내 수컷이 없을 때만 진행된다(Tsuchihashi et al., 2003). 이러한 능성어의 경우 자연적 수컷확보가 어려워 17 α -methyltestosterone (MT), 11-ketotestosterone (11-KT), testosterone (T) 등을 이용한 인위적 수컷화를 통한 채정을 하고 있다(Kuo et al., 1988; Chao and Lim, 1991; Yeh et al., 2003a, 2003b; Bhandari et al., 2004). 본 연구에서는 2006년부터 능성어 치어 1,100마리를 사육한 결과 2013년 7 kg 이상의 개체 중 암컷 50마리 중 1개체의 수컷이 출현하였으며, 매년 암컷 당 수컷의 출현 비율이 증가하여 2020년에는 암컷 15마리 중 수컷 1마리에 이르렀다(data not shown). 사육 중인 능성어 어미에서 인위적 성전환 없이 자연적인 성전환을 통한 수컷을 확보할 수 있었다. 지금까지 가두리 내 능성어 집단의 세력권 형성과 암수비율에 대해 밝혀진 것은 없으며, 이에 대한 향후 연구가 필요한 것으로 생각된다. 일반적으로 정자의 질적인 차이에 따라, 수정률은 차이가 나는 것으로 알려져 있다. 이처럼 인위적 응성화로 유도된 능성어 정자의 수정률은 56.2-94.9% (77.8 \pm 2.9%)로 보고되었으며(Song et al., 2008), 본 연구에서 수정률은 91.6-94.8% (93.3 \pm 0.7%)로 능성어 수정란 생산에 중요 요소인 수컷 어미집단의 관리 및 우수한 정액을 실험기간 동안 안정적으로 확보할 수 있었다.

산업적으로 매우 중요한 어류의 종묘생산에 있어 가장 중요한 요소 중 하나는 다량의 우량 수정란을 확보해야 하는 것이다. 하지만 능성어를 포함한 일부 바리와 어류는 어미의 사육관리 상태와 자성선속형에 따른 성비 불균형과 산란기에 부적합한 사육 수심과 같은 환경적 요인 등으로 자연산란 유도가 쉽지 않다고 알려져 있다(Toledo et al., 1993; Okumura et al., 2002). 능성어를 장기간 사육하는 동안 해상가두리 내에서 자연산란은 관찰되지 않았다.

자연 서식조건이 아닌 양식 어류의 배란 및 산란 유도를 위해서 생식소 자극호르몬의 유사체인 HCG (human chorionic gonadotropin), Ovaprim 및 뇌하수체 추출물이 이용되며, 종 자체의 생식소자극호르몬의 생성과 분비를 촉진하는 GnRH (go-

nadotropin releasing hormone)의 유사체인 다양한 LHRHa가 사용되고 있다(Tamaru et al., 1996; Hassin et al., 1997; Watanabe et al., 1998; Marino et al., 2003). LHRHa는 합성이 용이하고 어류간의 GnRH가 구조상으로 유사하여 광범위하게 사용되고 있다(Sherwood et al., 1994; Zohar and Mylonas, 2001). 어류의 배란 및 산란 유도를 위한 호르몬 처리에서는 대상 어종에 적합한 호르몬 및 적정 농도를 결정하는 것이 매우 중요하다(Soyano et al., 1993; Jang, 1996). 따라서 능성어의 배란 유도 결과 Ovaprim 0.5 mL/kg, LHRHa 100 μ g/kg, LHRHa 200 μ g/kg, LHRHa 400 μ g/kg pellet 중 LHRHa 100 μ g/kg이 가장 효과적으로 나타났다. 이와같은 LHRHa 주사에 의한 배란 유도 효과는 sea bass, black sea bass, caspian brown trout 등에서도 보고된 바 있다(Alvarino et al., 1992; Michael et al., 2007; Ahmad et al., 2010).

지속가능한 양식 산업을 위해서는 안정적인 대량의 수정란 생산이 절대적으로 확립되어야 할 선결 과제이다. 자연산 치어로부터 양성한 어미집단에서 개체별 채란량은 2014년 605.7 mL였고, 2015년 685.7 mL, 2016년 739.6 mL로 증가하다가 2017년 713.0 mL로 감소하여 2019년 452.3 mL 및 2020년 409.1 mL로 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 실험기간 동안 암컷은 2014년 전장 68.5 \pm 3.5 cm 및 체중 6.8 \pm 1.2 kg이었고, 2017년 전장 75.1 \pm 2.5 cm 및 체중 7.9 \pm 0.7 kg, 2019년 전장 79.2 \pm 3.4 cm 및 체중 8.5 \pm 1.2 kg 그리고 2020년 전장 80.1 \pm 2.7 cm 및 체중 9.4 \pm 2.2 kg로 성장하였다. 이는 성장에 따라 암컷배우자로서 능력이 증가하다가 특정 시점이 지나면 감소하는 것으로 사료되며, 이에 대한 다양한 연구가 수행되어야 할 것이다.

2014년부터 2020년까지 매년 평균 26,143 mL을 채란하였으며, 이 기간 동안 누적 채란량은 183,000 mL였고, 수정률 91.6-94.8% (평균 93.3%), 부화율 90.4-93.2% (평균 91.8%)로 나타났다. 능성어 수정란의 크기는 약 0.8 μ m 전후로 1,000 mL당 120만립으로 추산되며(data not shown), 연간 최대생산가능 종묘수=연평균 채란량 \times mL당 난수 \times 평균 수정률 \times 평균 부화율을 적용하여 26,143 mL \times 1,200립 \times 0.933 \times 0.918=26,869,587마리이다. 여기에 실제 종묘까지 생존 확률을 10%로 가정하면 약 270만 마리의 인공종묘 생산이 가능할 것이다. 양식어가 당 약 10만 마리를 입식한다고 가정하면 약 27어가는 산업적 규모의 대량 양식이 가능할 것으로 생각된다. 2019년 우리나라 양식어류 생산량은 85,217 M/T 중 넙치는 43,320 M/T (50.83%), 조피볼락 20,348 M/T (23.87%)로 지나치게 편중되어 있으며, 능성어는 145 M/T으로 전체 생산량의 0.17%를 차지하고 있어 매우 낮은 수준이다. 능성어 수정란 대량생산이 이루어지기 전인 2010년부터 2012년까지 연간 종묘입식량은 211천마리 수준이었으나 안정적인 수정란 대량 생산을 통해 2013년부터 2019년까지 연간 616천마리로 증가하였고, 2015년에는 최대 1,177천마리가 입식되었다(statistics

Korea, 2020). 이러한 결과는 수정란 대량 공급을 통한 인공종묘 생산이 가능하게 됨으로써 양식생산량이 2013년 56 M/T에서 2019년 145 M/T으로 급격히 증가한 이유는 본 연구 성과의 일부이다.

완전 양식을 위해서는 어미관리, 인공채란, 인공종묘생산 및 양성을 통한 어미집단 양성의 순환 고리가 완성되어야 한다. 본 연구에서는 이를 위해 2014년에 자연산 치어로부터 양성한 어미집단(Group 1)에서 생산된 수정란으로부터 생산한 인공종묘를 입식하여 5년간 사육하여 2019년과 2020년 어미집단으로 사용하였다. 2019년 총 채란량은 2,700 mL 및 개체별 채란량은 310 mL, 2020년 총 채란량 2,800 mL 및 개체별 채란량은 323 mL였으며, 어미집단은 2019년 평균 전장 47.5 ± 2.3 cm, 평균 체중 3.74 ± 0.3 kg였고, 2020년에는 평균 전장 48.2 ± 1.8 cm, 평균 체중 3.96 ± 0.4 kg였다. 자연산 치어로 양성한 어미집단에서 보다 종묘생산으로 만들어진 작은 어미집단에서 채란이 가능한 조기성숙의 특징을 보였다. 양식 어류의 조기 성숙은 능성어류, 참치류(tunas), 철갑상어류(sturgeons) 등에서 성숙에 오랜 기간이 소요되는 어종 종묘생산 효율성을 높일 수 있는 장점이 있다고 알려졌다(Geir et al., 2010).

본 연구는 2006년부터 2020년까지 15년 동안 능성어 수정란 대량생산에 대한 결과로서 완전 양식의 기반을 구축하였다. 수정란 대량생산 기술 확립을 통한 산업적 규모의 종묘 생산과 양식이 가능함을 보여주고 있다. 지속적인 연구 수행을 통하여 본 연구의 결과를 보다 발전 시킴으로써 전라남도과 우리나라 해산어 양식 산업에 기여하고자 한다.

사 사

이 논문은 2015-2016년도 전라남도 해양수산과학원 시험연구사업 “능성어류 인공종묘생산 기술개발”과제로 일부 수행되었으며, 본 연구를 위해 오랜기간 동안 어미관리 및 연구지원 등 많은 도움을 주신 백조수산 박영신 대표님과 만해수산 박세영 대표님께 감사의 말씀을 전합니다. 논문을 세심하게 검토해 주신 세분 심사위원께도 감사드립니다.

References

Ahmad N, Bagher MA, Alireza M and Daniel WB. 2010. LHRHa-induced ovulation of the endangered-Caspianbrown trout *Salmo trutta caspius* and its effect on egg quality and two sex steroids: testosterone and 17a-hydroxyprogesterone. *Aquac Res* 41, 871-877. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02364.x>.

Aida K. 1991. Environmental regulation of reproductive rhythms in teleostes. *Bull Inst Zool Academia Sinica Monograph* 16, 173-187.

Alvarino JMR, Carrillo M, Zanuy S, Prat F and Mananos E. 1992. Pattern of sea bass oocyte development after ovarian

stimulation by LHRHa. *J Fish Biol* 41, 965-970. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1992.tb02723.x>.

Bhandari RK, Komuro H, Higa M and Nakamura M. 2004. Sex inversion of sexually immature honerycomb Grouper *Epinephelus merra* by Aromatase inhibitor (Reproductive Biology). *Zool Sci* 21, 305-310. <https://doi.org/10.2108/zsj.21.305>.

Chao TM and Lim LC. 1991. Recent development in the breeding of grouper (*Epinephelus* spp.) in Singapore. *Singapore J Pri Ind* 19, 78-93.

Cho JK, Hong CG, Park JY, Son MH, Park JM, Han KH and Kim KM. 2016. Ovulation induction effect of sevenband grouper *Epinephelus septemfasciatus* in size and abdomen inflation degree of mother. *Korean Fish J Ichthyol* 4, 260-266.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2015. Global aquaculture production. Retrieved from <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/en> on Jan 3, 2021.

Geir LT, Manuel C, Rüdiger WS, Pascal F, Silvia Z, Alicia F, Finn-Arne W, Sylvie D, Orjan K, Birgitta N, Eva A and Tom H. 2010. Control of puberty in farmed fish. *Gen Comp Endocrinol* 3, 483-515. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.05.004>.

Harikrishnan R, Kim JS, Balasundaram C and Heo MS. 2012. Immunomodulatory effects of chitin and chitosan enriched diets in *Epinephelus bruneus* against vibrio alginolyticus infection. *Aquaculture* 25, 326-329. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.11.034>.

Hassin S, D de Monbrison Y, Hanin A, Elizur Y, Zohar Y and Popper DM. 1997. Domestication of the white grouper, *Epinephelus aeneus* 1. Growth and reproduction. *Aquaculture* 156, 305-316. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00136-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00136-1).

Jang SI. 1996. Induced ovulation by using human chorionic gonadotropin and gonadotropin-releasing hormone analogue plus pimozide in yellow puffer *Takifugu obscurus*. *Korean J Fish Aquat Sci* 9, 3-10.

Kim CS, Kim WS, Nishizawa T and Oh MJ. 2012. Prevalence of viral nervous necrosis (VNN) in sevenband grouper *Epinephelus septemfasciatus* farms. *J Fish Pathol* 25, 111-116. <http://doi.org/10.7847/jfp.2012.25.2.111>.

Kim IS, Choi Y, Lee CL, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. Illustrated book of Korean fishes. Kyo-Hak Publishing, Seoul, Korea, 276-286.

Kim KM, Cho JK, Park JY, Son MH, Park JM, Han KH and Hong CG. 2016. Egg quality and amino acid composition of fertilized eggs of sevenband grouper, *Epinephelus septemfasciatus* per farming condition. *Korean J Ichthyol* 4, 229-238.

Kitajima C, Takaya M, Tsukashima Y and Arakawa T. 1991. Development of eggs, larvae and juvenile of the grouper, *Epi-*

- nephelus septemfasciatus*, reared in the laboratory. Japanese J Ichthyol 38, 47-55. <https://doi.org/10.11369/jji1950.38.47>.
- Kohno H, Diani S and Supriatna A. 1993. Morphological development of larval and juvenile grouper, *Epinephelus fuscoguttatus*. Japanese J Ichthyol 40, 307-316. <https://doi.org/10.11369/jji1950.40.307>.
- Kuo CM, Ting YY and Yeh SL. 1988. Induced sex reversal and spawning of blue spotted grouper, *Epinephelus fario*. Aquaculture 74, 113-126. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(88\)90091-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90091-9).
- Lee YD and Go KM. 2003. Aquatic industrialization by development of reproductive technology of sevenband grouper *Epinephelus septemfasciatus*. Ministry of Oceans and Fisheries, Sejong, Korea, 1-86.
- Lee CS, Tamaru CS and Kelley CD. 1986. Technique for making chronic-release LHRH-a and 17 α -methyltestosterone pellets for intramuscular implantation in fishes. Aquaculture 59, 161-168. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(86\)90128-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(86)90128-6).
- Marino G, Panini E, Longobardi A, Mandich A, Finioia MG, Zohar Y and Mylonas CC. 2003. Induction of ovulation in captive-reared dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834), with a sustained-release GnRH α implant. Aquaculture 219, 841-858. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00036-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00036-X).
- Michael RD, Wallace EJ, David LB and Theodore IJS. 2007. A comparison of human chorionic gonadotropin and luteinizing hormone releasing hormone analogue for ovulation induction in black sea bass, *Centropristis striata* (Linnaeus, 1758). Aqua Res 38, 918-925. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01665.x>.
- Miyailara J, Arakawa T and Takaya M. 1989. Growth and morphology of young hybrids of *Epinephelus akaara* with *E. septemfasciatus* and *E. akaara* with *E. moara*. Bull NPIF 15, 5-11.
- Nagano N, Hozawa A, Fujiki W, Yamada T, Miyaki K, Sakakura Y and Hagiwara A. 2007. Skeleton development and deformities in cultured larval and juvenile sevenband grouper *Epinephelus septemfasciatus* (Thunberg). Aquac Res 38, 121-130. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01627.x>.
- Okumura SK, Okamoto RO and Nakazono A. 2002. Spawning behavior and artificial fertilization in captive reared red spotted grouper, *Epinephelus akaara*. Aquaculture 206, 165-173. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00722-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00722-0).
- Park JM, Cho JK, Han KH, Kim NR, Hwang HK, Kim KM, Myeong JI and Son MH. 2014. Early life history of the sevenband grouper *Epinephelus septemfasciatus* from Korea. Korean Dev Reprod 18, 13-23. <https://doi.org/10.12717/DR.2014.18.1.013>.
- Shein NL, Chuda H, Arakawa T, Mizuno K and Soyano K. 2004. Ovarian development and final oocyte maturation in cultured sevenband grouper *Epinephelus septemfasciatus*. Fish Sci 70, 360-365. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2004.00814.x>.
- Sherwood NM, Parker DB, McRory JE and Lescheid DW. 1994. 1. Molecular evolution of growth hormone-releasing hormone and on dotropinreleasing hormone. In: Sherwood NM, Hew CL. Eds. Fish Physiol 13, 3-66. [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(08\)60062-X](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(08)60062-X).
- Song YB, Baek HJ, Kim, HB, Lee KJ, Kiyoshi S and Lee YD. 2005. Induced sex reversal of sevenband grouper, *Epinephelus septemfasciatus* by 17 α -methyltestosterone. J Aquaculture 18, 167-172.
- Song YB, Baek HJ, Kim HB, Soyano K, Kim SJ and Lee YD. 2008. Induction of maturation and ovulation with HCG treatment in the sevenband grouper *Epinephelus septemfasciatus*. Korean J Fish Aquat Sci 21, 96-101.
- Soyano KT, Nagae SM and Yamauchi K. 1993. Effects of thyroid hormone on gonadotropin-induced steroid production in medaka, *Oryzias latipes*, ovarian follicles. Fish Physiol Biochem 11, 265-272. <https://doi.org/10.1007/BF00004574>.
- Statistics Korea. 2020. Fish farm trends survey. Retrieved from <http://kostat.go.kr/wsearch/search.jsp> on Jan 29, 2020.
- Toledo JD, Nagi A and Javellana D. 1993. Successive spawning of grouper *Epinephelus suillus* (Valenciennes), in a tank and a floating net cage. Aquaculture 115, 361-367. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90149-S](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90149-S).
- Tamaru CS, Carlstrom Jr CT, Fitzgerald WJ and Ako H. 1996. Induced final maturation and spawning of the marbled grouper, *Epinephelus microdon* capture from spawning aggregations in the republic of Palau Micronesia. J World Aquac Soc 27, 363-372. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1996.tb00621.x>.
- Tsuchihashi T, Tanaka H, Kuromiya T, Kashiwagi M and Yoshioka M. 2003. Control of induction of sex reversal in the sevenband grouper, *Epinephelus septemfasciatus*. Suisanzoshoku 51, 189-196. <https://doi.org/10.11233/aquaculturesci1953.51.189>.
- Watanabe WO, Ellis EP, Ellis SC and Feeley MW. 1998. Progress in controlled maturation and spawning of summer flounder *Paralichthys dentatus* broodstock. J World Aquac Soc 29, 393-404. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1998.tb00663.x>.
- Won KM, Lee JT, Cho MY, Kim MS, Kim NY, Jung SH and Lee NS. 2017. A case study of mortality caused by viral encephalopathy and retinopathy (VER) in cultured sevenband grouper *Epinephelus septemfasciatus* during winter. Korean J Ichthyol 29, 157-164.
- Wullur S, Sakakura Y and Hagiwara A. 2011. Application of the minute monogonont rotifer proales similis de beauchamp in larval rearing of sevenband grouper *Epinephelus septemfasciatus*. Aquaculture 315, 355-360. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.02.025>.
- Yeh SL, Kuo CM, Ting YY and Chang CF. 2003a. Androgens

stimulate sex change in protogynous grouper, *Epinephelus coioides*: spawning performance in sex-changed males. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol* 135, 375-382. [https://doi.org/10.1016/S1532-0456\(03\)00136-4](https://doi.org/10.1016/S1532-0456(03)00136-4).

Yeh SL, Dai QC, Chu VT, Kuo CM, Ting YY and Chang CF. 2003b. Induced sex change, spawning and larviculture of potato grouper *Epinephelus tukula*. *Aquaculture* 228, 371-381. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00316-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00316-8).

Zohar Y and Mylonas C. 2001. Endocrine manipulation of spawning in cultured fish: from hormones to genes. *Aquaculture* 197, 99-136. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-50913-0.50009-6>.