

Reproductive Ecology and Spawning of *Hoplobrotula armata* in the Coastal Waters of Jeju Island, Korea

Min-Sun Kim¹, Song-Hun Han¹, Jun-Chul Ko¹, Bo-Yeon Kim¹, Jung Hwa Choi² and Seung-Jong Lee^{1*}

¹Subtropical Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Jeju 63068, Korea

²Dokdo Fisheries Research Center, National Institute of Fisheries Science, Pohang 37709, Korea

Received October 16, 2023 / Revised February 6, 2024 / Accepted February 6, 2024

This study investigated the reproductive ecology and spawning of *Hoplobrotula armata* on the coast of Jeju Island. Samples were collected from February to December 2019 and February to December 2020, with a total of 2,634 samples. The results of the investigation showed that total length (TL) ranged from 22.0 cm to 68.8 cm, and the body weight (BW) ranged from 66.5 g to 3,553.9 g. According to the development process of gonads and the gonadosomatic index (GSI), the spawning period of *H. armata* was from July to October. The relationship between TL and BW was $BW = 0.0024TL^{3.3278}$ in females and $BW = 0.0035TL^{3.2162}$ in males. The sex ratios of surveyed female to male *H. armata* was 1:0.71, with more females. At 50%, 75%, and 97.5%, the group maturities of *H. armata* were as follows: Females, 39.9 cm, 42.7 cm, and 49.4 cm; males, 37.6 cm, 40.4 cm, and 46.9 cm, respectively. According to monthly GSI and gametocyte (ovarian, testis) development stage observations of *H. armata* on the coast of Jeju Island, they spawn once a year and are presumed to be summer spawners.

Key words : GSI, *Hoplobrotula armata*, Jeju Island, reproductive ecology, spawning

서 론

붉은메기(*Hoplobrotula armata*)는 침치목(*Ophidiiformes*) 침치과(*Ophidiidae*)에 속하는 어류이며, 주로 우리나라 남해 일대, 일본 남부해, 동중국해에서 깊은 수심(100~350 m)에 분포하는 저서성 어류이며 주로 저층트롤로 어획된다. 붉은메기가 속해 있는 침치과 어류는 주요 상업어종 중 하나로 수산자원으로서 가치가 높다[3].

붉은메기에 관한 선행연구로는 국외의 경우 식성, 생태학적 군집, 산란 및 연령, 유전학적 연구가 수행되었다[2, 5, 9, 12]. 그러나 국내에는 성장 및 식성에 관한 연구뿐 국내 출현하는 붉은메기의 기초 생태학적 연구는 매우 부족한 실정이다[3, 7, 10]. 어류의 기초 생식·생태학적 연구는 어류의 생활사를 이해하며 수산자원으로서의 효율적인 관리, 이용 및 평가에 정보를 제공하는 매우 중요한 연구이다[4].

따라서 본 연구는 제주 연안에서 서식하는 붉은메기의

산란 생태를 조사하여, 붉은메기의 기초 생태학적 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

시료 채집·측정 및 성비파악

본 연구에서 붉은메기 시료는 2019년 2~12월, 2020년 2~12월까지 제주 연안에서 저층트롤에 의해 어획된 개체를 사용하였다. 시료는 즉시 냉장 보관하여 실험실로 옮긴 뒤 암·수별 전장(Total length: TL) 0.1 cm, 체중(Body weight: BW) 0.1 g, 생식소 중량(Gonad weight: GW) 0.01 g까지 정밀 측정하였다. 붉은메기의 전장과 체중의 관계는 관계식($BW=aTL^b$)을 사용하여 파악하였으며, 월별 암·수 성비 차이는 chi-square test를 이용하여 검증하였다.

월별 성숙도 변화 및 생식소숙도지수(GSI)

생식소는 월별 암·수 각각 30개체씩, 총 1,320개체로 적출된 생식소의 크기, 색상, 난의 크기, 형태를 기준으로 육안으로 관찰하였으며, 성숙단계는 성장(Growing), 성숙(Mature), 완숙 및 방후(Ripe & Spawning), 회복(Recovery) 총 4단계로 구분하였다. 생식소의 성숙단계를 구별하는 기준은 다음과 같다. 성장의 경우 난입의 형태가 완전하지 않으며, 크기가 다양하다. 성숙은 생식소를 둘러싼 혈관이 발달하며 생식소의 전체적인 크기가 비대해지고, 난

*Corresponding author

Tel : +82-64-750-4360, Fax : +82-64-746-5883

E-mail : sjlee1225@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.

의 형태가 완전하고 크기가 일정하며 투명한 난도 일부 관찰되었다. 완숙의 경우 대부분의 난이 투명하고 복부 압박 시 난이 유출되며 방란이 관찰되었고, 방후는 마저 방출되지 않은 일부 완숙한 난이 소량 남아있거나, 모두 방출되어 속이 빈 형태를 띤다. 회복의 경우 난입이 관찰되지 않으며 생식소는 전체적으로 투명한 색상을 띤다. 산란기 추정을 위한 생식소속도지수(Gonadosomatic index, GSI)는 다음 식을 이용하여 구하였다.

$$[GSI = GW/BW \times 100]$$

여기서 GW (Gonad weight)는 생식소 중량(g), BW (Body weight)는 체중(g)이다.

생식소 발달의 조직학적 변화

붉은메기의 생식소 발달 과정을 조직학적으로 조사하기 위해 2019년도 어획된 시료의 생식소를 Bouin's solution (Sigma-aldrich, Korea)에 24시간 고정 한 후 24시간 수세하여 70% EtOH에 재고정하였다. 조직표본을 제작하기 위하여 생식소를 5 mm 두께로 절단하여 소편을 만들었으며, 파라핀절편법에 의해 두께 5~6 μm의 절편을 제작한 후, haematoxyline (Sigma-aldrich, Korea)과 eosin (Eosin Y-resolution 0.5% alcoholic, Sigma-aldrich, Korea)으로 비교염색하였다[6]. 이후 생식소 조직표본은 광학현미경(LEICA DMIL LED, Leica microsystems, Wetzlar, Germany)을 이용하여 검경하였다.

성성숙 전장 확인

붉은메기가 산란에 참여하는 성성숙 전장을 알아보기 위해 GSI로 산란 기간을 추측한 다음, 해당 기간 내의 암수컷들을 대상으로 성숙단계 이상 개체의 출현 비율을 Logistic식을 이용하여 다음과 같이 추정하였다[8].

$$P = \frac{1}{1 + e^{r(TL - s)}}$$

여기서 TL은 전장, p는 성숙기 이상 개체 비율, r은 상수, s는 성성숙 전장 비율이다. 붉은메기의 자원관리를 위한 과학적 기준을 제시하기 위하여 개체군의 50%, 75%,

97.5%가 성숙하는 성성숙 전장을 구하였다.

결과 및 고찰

암·수별 전장·체중 조성 및 성비

2019년 2~12월, 2020년 2~12월까지 총 2,364개체의 암수 붉은메기를 측정 한 결과 암컷은 1,381개체로 전장은 21.2~68.8 cm (평균 전장: 37.7 cm)으로 나타났으며 체중은 66.5~3,553.9 g (평균 체중: 513.3 g)으로 나타났다. 수컷은 983개체로 22.0~57.2 cm (평균 전장: 35.1 cm)으로 나타났으며 체중은 69.7~1,521.6 g (평균 체중: 378.1 g)으로 나타났다. 성비는 1:0.71(암:수)로 유의한 차이가 없었다(p>0.05).

전장과 체중의 관계식에서(BW=aTL^b), b의 값은 상대성장계수이며, 3보다 크면(b>3) 체중이 전장보다 빠르게 증가하는 양의 상대성장(Positive allometric growth)을 의미한다. 이번 제주 연안에서 출현한 붉은메기는 암컷 BW=0.0024TL^{3.3278}, 수컷 BW=0.0035TL^{3.2162}으로 3보다 크게 나타나 체중이 전장보다 더 빠른 성장을 보였다. 이 결과는 2020년 남해에서 어획된 붉은메기의 결과(b>3)와 동일하게 나타났다(Fig. 1)[7].

생식소속도지수(GSI) 변화

제주 연안에 출현하는 붉은메기의 산란기를 추정하기 위해 월별 암수의 생식소 속도지수(Gonadosomatic index) 변화를 조사하였다. 암컷의 경우 2019년도 GSI는 2~5월 0.56~0.80에서 7월에 3.00으로 증가하여 8월에 4.50으로 최댓값을 보였고, 9월부터 1.15로 감소하기 시작하여 10~12월 0.41~0.51로 나타났다. 2020년도에는 2~6월 0.59~0.76에서 7월에 1.08로 증가하여 8월에 1.69, 9월에 2.67로 최댓값을 보였고, 10월부터 1.45로 감소하기 시작하여 11~12월 0.58~0.70으로 나타났다. 수컷의 경우 2019년도 GSI는 2~5월 0.05~0.09에서 6월에 0.09, 7월에 0.10로 최댓값을 보였으며, 8월부터 0.05로 감소하기 시작하여 9~12월 0.04~0.05로 나타났다. 2020년도에는 2~7월 0.07~0.08에서

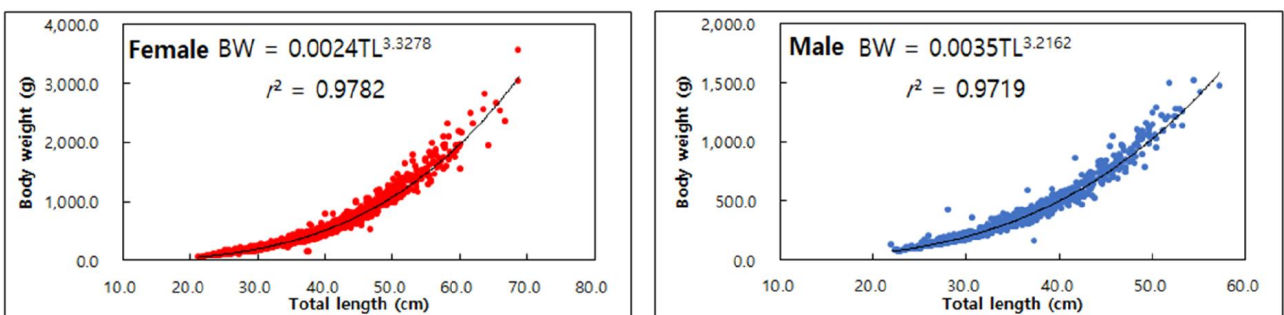


Fig. 1. Relationship between body weight and total length of *Hoplobrotula armata* during February to December 2019 and February to December 2020.

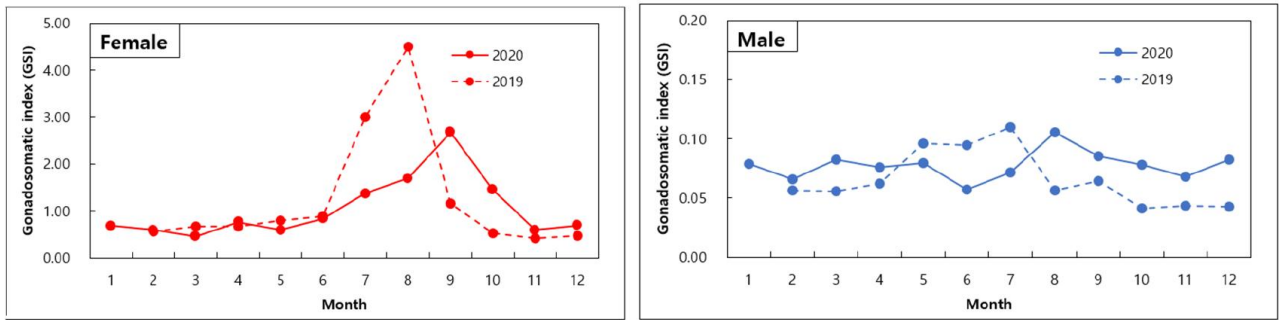


Fig. 2. Monthly gonadosomatic indices (GSI) of *Hoplobrotula armata* around Jeju Island during February to December 2019 and February to December 2020.

8월에 0.10으로 최댓값을 보였으며, 9월 0.08로 감소하기 시작하여 10~12월 0.06~0.08로 나타났다가(Fig. 2). 월별 GSI 분석결과, 암컷의 경우 2019년도 8월 2020년도 9월, 수컷의 경우 2019년 7월, 2020년도 8월에 최댓값을 보였다. 연도에 따라 1개월씩 차이가 있으나 7월부터 10월까지 비슷한 시기에 높은 GSI를 나타내었다.

생식소 발달의 조직학적 변화

암컷의 경우, 2~6월경 성장기 난소에서는 난경이 3~10 μm의 염색인기 난모세포와 30~70 μm의 주변인기 난모세포들이 대부분을 차지하였고, 난경 100~200 μm 범위의 유구기 단계의 난모세포들이 소수 관찰되었다(Fig. 3A). 성숙 단계의 난소는 일부 성숙한 난모세포들이 관찰되었다. 7~8월경 성숙한 난모세포는 성장하며 방사선대가 형

성되고, 세포질에는 난황구와 유구들이 축적되기 시작하여 난경 200~300 μm에 달하였다(Fig. 3B). 7~9월경 완숙 및 방란기 단계의 난소는 난모세포의 세포질에 다수의 난황구들이 균등하게 분포하거나 축적된 난황과립들이 균질화되고 난경이 400~500 μm에 달하였으며, 난소소엽 내 완숙한 난모세포들로 가득했다(Fig. 3C). 이 후 9~12월경 난소의 산란 후 난소 생식상피는 재배치되며 10~30 μm 크기의 난모세포들이 관찰되었다(Fig. 3E).

수컷의 경우, 2~6월경 성장기 단계의 정소는 정소소엽 내 생식상피를 따라 정원세포들이 분열 증식하며 정모세포들의 출현이 관찰되었다(Fig. 5A). 4~6월경 성숙한 정소는 정소소엽 상피를 따라 정모세포들이 관찰되었으며, 정소소엽 중앙에는 변태를 마친 정자 무리들이 일부 관찰되었다(Fig. 5B). 이 후, 정소소엽 중앙에 변태를 마친 성숙한

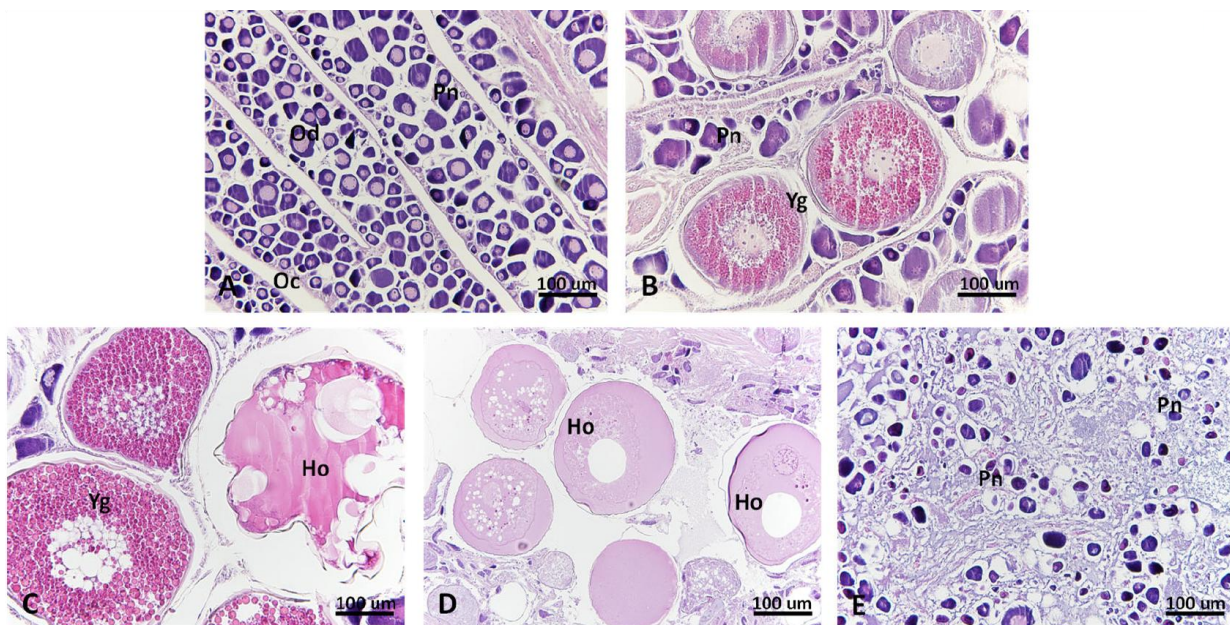


Fig. 3. Photographs of various ovarian development stages in *Hoplobrotula armata*. A, Growing stage; B, Mature stage; C and D, Ripe and spawning stage; E, Recovery stage. Abbreviations: Ho, hydrated oocyte; Oc, ovarian cavity; Od, oil-droplet stage oocyte; Pn, peri-nucleolus stage oocyte; Pg, Yolk globules stage oocyte.

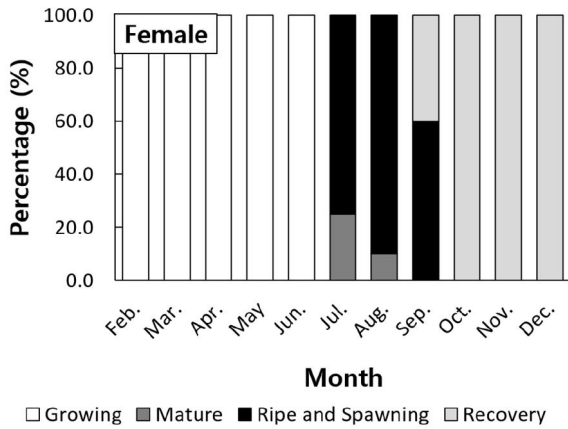


Fig. 4. Frequency of gonad developmental stage in female *Hoplobrotula armata* from February to December 2019 and February to December 2020.

정자 무리들로 가득 차 있거나, 일부 개체에서는 소엽 중앙의 정자들의 방정이 일어난 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 5C). 7~12월 정소는 정소 소엽 내에 방정 후의 잔존 정자가 분포하였고, 정소소엽의 위축이 관찰되었다(Fig. 5D). 10월경 생식상피들이 재배치되며 정소소엽 상피를 따라 정원세포들이 출현하기 시작하며 12월까지 회복기가 관찰되었다(Fig. 5E).

월별로 조사된 난소와 정소의 생식세포 발달단계 특징을 조직학적으로 분석한 결과, 2019년도 암컷의 경우 2~6월 전 개체가 성장기로 나타났으며, 7~8월에 60~90% 개체가 성숙하였고, 8~9월에 60~90% 개체가 완숙 및 방란하였

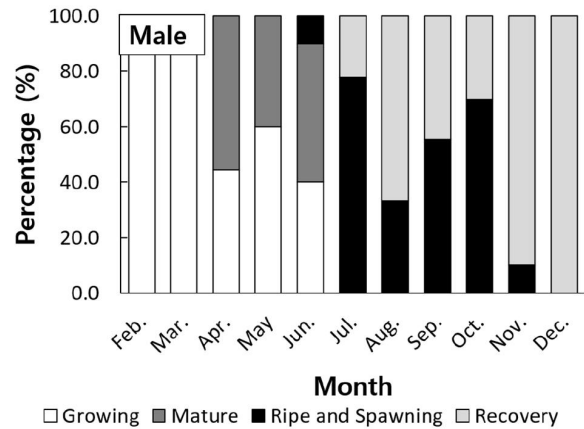


Fig. 6. Frequency of gonad developmental stage in male *Hoplobrotula armata* from February to December 2019 and February to December 2020.

고 10월 이후에는 전 개체가 회복기로 나타났다(Fig. 4). 수컷의 경우 2~3월 전 개체가, 일부 개체는 6월까지 성장하였으며 4~6월에는 40~56% 개체가 성숙기, 6~11월에는 10~78% 개체가 완숙 및 방정기, 11~12월에는 90~100% 개체가 회복기로 나타났다(Fig. 6).

연구 결과, 산란 직전의 완숙란을 지닌 개체의 출현 비율이 7~8월에 매우 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 이번 연구에서 조사한 붉은메기를 대상으로 조직학적 생식소 발달단계 분석 및 월별 GSI 변화를 보았을 때, 제주 연안에 출현하는 붉은메기는 연 1회 산란하는 것으로 추정되며 산란기는 7~10월, 총 4개월로 나타났다.

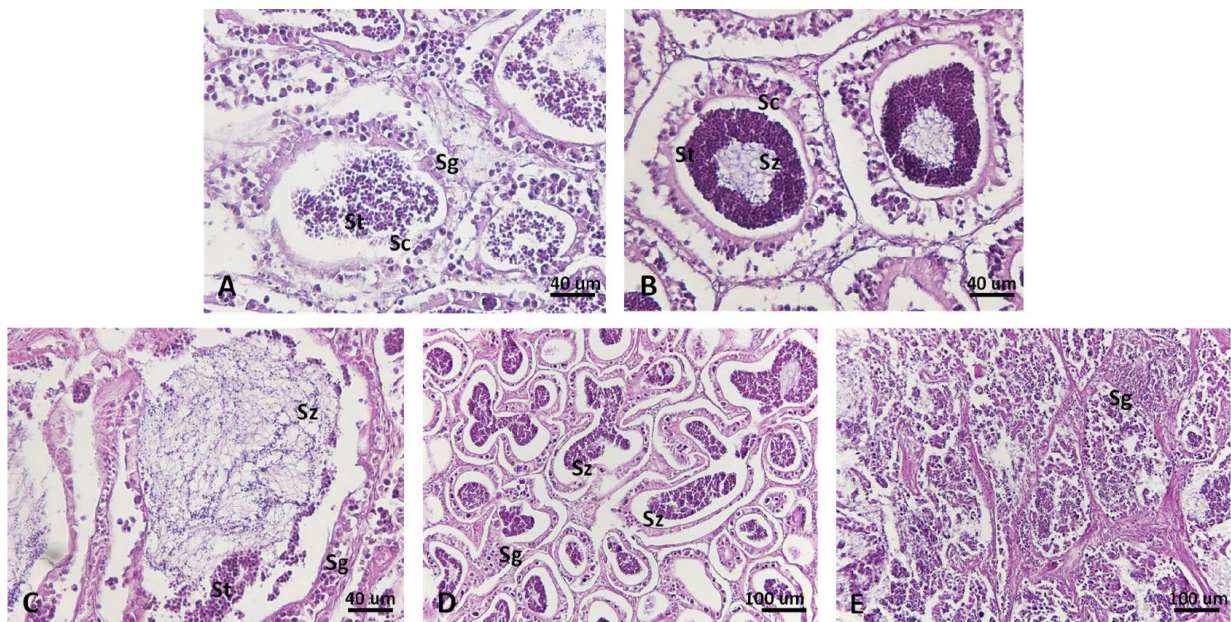


Fig. 5. Photographs of various testicular development stages in *Hoplobrotula armata*. A and B, Growing stage; C, Ripe and spawning stage; D, Post-spawning stage; E, Recovery stage. Abbreviations: Sc, spermatocyte; Sg, spermatogonia; St, spermatid; Sz, spermatozoa.

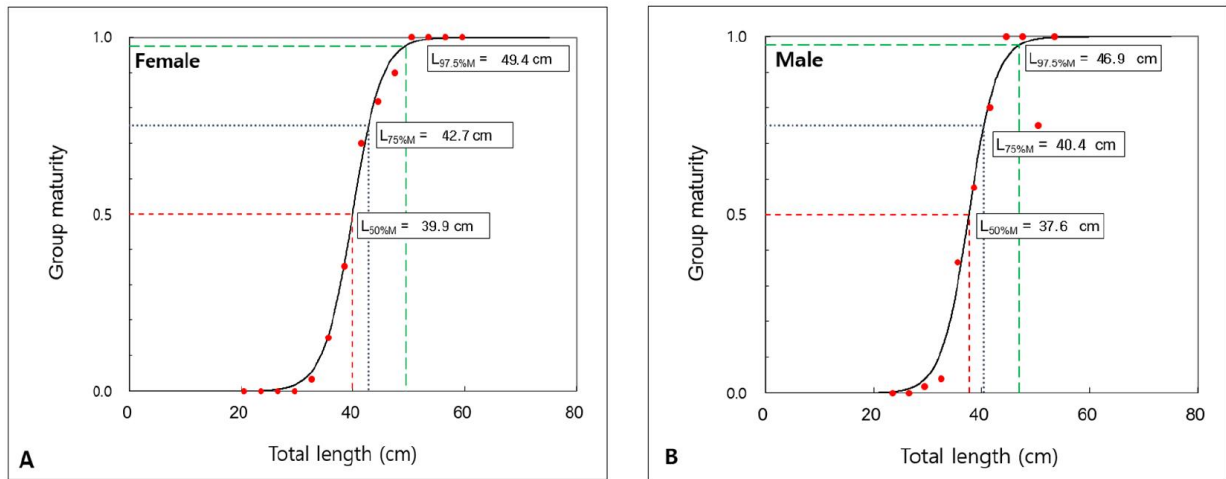


Fig. 7. Logistic functions fitting the mature female proportion of *Hoplobrotula armata* during February to December 2019 and February to December 2020. The $L_{50\%M}$, $L_{75\%M}$ and $L_{97.5\%M}$ are indicated total length at 50%, 75% and 97.5% sexual maturity, respectively.

어류는 수온과 광주기 등 여러 환경요인의 변화에 따라 크게 춘계산란형(Spring spawner), 춘하계산란형(Spring to summer spawner), 하계산란형(Summer spawner), 춘추계산란형(Spring to autumn spawner), 추계산란형(Autumn spawner) 및 동계산란형(Winter spawner) 총 6가지로 구분한다[1]. 제주 연안에 출현하는 붉은메기는 산란기가 7~10월로 나타났으며 하계 산란형으로 추정된다.

이번 연구의 붉은메기 난모세포 크기의 분포양상 관찰 결과 산란기(7~10월)동안 2단계의 난모세포 발달단계인 성숙한 난모세포(200~300 μm)와 완숙한 난모세포(400~500 μm)가 관찰되었다. 정소 또한 산란기 동안 성장과 동시에 변태를 마친 정자무리들이 관찰되었다. 이러한 결과를 미루어 볼 때 붉은메기는 대부분의 경골어류가 속해 있는 난군동시발달형으로 추정된다[11].

성성숙 전장

암컷의 경우 전장 29.5 cm이하, 수컷의 경우 26.5 cm 이하에서는 성숙개체가 출현하지 않았으며, 암컷의 경우 39.9 cm에서 50%, 42.7 cm에서 75%, 49.4 cm에서 97.5%, 수컷의 경우 37.6 cm에서 50%, 40.4 cm에서 75%, 46.9 cm에서 97.5%가 산란에 참여하는 것으로 나타났다(Fig. 7).

현재까지 붉은메기의 기초 생태에 관련된 연구는 미비한 실정으로, 앞으로 붉은메기에 대한 지속적인 모니터링과 추가 연구가 필요하며, 이번 연구결과는 붉은메기 자원관리 연구에 유용한 기초자료가 될 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2024년도 아열대수산연구소 수산시험연구소 업무 「제주주변 연근해 어업 및 환경생태 조사(R202401

2)」의 지원으로 수행된 연구입니다.

The Conflict of Interest Statement

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

References

1. Aida, K. 1991. Environmental regulation of reproductive rhythms in teleosts. *Bull. Inst. Zool.* **16**, 173-187.
2. Alves, D. R., Luque, J. L. and Paraguassu, A. R. 2002. Community ecology of the metazoan parasites of pink Cusk-eel, *Genypterus brasiliensis* (osteichthyes: *Ophidiidae*), from the coastal zone of the state of Rio de Janeiro, Brazil, *Men. Inst. Oswaldo Cruz Rio. de. janeiro.* **97**, 683-689.
3. Baeck, G. W., Park, J. M., Ye, S. J., Jeong, J. M. and An, Y. S. 2012. Feeding habits of *Hoplobrotula armata* in the coastal waters of Geomun-do, Korea. *Kor. J. Fish Aquat. Sci.* **45**, 372-378.
4. Cha, S. S. 2002. Review on the studies of ecology of fish in their early life stages off Korea. *Korean J. Ichthyol.* **14**, 76-82.
5. Horn, P. L. 1993. Growth, age structure, and productivity of ling, *Genypterus blacodes* (*Ophidiidae*), in New Zealand waters. *New Zealand j. Mar. Freshw. Res.* **27**, 385-397.
6. Igor, B. and Werner, B. 2009. *Immuno-histochemistry basics and methods, antibodies for immunohistochemistry*, pp.3-8., Springer natures, Berlin, Germany.
7. Kim, H. J., Kim, Y. H., Lee, J. H. and Yoon, S. C. 2020. Length-weight relationship for 27 fish species from southern sea in Korea. *Korean J. Fish Aquat. Sci.* **53**, 790-793.

8. King, M. G. 2007. Fisheries biology, assessment and management, pp. 382, 2nded., Blackwell publication, Oxford, U.K.
9. Nyegaard, M., Arkhipkin, A. and Brickle, P. 2004. Variation in the diet of *Genypterus blacodes* (Ophidiidae) around the Falk-land Islands. *J. Fish Biol.* **65**, 662-682.
10. Park, D. Y., Jin, S. Y., Jeong, J. M., Lee, J. H. and Baek, G. W. 2023. Feeding habits of the Armoured Cusk, *Hoplobrotula armata* in the south sea, Korea. *Korean Fish Soc.* **35**, 183-188.
11. Wallace, R. A. and Selman, K. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. *Am. Zool.* **21**, 325-334.
12. Ward, R. D. and Reilly, A. 2001. Development of micro-cattellitloci for population studies of the pink ling, *Genypterus blacodes* (teleosteti: Ophidiidae). *Mol. Ecol.* **1**, 173-175.

초록 : 제주 연안에서 채집된 붉은메기(*Hoplobrotula armata*)의 산란생태

김민선¹ · 한송현¹ · 고준철¹ · 김보연¹ · 최정화² · 이승종^{1*}

(¹국립수산과학원 아열대수산연구소, ²국립수산과학원 동해수산연구소 독도수산연구센터)

본 연구는 우리나라 제주 연안에 출현하는 붉은메기(*Hoplobrotula armata*)의 산란 및 기초생태에 관한 연구로 2019년 2~12월부터 2020년 2~12월까지 저층트롤 어업에 의해 어획된 시료 총 2,364개체를 대상으로 하였다. 조사결과 체장 22.0~68.8 cm, 체중 66.5~3,553.9 g 범위로 나타났다. 생식소 속도지수(Gonadosomatic index) 및 발달과정 분석 결과 주 산란기는 암·수 전부 7~10월로 나타났다. 전장과 체중의 상관관계를 조사하였을 때 암컷 $BW=0.0024TL^{3.3278}$, 수컷 $BW=0.0035TL^{3.2162}$ 으로 나타났으며, 개체군의 성장이 양호한 것으로 나타났다. 조사기간에 대한 성비는 1:0.71으로 암컷이 수컷보다 우세하였다. 산란에 참여하는 붉은메기의 50%, 75%, 97.5% 성성숙 전장은 암컷의 경우 각각 39.9 cm, 42.7 cm, 49.4 cm로 나타났으며 수컷은 37.6 cm, 40.4 cm, 46.9 cm으로 나타났다. 제주 연안에 출현하는 붉은메기는 GSI 및 월별 생식 세포 발달 단계 결과, 연 1회 산란하는 하계 산란형(Summer spawner)으로 추정된다.