

인천 연안에 서식하는 쥐노래미 (*Hexagrammos otakii*)의 성숙과 산란

이승환 · 노태형 · 권대현 · 최동혁*

국립수산과학원 서해수산연구소 기후환경자원과

Maturity and Spawning of the Greenling, *Hexagrammos otakii* in Coastal Waters near Incheon, Korea by Seung Hwan Lee, Tae Hyoung Roh, Dea Hyeon Kwon and Dong Hyuk Choi* (West Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries (NIFS), Incheon 22383, Republic of Korea)

ABSTRACT The aim of this study was to collect information regarding the sex ratio, size at sexual maturity, and the primary spawning period of *Hexagrammos otakii*. The sex ratio (female : male) was observed to be 1 : 1.2 ($n=739 : 906$, with females comprising 81.6% of the population). The gonadosomatic index (GSI) exhibited its highest values in November for females and October for males, coinciding with the primary spawning period from November to January. The total length required for 50% sexual maturity was determined through a logistic regression model and found to be 23.1 cm for females.

Key words: Maturity, spawning, *Hexagrammos otakii*

서 론

쥐노래미 (*Hexagrammos otakii*)는 쏨뱅이목 (Scorpaeniformes), 쥐노래미과 (Hexagrammidae)에 속하는 연안정착성 어류로 우리나라와 일본 주변해역을 포함한 북서태평양의 온대수역에 넓게 분포하며, 연안의 암초나 모래, 해초 사이에 숨어 생활하는 습성을 가진다 (Yamada *et al.*, 1986; Kim *et al.*, 2004). 국내에서는 남해안 전체를 비롯하여 서해안 백령도까지 서식하고 있으며, 상업적 가치가 매우 높은 어종이다 (Kang *et al.*, 2004).

쥐노래미의 어획량은 노래미류로 통합 관리되고 있으며 우리나라 노래미류의 어획량을 살펴보면, 2006년 2,968톤으로 가장 많은 어획량을 기록한 후 지속적으로 감소하여 2022년에는 778톤이 어획되었다. 서해 노래미류의 (인천광역시, 경기도, 충청남도, 전라북도) 어획량 또한 2006년 1,760톤으로 가장 많이 어획되었고, 2022년은 394톤으로 감소하였다

(KOSIS, 2023). 이처럼 쥐노래미의 어획량이 급격히 감소한 이유로는 연안의 환경오염 및 무분별한 개발로 인해 연안 정착성 어류인 쥐노래미의 산란장 및 성육장이 파괴되었을 것이라 추측하고 있다 (Kang *et al.*, 2004). 이에 해양수산부는 감소하는 쥐노래미 수산자원을 보호하기 위해 수산자원관리법에 의거하여 쥐노래미 포획금지기간을 11월 1일부터 12월 31일까지 지정하고, 20 cm 이하의 포획금지체장을 설정하여 관리하고 있다.

국내 쥐노래미 생태에 대한 선행 연구로는 난발생 및 자어 형태발달 (Kim *et al.*, 1993), 세포유전 (Sim *et al.*, 2002), 성장 호르몬 (Nam and Kim, 2002), 식성 (Kim and Kang, 1997; Seo and Hong, 2007; Choi *et al.*, 2017; Jung *et al.*, 2022)이 있으며, 산란생태에 대한 연구로는 동해안 쥐노래미의 산란생태 (Choi *et al.*, 1997), 양식산 쥐노래미의 생식소중량지수 변화 (Lee *et al.*, 2000), 서해 보령 쥐노래미의 성숙과 산란 (Kang *et al.*, 2004), 잠수조사를 통한 산란습성 (Lee *et al.*, 2013) 등이 있다.

어류의 산란생태에 대한 연구는 재생산량을 극대화시킬 수 있는 중요한 파라미터로서 수산자원의 관리와 보존을 위해 지속적인 연구가 필요하지만, 국내에서 수행된 쥐노래미의 성숙과 산란 연구는 약 20년 전 수행되었다. 따라서 최근 어획량이

저자 직위: 이승환 (연구사), 노태형 (인턴연구원), 권대현 (연구관), 최동혁 (인턴연구원)

*Corresponding author: Dong Hyuk Choi Tel: 82-32-745-0610, Fax: 82-32-745-0569, E-mail: donghyuk_87@naver.com

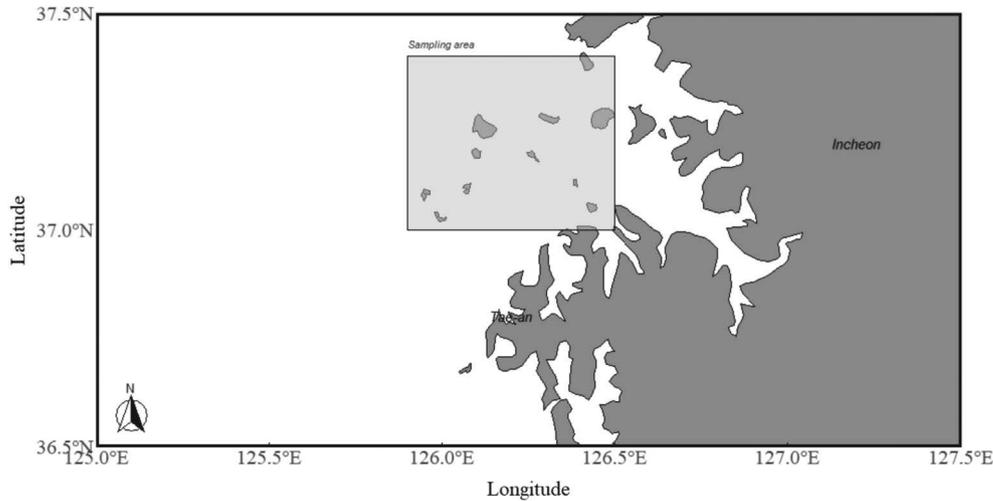


Fig. 1. Sampling area of the greenling *Hexagrammos otakii* collected in coastal waters near Incheon, Korea.

급격히 감소하는 등의 변화된 자원상태에 맞는 금지체장, 금어기 등의 자원관리를 위한 제도 개선을 위해 지속적인 생물학적 특성치에 대한 연구가 필요하다. 따라서 이번 연구는 우리나라 서해안에 서식하는 쥐노래미의 성비, 주 산란기, 성숙체장 등을 분석하여 선행된 쥐노래미 산란생태에 대한 연구결과와 비교하고, 효율적 자원관리를 위한 생태학적 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

이번 연구에 사용된 쥐노래미는 2020년 2월부터 2021년 12월까지 인천 연안에서 연안통발과 연안개량안강망에서 매월 어획된 개체를 대상으로 분석하였다(Fig. 1). 채집된 시료는 즉시 실험실로 옮긴 후 개체별로 전장(TL: Total length) 0.1 cm, 체중(BW: Body weight)을 0.1 g까지 측정하고 해부하여 생식소 중량(GW: gonad weight)은 0.01 g까지 측정하고 암수 성비의 차이를 Chi-square test를 통해 유의성 검증을 하였다.

산란기를 추정하기 위해 생식소의 발달단계를 생식소의 크기와 색, 난립의 크기 등으로 육안판별하고, 조직분석을 통해 미숙(Immature), 중숙(Maturing), 성숙(Mature), 완숙 및 방중(Ripe and spawning), 방후(Spent) 5단계로 구분하여 분석하였다. 이후 난소 일부를 Bouin's 용액에 24시간 고정된 후 24시간 세수하여 70% 알코올에 재고정하였다. 조직표본을 제작하기 위해 생식소를 5 mm 두께로 절단하여 소편을 만들었으며, 파라핀 절편법에 의해 두께 5~6 μm 의 절편을 제작한 후, Hansen's haematoxyline과 0.5% eosin으로 비교 염색하였다.

생식소중량지수(Gonadosomatic Index, GSI)의 월 변화를 분석하고, 생식소중량지수는 다음 식을 이용하였다.

$$GSI = \frac{GW}{BW} \times 10^2$$

50% 성숙체장은 산란기로 추정되는 시기에 성숙단계 이상(성숙, 완숙 및 방중, 회복)의 개체가 당해 산란에 참여하는 것으로 보고, 성숙한 개체의 비율을 사용하여 logistic curve를 통해 50%, 75%, 97.5%의 성숙체장을 추정하였다.

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{-b(TL_i - TL_i)}}$$

여기서 P_i 는 i 전장계급에서의 성숙비율, TL_i 는 i 전장계급의 성숙체장(TL), b 는 상수이다.

결 과

1. 전장 조성 및 암수 성비

2020년 2월부터 2021년 12월까지 인천 주변해역에서 어획된 쥐노래미 1,645개체를 측정된 결과, 암컷은 739개체, 전장 범위는 12.7~39.7 cm, 평균 28.3 cm, 수컷은 906개체, 전장 범위는 15.8~41.4 cm, 평균 28.2 cm였으며, 암수 출현비율은 1:1.2로 통계적 차이를 보이지 않았다($\chi^2 = 2.0, P > 0.05$, Table 1, Fig. 2).

2. 산란기 추정

조사기간 내에 암컷 쥐노래미의 산란기를 추정하기 위해 난소의 육안판별과 조직학적 결과를 사용하였다. 생식세포의 발달단계는 미숙, 중숙, 성숙, 완숙 및 방중, 회복으로 구분되었다

(Fig. 3). 암컷의 생식세포 발달 과정은 3월부터 7월까지의 대부분 미숙으로 판별되었고, 8월부터 발달하여 중숙과 9월 성숙형태가 관찰되었다. 10월부터 산란기가 시작되어 12월까지 모든 개체가 완숙과 방중상태로 확인되었고, 다음해 1월부

터 방후단계가 3월까지 나타났다. 수컷은 암컷보다 빠른 6월부터 생식세포가 성숙하기 시작하였고, 9월에 낮은 비율로 완숙개체가 나타났다. 암컷과 동일한 시기인 10월부터 12월까지 완숙과 방중단계가 관찰되었고, 다음해 1월부터 방후단계가 5월까지 이어졌다. 미숙단계의 난소에는 초기성장기(early growing stage) 난모세포가 관찰되었다. 난소소엽 내에 난경 10~80 μm의 난모세포 주변부에서 다수의 인이 관찰되었다. 그리고 난경 90~120 μm의 난황포기단계(cortical alveolar stage)의 난모세포가 대부분을 차지하였다(Fig. 4A). 이 단계의 개체들은 대부분 3~7월에 출현하였다. 중숙단계의 난소에는 난소소엽 내에 난모세포가 난경 200~300 μm로 성장하였고, 세포질 내 난황과립들이 축적되는 초기 난황구기 난모세포들이 관찰되었다(Fig. 4B). 중숙단계의 개체들은 대부분 8월에 출현하였다. 성숙단계의 난소는 난경 600~700 μm의 성숙한 난모세포들로 세포질에 다량의 난황과립들이 축적되어 난소를 가득 채웠다(Fig. 4C). 이 단계는 주로 9월에 출현하였다. 완숙 및 방중단계의 난소에는 난경 1,100~1,300 μm 크기

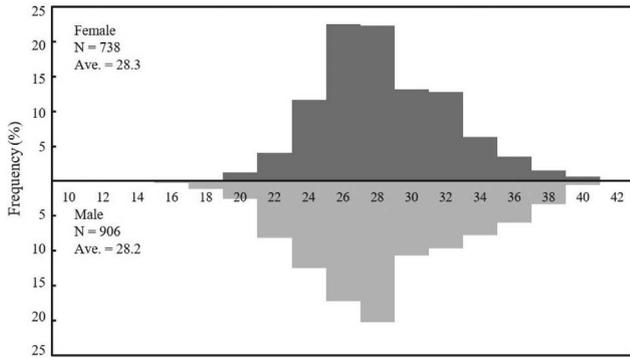


Fig. 2. Length-frequency distribution of the greenling, *Hexagrammos otakii* in coastal waters near Incheon, Korea.

Table 1. Size range and sex ratio of the greenling, *Hexagrammos otakii* in coastal waters near Incheon, Korea

| Year | Month | Total number | Female | | | Male | | | Sex ratio (F:M) |
|-------|-------|--------------|---------------------|-----------|------|---------------------|-----------|------|-----------------|
| | | | Size range (TL, cm) | Average | n | Size range (TL, cm) | Average | n | |
| 2020 | Feb. | 8 | 32.2~34.4 | 33.0 | 3 | 35.3~38.4 | 36.9 | 5 | 1:1.7 |
| | Mar. | 112 | 24.3~39.7 | 31.1 | 50 | 21.5~39.8 | 32.7 | 62 | 1:1.2 |
| | Apr. | 60 | 26.7~39.1 | 32.2 | 26 | 24.5~38.2 | 32.2 | 34 | 1:1.3 |
| | May | 60 | 21.8~37.0 | 29.0 | 39 | 26.4~36.6 | 30.5 | 21 | 1:0.5 |
| | Jun. | 60 | 17.0~36.6 | 29.1 | 31 | 21.3~36.8 | 29.6 | 29 | 1:0.9 |
| | Jul. | 90 | 23.0~37.3 | 28.8 | 29 | 21.3~37.2 | 28.7 | 61 | 1:2.1 |
| | Aug. | 46 | 22.5~31.0 | 25.1 | 21 | 22.2~33.5 | 26.3 | 25 | 1:1.2 |
| | Sep. | 60 | 23.3~32.2 | 26.4 | 31 | 22.3~31.2 | 25.6 | 29 | 1:0.9 |
| | Oct. | 66 | 20.7~38.6 | 28.4 | 29 | 19.3~37.0 | 27.6 | 37 | 1:1.3 |
| | Nov. | 81 | 21.8~39.5 | 27.7 | 52 | 16.3~41.4 | 28.4 | 29 | 1:0.6 |
| | Dec. | 104 | 21.6~36.2 | 28.3 | 58 | 22.5~38.2 | 30.6 | 46 | 1:0.8 |
| | 2021 | Jan. | 41 | 22.2~37.7 | 28.9 | 18 | 18.9~36.6 | 25.7 | 23 |
| Feb. | | 20 | 24.0~34.4 | 28.5 | 6 | 18.0~35.0 | 27.6 | 14 | 1:2.3 |
| Mar. | | 37 | 28.4~35.0 | 31.5 | 8 | 18.5~38.5 | 30.9 | 29 | 1:3.6 |
| Apr. | | 220 | 20.0~35.4 | 26.7 | 85 | 17.3~38.3 | 26.8 | 135 | 1:1.6 |
| May | | 119 | 20.4~30.2 | 25.9 | 43 | 20.2~37.7 | 25.9 | 76 | 1:1.8 |
| Jun. | | 100 | 21.3~36.6 | 27.8 | 35 | 21.4~37.3 | 27.9 | 65 | 1:1.9 |
| Jul. | | 98 | 20.9~27.8 | 25.7 | 32 | 18.7~28.5 | 23.7 | 66 | 1:2.1 |
| Aug. | | 98 | 23.1~36.4 | 29.4 | 49 | 21.7~37.0 | 29.7 | 49 | 1:1.0 |
| Sep. | | 63 | 25.5~32.6 | 28.9 | 33 | 25.1~33.3 | 29.3 | 30 | 1:0.9 |
| Oct. | | 60 | 26.6~33.6 | 30.4 | 38 | 26.6~33.3 | 30.1 | 22 | 1:0.6 |
| Nov. | | 3 | 31.8~35.3 | 33.6 | 2 | 28.4 | 28.4 | 1 | 1:0.5 |
| Dec. | | 39 | 12.7~33.5 | 26.7 | 21 | 15.8~39.3 | 26.3 | 18 | 1:0.9 |
| Total | | 1,645 | 12.7~39.7 | 28.3 | 739 | 15.8~41.4 | 28.2 | 906 | 1:1.2 |

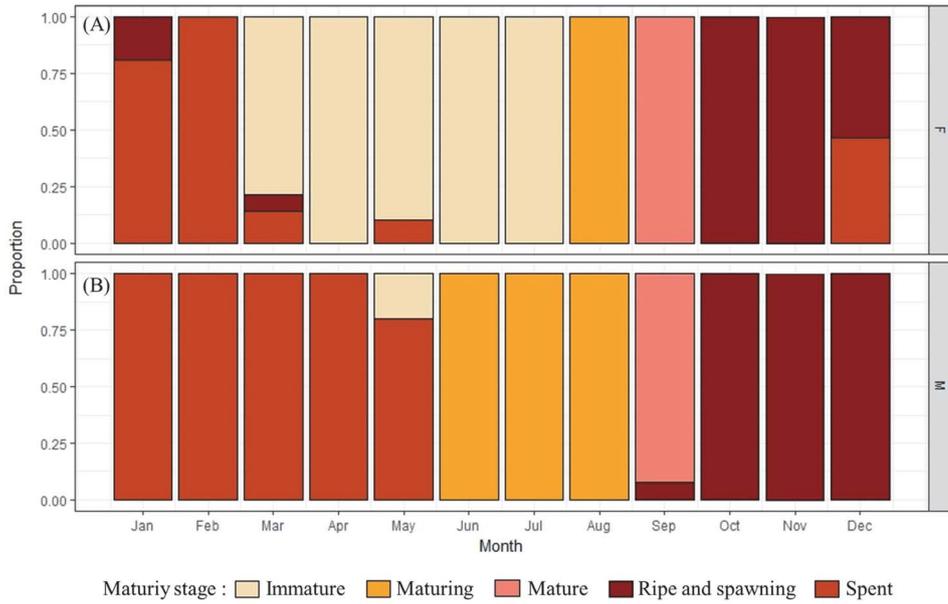


Fig. 3. Monthly changes in maturity stages of greenling, *Hexagrammos otakii* in coastal waters near Incheon, Korea.

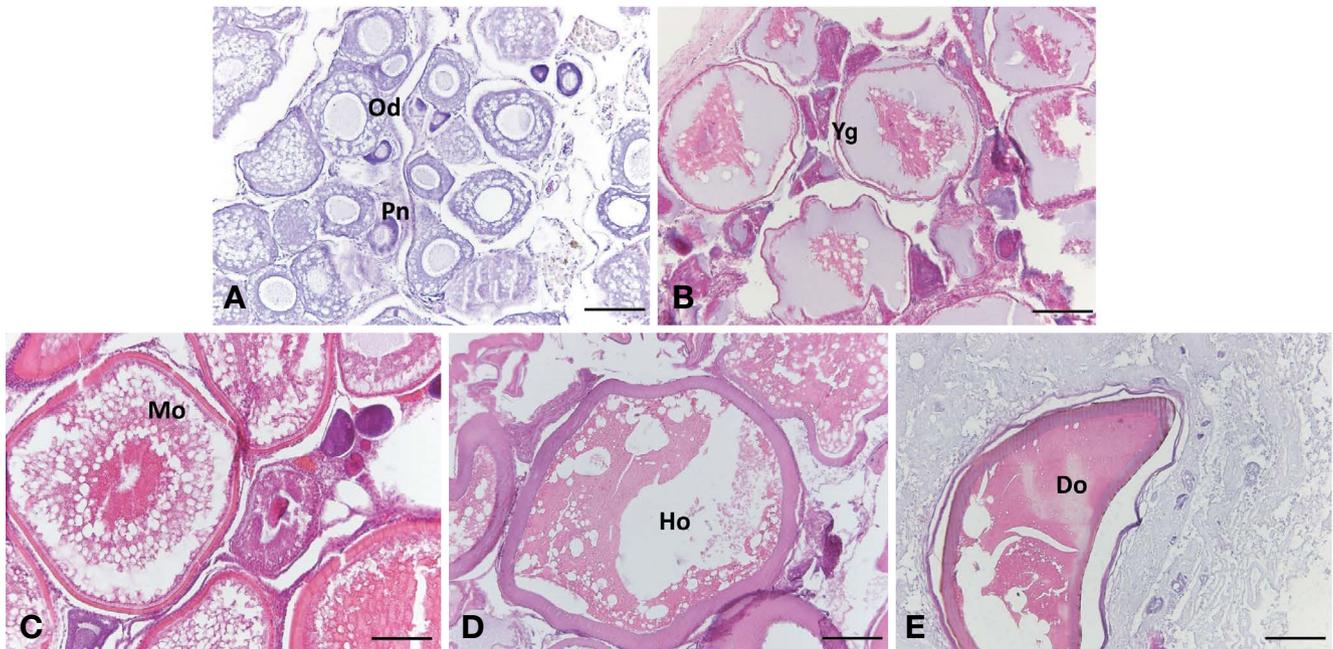


Fig. 4. Developmental stages in the ovary of *Hexagrammos otakii*. A, Ovary of the early growing stage. B, Ovary of the late growing stage. C, Ovary of the mature stage. D, Ovary of the ripe and spawning stage. E, Ovary of the recovery and resting stage; Do, Degenerating oocyte; Ho, hydrated oocyte; Mo, Mature oocyte; Od, Oil droplet oocyte; Pn, Peri-nucleolus oocyte, Yg, Yolk globule oocyte. Scale bars indicate 100 μ m (A and B) and 200 μ m (C to E).

의 수화된 난모세포가 관찰되었다(Fig. 4D). 주로 10~1월에 출현하였다. 회복단계의 난소는 난소소엽 내에 미방출된 완숙 난들이 퇴화, 흡수되면서 난소소엽이 위축된 모습이 관찰되었다(Fig. 4E). 회복단계의 개체들은 12~5월에 출현하였다(Fig. 3A).

취노래미 정소의 생식세포 발달을 조직학적으로 조사한 결과, 미숙, 중숙, 성숙, 완숙 및 방중 그리고 방후로 구분되었다(Fig. 3B). 중숙단계의 정소는 생식소가 활성화되면서 정소소엽 상피에 정원세포들이 분열증식하고, 정모세포들이 관찰되었다(Fig. 5A). 중숙단계의 개체들은 6월부터 8월까지 출현하

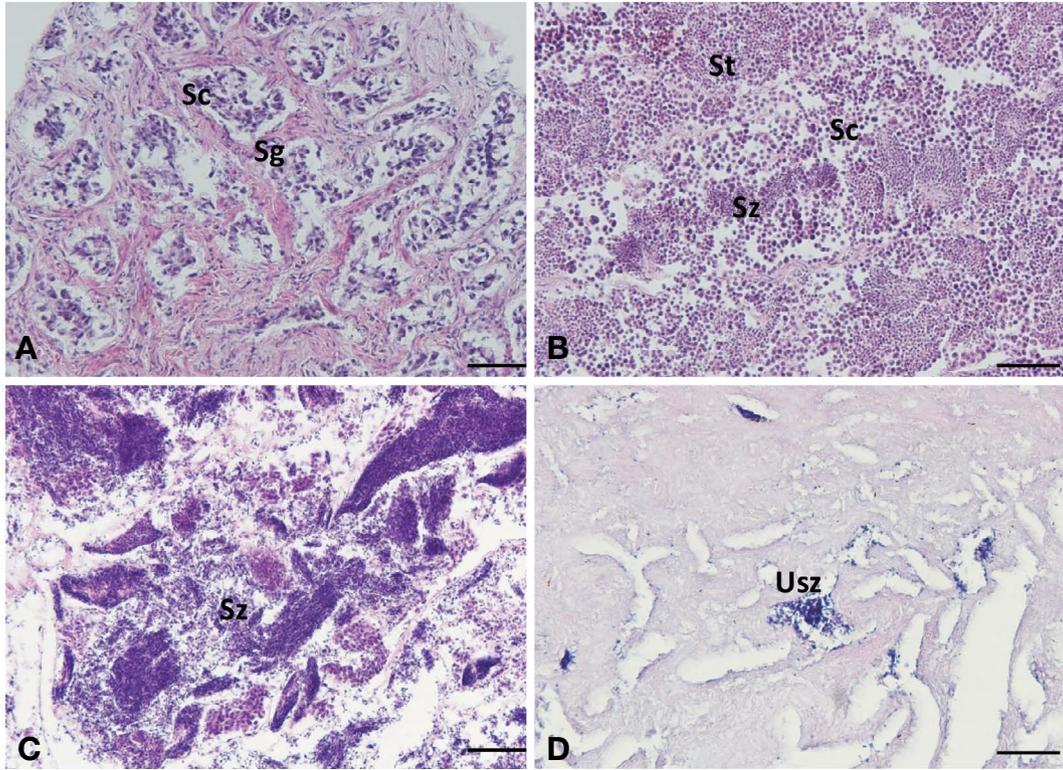


Fig. 5. Photographs of various testicular development stages in *Hexagrammos otakii*. A, testis of growing stage. B, testis of mature stage. C, testis of ripe and spawning stage. B, testis of recovery stage. Sc, spermatocyte; Sg, spermatogonia; St, spermatid; Sz, spermatozoa; Usz, undischarged spermatozoa. Scale bars indicate 40 μ m (A to D).

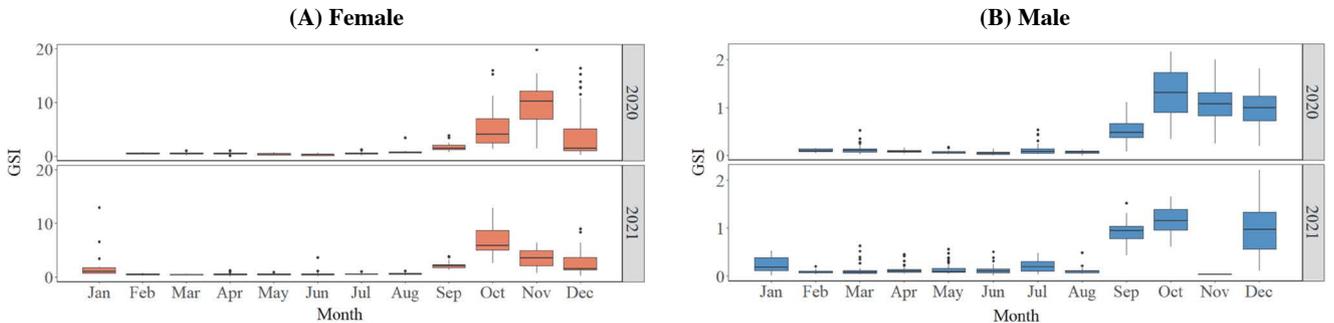


Fig. 6. Monthly changes of gonadosomatic index of greenling, *Hexagrammos otakii* in coastal waters near Incheon, Korea.

였다. 성숙단계의 정소는 정소소엽 내에 성숙분열 중인 정모세포와 변태 중인 정세포무리들이 발달하고 있으며, 일부 변태가 완료된 정자들이 관찰되었다(Fig. 5B). 성숙단계의 개체들은 대부분 9월에 출현했다. 완숙 및 방중단계의 정소는 정소소엽 중앙에 변태를 마친 정자들이 가득 차 있거나, 소엽 중앙의 정자들의 방출이 관찰되었다(Fig. 5C). 완숙 및 방중단계의 개체들은 대부분 9월부터 12월에 출현하였다. 회복단계의 정소는 생식상피들이 재배치되면서 정소소엽 상피에 소수의 정원세포들이 출현하고 있다(Fig. 5D). 회복단계의 개체들은

대부분 1~5월에 출현하였다.

쥐노래미 암컷의 생식소중량지수는 2020년 2월에서 7월 사이 0.23~0.53으로 낮은 값을 보인 후, 점차 증가하여, 2020년 11월 9.58로 가장 높은 값을 보였다. 2021년은 7월까지 낮은 값을 보이다가 점차 증가하여 10월에 가장 높은 값을 보였다(Fig. 6A). 쥐노래미 수컷의 GSI의 월변화는 2020년 2월에서 8월까지 0.05~0.12 사이에서 큰 변화가 없었지만 9월부터 증가하기 시작하여 10월 1.30으로 가장 높았다. 이후 감소하여 2021년 2월부터 8월까지 0.10~0.17 사이의 값을 보였고 9

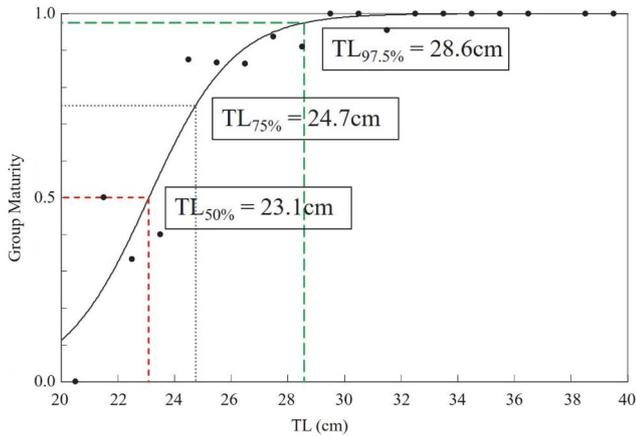


Fig. 7. Relationship between total length (TL) and sexual group maturity in *Hexagrammos otakii*.

월부터 다시 증가하여 10월 1.15로 가장 높은 값을 나타냈다 (Fig. 6B). 쥐노래미의 생식세포 조직학적 분석 및 GSI 값의 월변화 결과, 인천 연안에 서식하는 쥐노래미의 산란기는 10월에서 1월이며, 시기별로 차이를 보이지만 주 산란기는 11월에서 12월로 추정되었다.

3. 성숙체장

2020~2021년 서해 쥐노래미의 주 산란기(11~12월)에 어획된 전체 암컷 개체 중 성숙한 암컷 179개체의 비율을 분석한 결과, 50% 성숙체장은 23.1 cm, 75% 성숙체장 24.7 cm, 97.5% 성숙체장 28.6 cm로 추정되었다(Fig. 7).

고 찰

이번 연구는 우리나라 서해 인천 연안에 분포하는 쥐노래미를 2020년 2월부터 2021년 12월까지 연안통발과 연안개량 안강망에서 어획된 개체를 대상으로 산란특성에 대한 분석을 목적으로 하였다. 쥐노래미의 전장 범위를 살펴보면 암컷은 12.7~39.7 cm, 수컷은 15.8~41.4 cm이었으며, 평균 전장은 암컷 28.3 cm, 수컷 28.2 cm로 유사한 값을 보였다. 암수 성비 또한 1:1.2로 암컷과 수컷의 비율이 유사한 경향을 보였다.

쥐노래미의 산란기를 추정하기 위해 생식소속도지수 및 생식소의 월별 속도단계를 육안판별 및 조직학적 분석 결과 서해 인천 연안에 서식하는 쥐노래미의 산란기는 11월에서 1월, 주 산란기는 11월에서 12월로 추정되었다. 선행 연구에 따르면 쥐노래미의 산란기는 남해안(통영), 동해안(영일만)에서는 11~1월(Choi *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2000)로 보고되었고, 서해 보령은 9월 하순부터 12월 중순(Kang *et al.*, 2004)으로 보고되었다. 이번 연구에서 쥐노래미의 산란기는 11~1월, 주 산

란기는 11~12월로 남해안과 동해안 쥐노래미의 선행 연구들과 유사한 결과를 보였고, 이번 연구 지역인 인천보다 위도가 낮은 서해 충남 보령보다 산란기가 늦은 결과를 보였다. Aida (1988)는 어류의 성 성숙을 유도하는 것은 광주기와 수온이 중요한 환경인자라고 하였고, Kanamoto (1979)와 Kurita *et al.* (1995)은 쥐노래미과 어류가 위도가 높을수록 산란기가 빠르다고 하였다. 하지만 본 연구 해역의 산란기는 상대적으로 위도가 낮은 서해 보령(9~12월), 남해 통영(11~1월)과 비교해 보았을 때, 차이가 없거나 늦은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 선행 연구와의 조사시기 차이 및 환경 변화 등으로 판단되며, 향후 수온 및 광주기 등의 지역별 환경요인을 고려하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다(Yang *et al.*, 2018). 온대 지역에 서식하는 어류의 산란형태는 계절에 따라 춘계산란형, 춘하계산란형, 추계산란형, 동계산란형으로 구분되며(Shimizuand, 1982, 1983), 이번 연구 및 선행 연구 결과 우리나라에 서식하는 쥐노래미는 동계산란형으로 구분되었다.

이번 연구에서 서해 인천 연안 쥐노래미 암컷의 50% 성숙체장은 23.1 cm, 75% 성숙체장 24.7 cm, 97.5% 성숙체장 28.6 cm로 추정되어, 동해 영일만 쥐노래미의 50% 성숙체장 21.4 cm, 서해 보령 쥐노래미의 50% 성숙체장인 19.1~21.0 cm과 차이를 보였다(Choi *et al.*, 1997; Kang *et al.*, 2004). 일반적으로 과도한 어획 등으로 자원상태가 악화되면, 성숙이 더 빠르게 이루어진다고 보고되었고(Zhang, 2010), 이번 연구의 쥐노래미 성숙체장이 선행 연구보다 소폭 큰 것으로 추정되었다. 하지만 국내 노래미류의 어획량을 살펴보면 2000년대 평균 2,500톤에서 최근 3년(2020~2022년) 900톤으로 급격히 감소하여 자원상태가 악화된 것으로 생각되며, 이는 동일한 지역의 개체군에서 수행된 비교 연구가 아니고, 먹이의 풍부도와 해양환경의 변화 등의 차이에서 영향을 받을 수 있기 때문에, 향후에는 쥐노래미의 생물학적 연구뿐 아니라 해양환경에 대한 연구도 함께 병행되어야 할 것으로 판단된다(Morgan and Colbourne, 1999; Shackell *et al.*, 2019). 또한 샘플링된 개체의 체장범위에 따른 성숙체장의 변동도 고려되어야 한다. 체장이 큰 개체의 미숙비율이 클수록 성숙체장이 커지기 때문에 최대한 넓은 범위에서의 샘플이 분석되어야 한다.

수산생물의 산란기 및 성숙체장은 수산자원 보호 및 관리를 위한 포획금지기간 및 금지체장 설정에 중요한 정책자료로 이용된다. 쥐노래미의 포획금지기간은 11월 11일부터 12월 31일까지, 포획금지체장은 20 cm로 설정되어 있다. 이번 연구 결과 서해 쥐노래미의 주 산란기가 11월~12월로 추정됨에 따라 현재 시행되고 있는 포획금지기간이 효율적인 것으로 판단된다. 하지만 포획금지체장은 이번 연구 결과인 50% 성숙체장인 23.1 cm보다 작아 미성숙한 개체의 어획이 가능하도록 설정되어 있다. 향후 감소하는 쥐노래미의 자원 보호 및 관리를 위해서는 앞으로 포획금지체장을 상향해야 할 필요가 있으며, 나

아가 개체군의 50%가 성숙하는 체장보다 75%나 97.5%의 성숙체장 결과의 활용 또한 고려해야 할 것으로 판단된다.

요 약

이번 연구는 인천 연안에 서식하는 쥐노래미 (*Hexagrammos otakii*)의 성비, 성숙체장, 산란기를 구하였다. 암수성비는 1:1.2 (n=739:906, 전체 개체군의 81.6% 차지)로 암수 출현 비율은 통계적 차이를 보이지 않았다. 쥐노래미 암컷의 생식소속도지수(GSI) 값은 11월에 가장 높았고, 수컷은 10월에 가장 높게 나타났고, 산란기는 10월에서 1월로 추정되었다. 쥐노래미 암컷의 50% 성숙체장은 23.1 cm로 분석되었다.

사 사

이 연구는 국립수산물학원 시험연구사업 “서해연안어업 및 환경생태조사(R2023009)”의 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Aida, K. 1988. A review of plasma hormone changes during ovulation in cyprinid fishes. *Aquac.*, 74: 11-21.
- Choi, H.C., S.H. Huh and J.M. Park. 2017. Size-related and temporal dietary variations of *Hexagrammos otakii* in the mid-western coast of Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 29: 117-123.
- Choi, S.H., D.S. Jeong, J.H. Park and C.S. Park. 1997. Maturity and spawning of the greenling *Hexagrammos otakii* in the Southern part of the East sea of Korea. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Inst.*, 53: 17-22. (in Korean)
- Jung, J.H., H.Y. Kim and S.Y. Moon. 2022. Feeding habits of *Hexagrammos otakii* of the Yeosu coast of Korea. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 55: 705-713. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0705>.
- Kanamoto, Z. 1979. On the ecology of hexagrammid fish IV. Mode of the distribution of *Agrammus agrammus* and *Hexagrammos otakii* and compositions abundance and food items of reef fish around several reefs. *Jap. J. Ecol.*, 29: 171-183. (in Japanese)
- Kang, H.W., E.Y. Chung and J.H. Kim. 2004. Sexual maturation and spawning characteristics in greenling, *Hexagrammos otakii* of the west coast in Korea. *J. Aquac.*, 17: 30-38.
- Kim, C.K. and Y.J. Kang. 1997. Stomach content analysis of fat greenling, *Hexagrammos otakii*. *Korean J. Korean Fish. Soc.*, 30: 432-441.
- Kim, Y.S., K.H. Han, C.B. Kang and J.B. Kim. 2004. Commercial fishes of the coastal and offshore waters in Korea. 2nd ed. Hangle, Busan, Korea, pp. 1-333.
- Kim, Y.U., K.H. Han and B.H. Kim. 1993. The embryonic and larval development of the greenling, *Hexagrammos otakii* Jordan et starks. *Korean J. Ichthyol.*, 5: 151-153. (in Korean)
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2023. Fishery production survey. Retrieved from <http://kosis.kr> on Sep 10, 2023.
- Kurita, Y., S. Mitsujiko and S. Makoto. 1995. Reproductive cycle and body size and age at maturity of the Hexagrammidae fish *Hexagrammos agrammus* in central Japan. *Fish. Sci.*, 61: 1-6.
- Lee, J.K., H.K. Lim, C.H. Han, J.H. Jeung, D.J. Kim and K. Aida. 2000. Changes of gonadosomatic index and sex steroid hormone of serum in cultured greenling (*Hexagrammos otakii*). *J. Korean Fish. Soc.*, 33: 302-306. (in Korean)
- Lee, Y.D., J.S. Kim, J.H. Jung, W.J. Shim and W.S. Gwak. 2013. Direct observation of spawning characteristics on the Hexagrammidae fishes in Korean coastal waters using SCUBA diving. *J. Korean Soc. Oceanogr. The Sea.*, 18: 104-109.
- Morgan, M.J. and E.B. Colbourne. 1999. Variation in maturity at age and size in three populations of American plaice. *ICES J. Mar. Sci.*, 56: 673-688. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1999.0487>.
- Nam, Y.K. and D.S. Kim. 2002. Molecular cloning and alternative splicing of growth hormone transcripts in greenling, *Hexagrammos otakii*. *J. Korean Fish. Soc.*, 35: 676-681. <https://doi.org/10.5657/kfas.2002.35.6.676>.
- Seo, I.S. and J.S. Hong. 2007. Comparative feeding ecology of sympatric greenling *Hexagrammos otakii* and Schlegel's black rockfish *Sebastes schlegeli* in the Jangbong tidal flat, Incheon, Korea. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 40: 84-94. <https://doi.org/10.5657/kfas.2007.40.2.084>.
- Shackell, N.L., K.J. Ferguson, C.E. den Heyer, D. Brickman, Z. Wang and K.T. Ransier. 2019. Growing degree-day influences growth rate and length of maturity of northwest Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) across the southern stock domain. *J. Northw. Atl. Fish Sci.*, 50: 25-35. <https://doi.org/10.2960/J.v50.m716>.
- Shimizu, A. and I. Hanyu. 1982. Environmental regulation of annual reproductive cycle in a spring-spawning bitterling *Acheilognathus tabira*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 48: 1563-1568.
- Shimizu, A. and I. Hanyu. 1983. Environmental regulation of spawning period in an autumn-spawning bitterling *Pseudoperilampus typus*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 49: 895-900.
- Sim, M.A., J.K. Noh, Y.K. Nam and D.S. Kim. 2002. Cytogenetic analysis of spotty belly greenling (*Hexagrammos agrammus*) and greenling (*H. otakii*). *J. Korean Fish. Soc.*, 35: 682-685.
- Yamada, U., M. Tagawa, S. Kishida and K. Honjo. 1986. Fishes of the East China Sea and the Yellow Sea. Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, Nagasaki, Japan, pp. 1-510.
- Yang, J.H., J.H. Cho, J.B. Kim, J.H. Park, S.J. Lee and B.S. Yoon. 2018. Maturity and spawning of the pointhead flounder, *Hipposlossoides pinetorum* in the coastal waters off Gangwon-do, East Sea. *J. Korean Soc. Fish. Tech.*, 54: 296-305.
- Zhang, C.I. 2010. Marine fisheries resource ecology. Pukyong National University Press, Busan, Korea, pp. 153-181.