

동해 포항 연안 문치가자미(*Pseudopleuronectes yokohamae*)의 성 성숙

최혜영 · 정경미¹ · 박정호² · 문성용 · 성기창³ · 백근욱^{4*}

국립수산과학원 남해수산연구소, ¹국립수산과학원 연근해자원과, ²국립수산과학원 원양자원과, ³국립수산과학원 동해수산연구소, ⁴경상국립대학교 해양과학대학 해양생명과학과

Sexual Maturation of the Marbled Flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* off the Coastal Waters of Pohang in the East Sea, Korea

Haeyoung Choi, Kyung Mi Jeong¹, Jeong-Ho Park², Seong Yong Moon, Gi Chang Seong³ and Gun Wook Baek^{4*}

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

¹Fisheries Resources Research Divisions, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

²Distant Water Fisheries Resources Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

³East Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gangneung 25435, Republic of Korea

⁴Department of Marine Biology and Aquaculture, College of Marine Science, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Republic of Korea

This study investigated the sexual maturation of the marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae*, a commercially important flatfish species, through monthly sampling from the coastal waters of Pohang in the East Sea of Korea in 2022. We analyzed monthly changes in total length (TL), gonadosomatic index, maturity stage, and 50%, 75%, and 97.5% group maturity based on visual assessments and histological analysis of the gonads. The spawning period was determined to be from December to May. The TL at 50% maturity was 26.4 cm for females and 24.8 cm for males. These findings provide a basis for developing resource management strategies for Pleuronectidae.

Keywords: East Sea, marbled flounder, *Pseudopleuronectes yokohamae*, sexual maturation

서 론

문치가자미(*Pseudopleuronectes yokohamae*)는 가자미목(Pleuronectiformes) 가자미과(Pleuronectidae)에 속하는 저서성 어류로 주로 북서태평양의 한국 전 해역, 동중국해 및 일본 북해도 이남 해역에 분포하는 것으로 알려져 있으며(Kim et al., 2005; Fricke et al., 2024; Froese and Pauly, 2024), 저서성 어류 중에서 가자미류는 전 세계적으로 서대류 다음에 많은 어획량을 보였다(Cheung and Oyindola, 2018). 한국 해양수산통계 어업생산동향조사에서 가자미류의 어획량은 가자미류로 통칭하여 집계하다가, 2015년에 기름가자미(*Glyptocephalus stelleri*)만을 구분하여 관리하고 있다(KOSIS, 2024). 한편, 문치가자미는 전 세계 동식물 종의 보존 상태를 제시하는 세계자연보전연

맹(International Union for Conservation of Nature, IUCN)의 적색 목록에서 멸종 위험이 낮지만, 가까운 미래에 위험에 처할 가능성이 있는 준위협(near threatened) 단계로 평가되는 어종이다(Tomiyama et al., 2021).

수산자원의 지속적 이용을 위한 보전 및 관리를 위하여 수산자원의 생물학적 특성을 이해하는 것은 중요하다. 특히, 산란시기, 성숙체장 등의 생식 생태 정보는 어류의 생활사를 이해하는 데 도움이 될 뿐만 아니라(Lowerre-Barbieri et al., 2016), 자원관리 방안 수립을 위한 근거 자료로도 이용되어(Grüss et al., 2014; Harada et al., 2015; Ilkyaz et al., 2018), 산란기와 성숙체장을 기준으로 금어기나 금지체장을 신설하거나 개정할 수 있다. 한국에서 가자미류의 금어기는 문치가자미에 적용하고 있으며, 금지체장 적용 어종은 문치가자미(*Pseudopleuronectes*

*Corresponding author: Tel: +82. 772. 9156 Fax: +82. 772. 9159

E-mail address: gwback@gnu.ac.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.2024.0380>

Korean J Fish Aquat Sci 57(4), 380-388, August 2024

Received 3 June 2024; Revised 28 June 2024; Accepted 16 July 2024

저자 직위: 최혜영(연구사), 정경미(연구사), 박정호(연구관), 문성용(연구사), 성기창(연구원), 백근욱(교수)

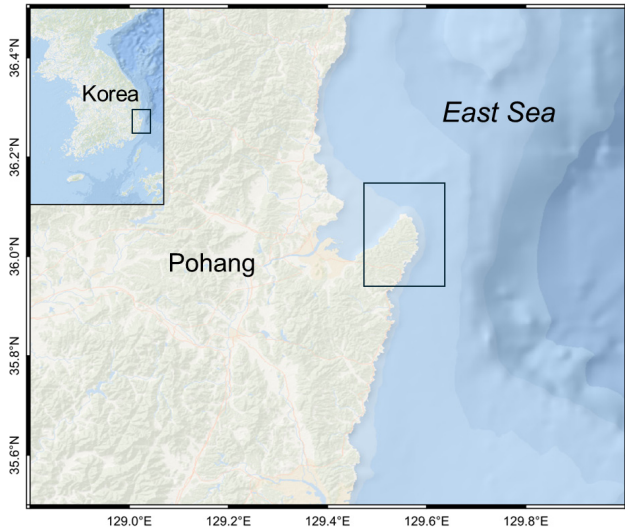


Fig. 1. Sampling area of the marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* in the East Sea of Korea in 2022.

yokohamae, 참가자미(*P. herzensteini*), 용가자미(*Cleisthenes pinetorum*), 기름가자미(*Glyptocephalus stelleri*) 4종에 해당된다. 그동안 문치가자미의 성 성숙에 관한 연구는 다른 어종에 비해 한국 동해, 서해, 남해 전 연안에서 많이 수행되었으나(Kang et al., 1985; Lee et al., 1985; Seo et al., 2010; Kim et al., 2016; Hwang et al., 2017), 어류의 생식 생태는 어획수준, 해양환경 변화 등에 영향을 받을 수 있으므로 주기적인 자료의 현행화가 지속적으로 필요하다(TenBrink and Wilderbuer, 2015).

본 연구는 동해안 문치가자미의 생식 생태를 파악하기 위하여 포항시 호미곶면 연안 해역에서 2022년 1월부터 12월까지 매 월 1회 연안자망으로 어획한 표본을 이용하였다. 문치가자미의 월별 크기를 파악하고, 생식소 육안 판별 및 조직 분석으로 생식소숙도지수 및 성숙도, 성숙전장을 추정하였다. 이를 통해 문치가자미 자원 관리 방안 마련에 필요한 생식 생태에 관한 자료를 확보하고자 한다.

재료 및 방법

동해안 문치가자미의 성숙 특성을 파악하기 위하여 2022년 1월부터 12월까지 경상북도 포항시 남구 호미곶면 주변 연안(Fig. 1)에서 연안자망으로 어획한 총 1,000개체(암컷 530마리, 수컷 470마리)를 분석에 이용하였다. 문치가자미 표본의 전장과 체중을 각각 0.1 cm, 0.1 g 단위로 측정 후 생식소를 분리하였다. 생식소는 전자저울(GF-300; A&D, San Jose, CA, USA)을 이용하여 0.01 g 단위로 측정 후 육안으로 성별과 숙도를 파악하였고, 숙도 판별이 어려운 경우 조직학적 분석을 위하여 10% 중성포르말린에 고정하였다.

생식소의 내부 구조 및 발달 단계를 파악하기 위하여 조직학

적 분석에 이용한 표본은 568개였다. 생식소 표본을 추출하여 Bouin's solution에 24시간 재고정한 후 수세와 탈수를 하였다. 이후 paraplast로 포매한 표본을 마이크로톰(RM 2255; Leica, Bensheim, Germany)을 이용해 4–6 μ m 두께의 절편으로 잘라내었다. 생식소 절편에 Harris's Hematoxylin-eosin 염색을 실시한 후 Marinol로 봉입하였다. 생식소 절편을 광학현미경으로 관찰하여 조직 발달 단계를 관찰하고, 성숙도를 미숙(immature), 중숙(maturing), 성숙(mature), 완숙(ripe), 방중 및 방후(spawning and spent)의 5단계로 구분하였다.

생식소 육안 판별 및 조직 분석으로 확인한 암컷과 수컷의 비율을 계산하였다. 성비의 유의미한 차이는 카이제곱 검정법(chi-squared test)으로 비교하였다.

생식소숙도지수(gonadosomatic index, GSI)는 다음 식으로 구하였다.

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

식에서 GW (gonad weight)는 생식소 중량(g), BW (body weight)는 체중(g)이다.

50%, 75%, 97.5% 성숙전장은 생식소숙도지수와 발달 단계 분석을 통해 산란기로 판단되는 시기에 성숙 단계 이상 개체를 당해 연도 산란 가능군으로 판단하여 그 비율을 이용해 다음의 로지스틱식(logistic)으로 추정하였다(King, 2007).

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

식에서 P_i 는 전장 계급 i 에서 성숙 비율, TL_i 는 전장 계급 i 의 전장, b 는 상수이다. 추정에는 R 패키지 sizeMat (Torrejon-Magallanes, 2020)를 이용하였다.

결 과

전장조성 및 성비

포항 연안해역에서 채집된 문치가자미 총 1,000개체의 전장 범위는 14.4–47.6 cm로 평균 26.5 cm였다(Table 1). 암컷과 수컷의 전장 범위는 각각 암컷이 14.4–47.6 cm, 수컷이 15.1–40.0 cm였으며, 평균 전장은 암컷(27.5 cm)이 수컷(25.3 cm) 보다 컸다. 전장 분포(Fig. 2)는 암컷의 경우 28–34 cm 계급군이 1월에 60%로 높은 비율을 보인 후 2월에 32%로 감소하였다. 2월에는 전장 28–34 cm 계급군이 53%를 차지하면서 10월까지 54–78%로 높은 비율로 나타났다. 11–12월에는 전장 28–34 cm 계급군이 다시 60% 이상으로 증가하였다. 수컷의 경우 1월부터 10월까지 전장 28 cm 미만 계급군이 평균 84.1%로 높은 비율을 보였고, 11–12월에는 전장 28–34 cm 계급군이 64.9–74.2%로 우점하였다. 전체 개체수에서 암컷과 수컷의 비

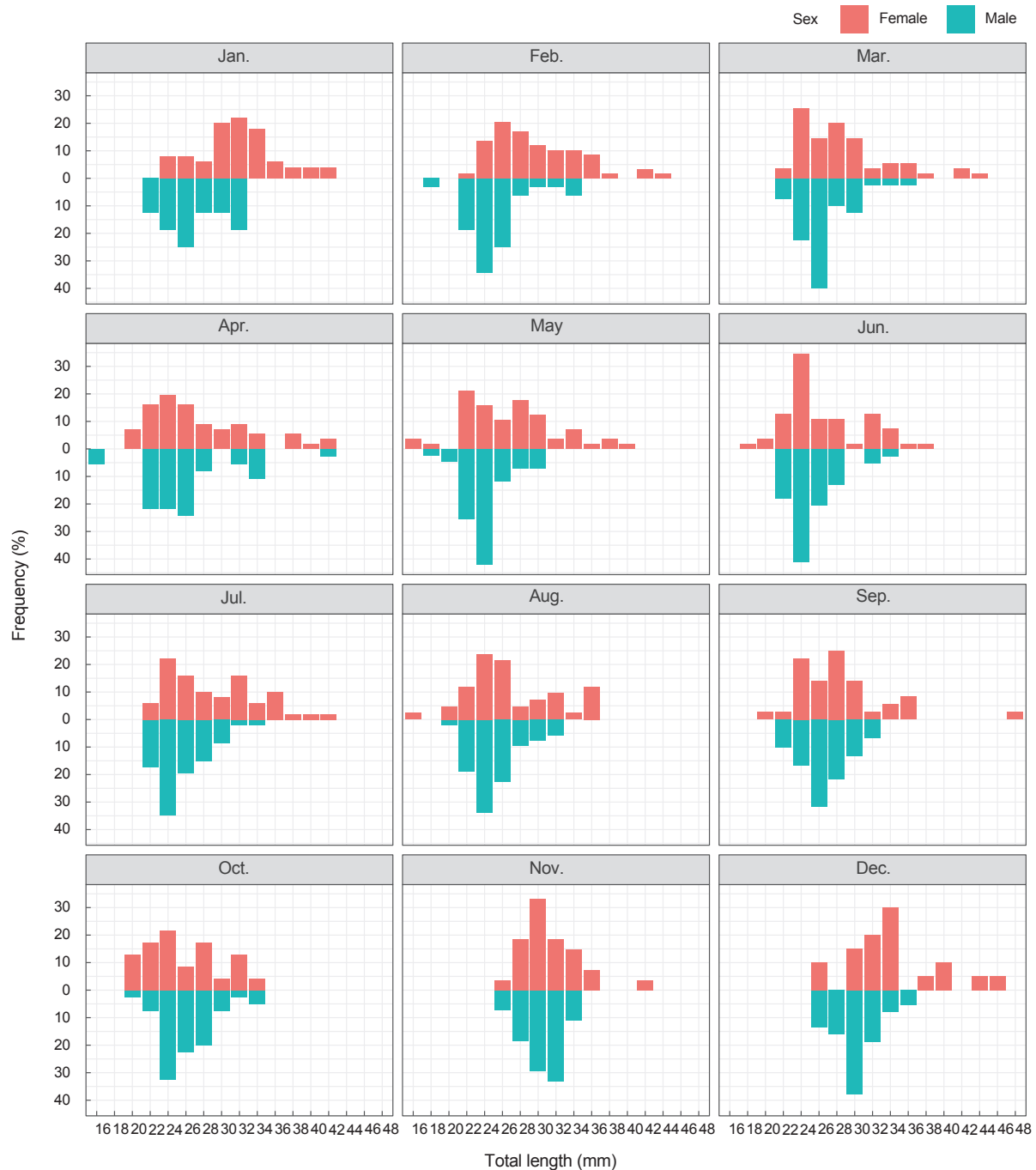


Fig. 2. Monthly total length frequency distribution of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* collected from the coastal waters of Pohang in the East Sea, Korea, in 2022.

는 53:47로 암컷의 비율이 보다 높았다(Table 1). 월별 성비는 유의한 차이가 있었다(χ^2 -test, $P < 0.001$).

생식소숙도지수(GSI) 월별 변화

월 평균 GSI를 분석한 결과 암컷과 수컷 모두 1월과 12월에

높은 값을 보였다(Fig. 3). 암컷은 1월에 17.79로 최고치를 보인 후 11월까지 0.55–5.97의 낮은 값을 가졌다. 12월에는 15.37로 급격히 증가하였다. 수컷은 1월에 13.36으로 높은 값을 보였고, 이후 11월까지 0.20–3.41의 값을 가졌으며, 12월에 15.01로 최고치를 나타냈다.

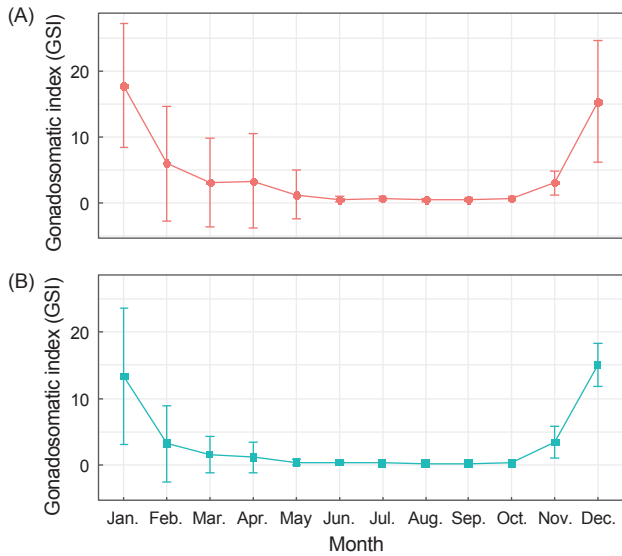


Fig. 3. Monthly gonadosomatic index of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* collected from the coastal waters of Pohang in the East Sea, Korea, in 2022. A, Female; B, Male.

생식소 조직 발달

암컷과 수컷 생식소의 조직학적 분석을 통해 생식소 조직의 발달과정을 분석하였다(Fig. 4, Fig. 5). 암컷 생식소는 미숙기에 난소가 매우 빈약하였으며, 난소소엽(ovarian lobule)에는 핵(nucleus)이 대부분을 차지하는 초기 난모세포(oocyte)가 있었다(Fig. 4A). 중숙기에 난소 조직 내에는 난황포(yolk

vesicle)와 난황과립(yolk granule)을 가진 난모세포(oocyte)가 나타났다(Fig. 4B). 성숙기에 난모세포는 계속 성장하였으며, 원형의 불규칙한 핵(nucleus)과 다량으로 축적된 난황(yolk)을 가졌다(Fig. 4C). 완숙기에 난황과립(yolk granule)과 유구(oil globule)가 세포질(cytoplasm)을 가득 채운 완숙된 난이 대부분이었다(Fig. 4D). 방중 및 방후기에는 난소소엽(ovarian lobule) 내에서 방출되지 않은 난모세포(oocyte)와 잔존여포(residual follicle)가 퇴화(degeneration) 및 흡수(absorption)되었다(Fig. 4E).

수컷 생식소는 미숙기에 정소에서 정원세포(spermatogonia)가 대부분이었고, 정세포(spermatid)가 일부 분포하였다(Fig. 5A). 중숙기에 정소소엽(testis lobule) 내강(lumen)에 다수의 정세포(spermatid)가 있었다(Fig. 5B). 성숙기에 성숙 변태를 마친 정자가 축적되기 시작하면서(Fig. 5C), 완숙기에 정자(spermatozoa)가 가득차 있었다(Fig. 5D). 방중 및 방후기에 방정 후 잔존한 정자가 퇴화 및 흡수되었다(Fig. 5E).

성숙도 월별 변화

암컷의 미숙 개체는 매월 나타났으며 1월에 3.6%로 가장 적은 비율로 출현하여 점차 증가하면서 6–8월에 100%를 차지하였다(Fig. 6A). 이후 11월까지 감소하여 11월에는 3.7%로 비율이 적었다. 중숙 개체는 9–11월에 출현하여 10월에 40%로 비율이 높았고, 11월에는 성숙개체가 77.8%를 차지하면서 감소하였다. 완숙 개체는 1월과 12월에 82.0–85.0%로 높은 비율을 차지하였고, 2–5월에는 9.1–20.0%로 비율이 낮았다. 방중 및 방후 개체는 1–4월에 출현하였다.

수컷의 미숙 개체는 11월과 12월을 제외한 모든 월에 나타났

Table 1. Total length (TL) and sex ratio of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* collected from the coastal waters of Pohang in the East Sea, Korea, in 2022

Month	Female				Male			
	N	TL range (cm)	Mean TL (cm)	Sex ratio (%)	N	TL range (cm)	Mean TL (cm)	Sex ratio (%)
Jan.	50	22.0–41.5	30.6	75.8	16	21.4–30.8	26.0	24.2
Feb.	59	20.8–42.4	28.7	64.8	32	17.9–32.8	24.3	35.2
Mar.	55	20.5–43.3	27.5	57.9	40	20.5–34.1	25.5	42.1
Apr.	56	18.3–40.4	26.4	60.2	37	15.1–40.0	24.9	39.8
May.	57	15.5–39.4	25.7	57.0	43	17.7–29.5	23.1	43.0
Jun.	55	17.5–37.0	25.3	58.5	39	20.8–33.5	24.1	41.5
Jul.	50	20.8–40.8	28.2	52.1	46	20.6–33.3	24.5	47.9
Aug.	42	14.4–35.5	25.8	44.2	53	19.2–30.8	24.3	55.8
Sep.	36	19.7–47.6	27.3	37.5	60	20.3–31.1	25.5	62.5
Oct.	23	18.8–32.4	24.9	36.5	40	18.1–32.8	25.0	63.5
Nov.	27	25.2–40.0	30.1	50.0	27	25.2–33.2	29.2	50.0
Dec.	20	24.3–45.0	33.0	35.1	37	25.0–35.1	29.0	64.9
Total	530	14.4–47.6	27.5	53.0	470	15.1–40.0	25.3	47.0

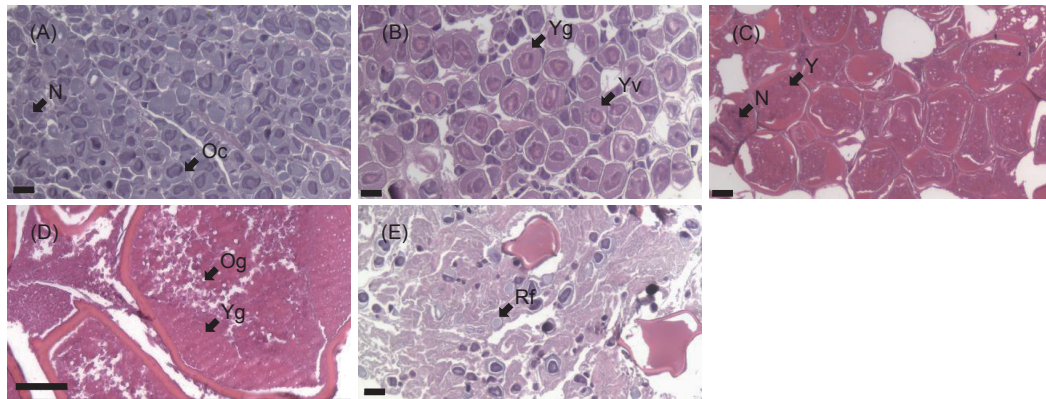


Fig. 4. Photomicrographs of ovarian development in the marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* collected from the coastal waters of Pohang in the East Sea, Korea, in 2022. A, Immature stage; B, Maturing stage; C, Mature stage; D, Ripe stage; E, Spawning and spent stage; N, Nucleus; Oc, Oocyte; Og, Oil globule; Rf, Residual follicle; Y, Yolk; Yg, Yolk granule; Yv, Yolk vesicle. Scale bars=100 μ m.

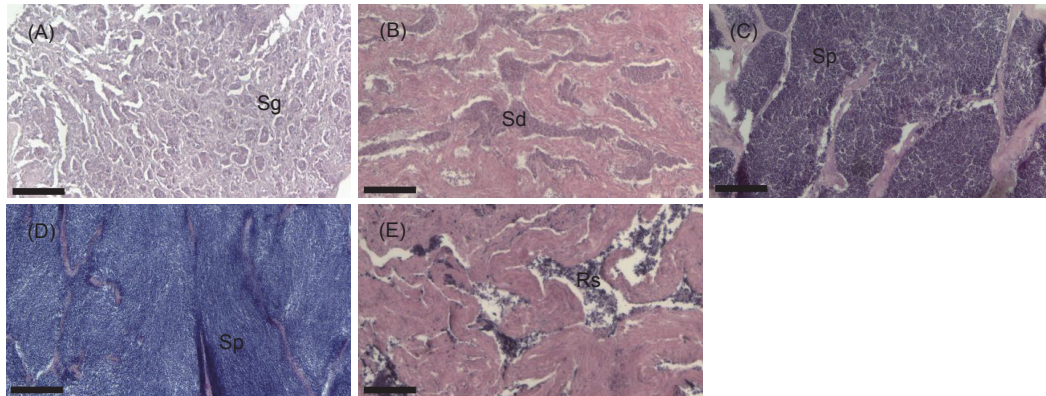


Fig. 5. Photomicrographs of testis development in the marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* collected from the coastal waters of Pohang in the East Sea, Korea, in 2022. A, Immature stage; B, Maturing stage; C, Mature stage; D, Ripe stage; E, Spawning and spent stage; Rs, Residual sperm; Sd, Spermatid; Sg, Spermatogonia; Sp, Spermatozoa. Scale bars=100 μ m.

으며(Fig. 6B), 1월부터 증가하여 암컷보다 빠른 6월에 100%를 차지하였다. 이후 10월까지 중숙 개체와 함께 출현하면서 감소하다가 10월에 53.3%로 다소 증가하였다. 중숙 개체는 2월, 4월, 11월에도 적은 비율(3.6–13.3%)로 출현하였다. 성숙개체

는 암컷과 동일하게 11월만 출현하여 가장 높은 비율(92.6%)을 차지하였다. 완숙개체는 1–4월과 11월에 낮은 비율을(3.7–37.5%) 보인 반면, 12월 100%를 차지하였다. 방중 및 방후 개체는 1월에 가장 높은 비율로 나타난 후에 5월까지 감소하였다.

Table 2. Studies on sexual maturation of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* in Korea

Area	Study period	TL range (cm)	Mean TL (cm)		Spawning period (month)	L_{50} (cm)		References
			Female	Male		Female	Male	
East Sea	Jan. 2022-Dec. 2022	14.4–47.6	27.5	25.3	Dec.-May	26.4	24.8	This study
	Jan. 2013-Dec. 2014	13.9–46.6	27.0	24.6	Dec.-Feb.	27.4	23.5	Kim et al. (2016)
West Sea	Feb. 2009-Dec. 2010	14.1–51.5	32.5	28.2	Jan.-Apr.	24.5	-	Hwang et al. (2017)
	May 2006-Apr. 2007	14.2–41.9	23.7	21.3	Nov.-Feb.	19.8	-	Seo et al. (2010)
South Sea	Dec. 1983- Nov. 1984	10.9–41.1	-	-	Dec.-Jan.	19.5	16.5	Kang et al. (1985), Lee et al. (1985)

TL, Total length; L_{50} , Length at 50% maturity.

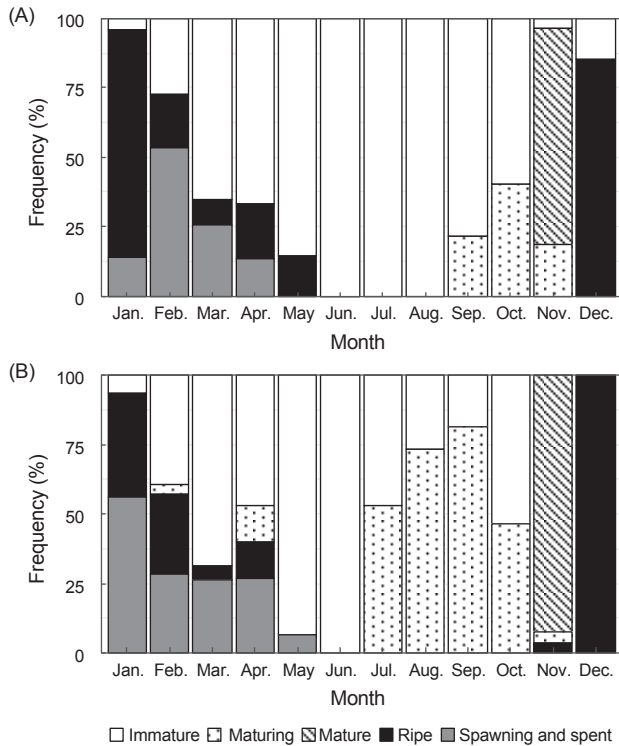


Fig. 6. Monthly frequency of maturity stages of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* collected from the coastal waters of Pohang in the East Sea, Korea, in 2022. A, Female; B, Male.

성숙전장

문치가자미 암컷과 수컷의 성숙전장을 추정하기 위하여 산란기로 판단되는 12월-이듬해 5월의 성숙 단계 이상 개체를 로지스틱 모형 분석에 이용하였다. 문치가자미 암컷의 50% 성숙전장은 26.4 cm, 75% 성숙전장은 29.7 cm, 97.5% 성숙전장은 37.4 cm로 추정되었고(Fig. 7A), 수컷의 50% 성숙전장은 24.8 cm, 75% 성숙전장은 27.0 cm, 97.5% 성숙전장은 32.3 cm로 추정되었다(Fig. 7B).

고 찰

동해 연안 문치가자미의 성 성숙 연구를 위하여 2022년 1월부터 12월까지 채집한 시료의 평균 전장은 암컷이 27.5 cm, 수컷이 25.3 cm로 암컷이 수컷보다 컸다. 문치가자미의 이론적 최대 전장은 암컷이 수컷보다 큰 것으로 알려져 있으며(Hwang et al., 2017; Yang et al., 2017), 한국 동해, 서해 및 남해의 문치가자미도 암컷이 수컷보다 큰 것은 유사한 결과였다(Table 2). 본 연구 시료의 전장은 2013-2014년에 동해에서 연구된 수행된 문치가자미(암컷 27.0 cm, 수컷 24.6 cm; Kim et al., 2016)와 비교하였을 때 다소 컸으나 차이는 적었다. 해역별로는 암컷과 수컷의 전장 모두가 서해 문치가자미가 가장 컸고(Hwang et

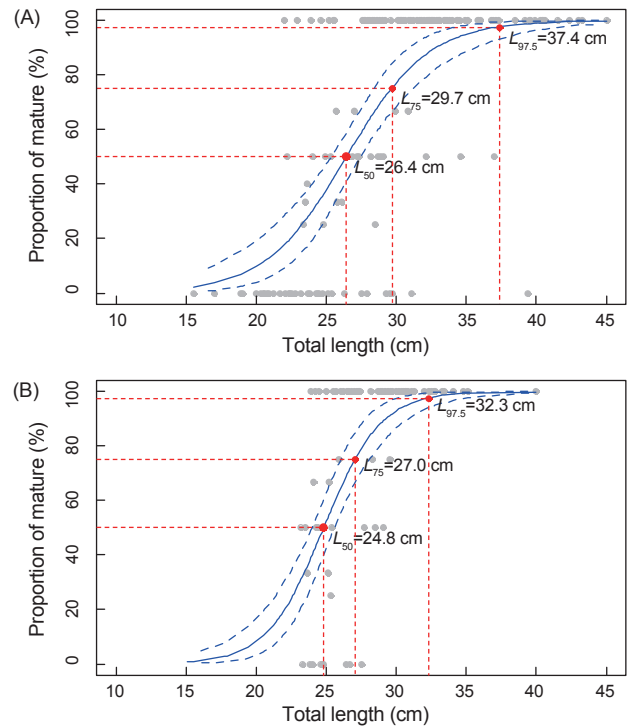


Fig. 7. A logistic function fitting proportion of mature to total length of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* collected from the coastal waters of Pohang in the East Sea, Korea, in 2022. A, Female; B, Male; L_{50} , 50% group maturation; L_{75} , 75% group maturation; $L_{97.5}$, 97.5% group maturation.

al., 2017), 남해 문치가자미가 가장 작게 나타난 것으로 보고되었다(Kang et al., 1985; Lee et al., 1985; Seo et al., 2010). 어류 성장은 지리적 위치, 먹이생물, 분포 밀도 등(Lee et al., 2009; Lin and Costello, 2023)에 따라 차이가 나타날 가능성이 있으므로 향후 문치가자미의 서식환경을 함께 연구하면 해역별 크기 차이를 이해하는데 유용한 것으로 판단된다.

본 연구는 포항 연안에 서식하는 문치가자미의 산란기를 확인하기 위해 암컷의 생식소 육안 판별 및 조직학적 분석의 병행으로 파악한 생식소숙도지수와 성숙도의 월 변화(Fig. 3, Fig. 6)를 기준으로 산란기는 12월-이듬해 5월로 추정되었다. 이2는 문치가자미 암컷의 생식소숙도지수가 12월에 급격히 증가하면서 1월에 정점을 보인 후 감소하기 시작하였고, 6월부터 낮은 값을 보였다. 암컷 생식소의 성숙도의 경우 11월에 성숙, 중숙, 미숙개체 순으로 출현비율이 컸고, 12월에는 완숙개체가 대부분을 차지하였다. 본 연구를 통해 확인한 포항 연안해역에 서식하는 문치가자미 산란기(12월-이듬해 5월)는 선행된 연구 결과들과 차이를 보였는데, 동해에서 12월-이듬해 2월(Kim et al., 2016), 남해에서 11월-이듬해 2월(Kang et al., 1985; Lee et al., 1985; Seo et al., 2010), 서해에서 1-4월(Hwang et al., 2017)이었다(Table 2). Kim et al. (2016)이 문치가자미를 동계산란형으

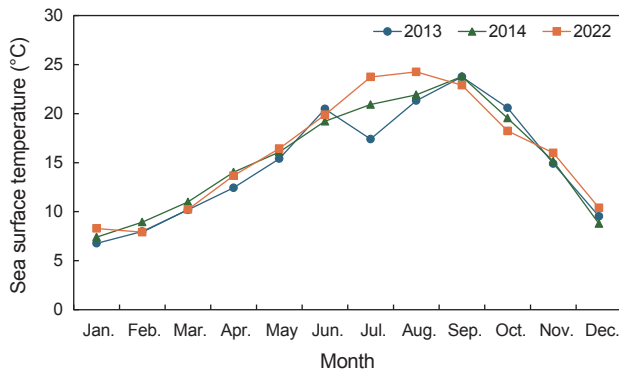


Fig. 8. Sea surface temperature in the coastal waters of Pohang in the East Sea of Korea during 2013–2014 and 2022. Data were collected from KODC (2024).

로 구분한 것과 달리 본 연구에서는 초봄까지도 산란이 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.

어류는 산란에 적합한 시공간을 가진다. 산란에 영향을 미치는 요인 중 하나는 수온으로(Dahlke et al., 2020), 일정 수온 범위 내에서 산란된 알이 정상적으로 발생할 수 있기 때문이다(Tsoukali et al., 2016). 본 연구에서 문치가자미 산란기의 월 평균 표층수온은 7.9–16.4°C, 평균 표층수온은 8.9°C였다(KODC, 2024; Fig. 8). Kim et al. (2016)이 2013–2014년 동해에서 연구한 문치가자미 산란기(12월–다음해 2월)의 월 평균 수온은 6.9–9.5°C, 평균 수온은 8.2°C로 본 연구와 0.7°C 차이가 났다. 본 연구와 Kim et al. (2016)에서 문치가자미 산란기의 수온은 난 발생이 정상적으로 이루어지는 범위(5–16°C)였다(Yamamoto, 1939; Yusa et al., 1971; Kim et al., 1983; Lee et al., 2017). 그러나, 2013–2014년에 5월까지의 수온은 10.2–15.4°C로 정상적인 난 발생이 이루어질 수 있는 범위였음에도 불구하고 산란은 이루어지지 않았다(Kim et al., 2016). 한편, 산란기 동안 문치가자미의 이동 패턴을 산란장으로 알려진 해역에서 초음파 송신기로 추적한 결과 대부분이 산란장 탐색만을 위한 이동을 보이는 것으로 보고되었다(Yamamoto et al., 2021). 문치가자미의 생식 생태를 정밀하게 이해하기 위해서는 대상 해역에서 난·자치어의 시·공간적 분포와 서식환경에 대한 조사도 함께 이루어져야 할 것으로 생각된다.

어류의 성숙크기(전장)는 금지체장 설정에 있어서 과학적인 근거 자료가 된다. 일반적으로 50% 성숙크기를 이용하며(Chen and Paloheimo, 1994; Reed et al., 2023), 본 연구는 향후 문치가자미의 자원상태에 따른 회복 수단 마련을 위하여 50%, 75%, 97.5% 성숙전장을 구하였다. 문치가자미 암컷의 50%, 75%, 97.5% 성숙전장은 각각 26.4 cm, 29.7 cm, 37.4 cm로 추정되었고, 수컷의 50%, 75%, 97.5% 성숙전장은 24.8 cm, 27.0 cm, 32.3 cm로 추정되었다(Fig. 7). 선행된 연구에서 문치가자미 암컷의 50% 성숙전장은 동해에서 27.4 cm로 다소 컸지만

(Kim et al., 2016), 서해와 남해에서는 19.5–19.8 cm로 보다 작았다(Kang et al., 1985; Lee et al., 1985; Seo et al., 2010) (Table 2). 다른 가자미류[물가자미(*Eopsetta grigorjewi*), 홍가자미(*Hippoglossoides dubius*)]도 동일 종의 성숙전장의 차이가 해역에 따라서 4–5 cm 이상 차이를 보이는 것으로 보고되었다(Cha et al., 2011; Choi et al., 2013). 수컷의 50% 성숙전장은 평균 전장과 마찬가지로 모든 해역에서 수컷이 암컷보다 작았다(Table 2). 한편, 한국에서 그 동안 수행된 문치가자미의 성 성숙 연구에서 산란 가능군의 기준이 중숙 또는 성숙 개체 이상으로 달랐으며, 성숙도는 생식소의 육안 판별 또는 조직학적 분석으로 결정되었다. 합리적인 자원관리 방안을 위한 과학적 근거 자료 마련을 위해서는 육안 판별보다 정확한 생식소 조직학적 분석(Vitale et al., 2006)을 통한 결과 도출이 필요한 것으로 보인다.

사 사

본 연구는 2024년 국립수산물과학원(연구사업 R2024010, P2024032)에 의해 수행되었습니다.

References

- Cha HK, Kang SK, Choi JH, Oh TY and Seo YI. 2011. Reproduction of the shotted halibut in the southern Korean waters. J Kor Soc Fish Tech 47, 194–202. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2011.47.3.194>.
- Chen Y and Paloheimo JE. 1994. Estimating fish length and age at 50% maturity using a logistic type model. Aquat Sci 56, 206–219. <https://doi.org/10.1007/BF00879965>.
- Cheung WW and Oyinlola MA. 2018. Vulnerability of flatfish and their fisheries to climate change. J Sea Res 140, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2018.06.006>.
- Choi YM, Yoon BS, Park JH, Park KY, Sohn MH, Lee JB and Kim JW. 2013. Maturation and spawning of the flathead flounder *Hippoglossoides dubius* off the coast of Gangwon Province, East Sea of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 46, 835–842. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0835>.
- Dahlke FT, Wohlrab S, Butzin M and Portner HO. 2020. Thermal bottlenecks in the life cycle define climate vulnerability of fish. Science 369, 65–70. <https://doi.org/10.1126/science.aaz3658>.
- Fricke R, Eschmeyer WN and Van der Laan R. 2024. Eschmeyer's Catalog of Fishes: Genera, Species, References. Retrieved from <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp> on May 31, 2024.
- Froese R and Pauly D. 2024. FishBase. Retrieved from <https://www.fishbase.se> on May 31, 2024.
- Grüss A, Robinson J, Heppell SS, Heppell SA and Semmens BX. 2014. Conservation and fisheries effects of spawning

- aggregation marine protected areas: What we know, where we should go, and what we need to get there. *ICES J Mar Sci* 71, 1515-1534. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu038>.
- Harada AE, Lindgren EA, Hermsmeier MC, Rogowski PA, Ter-rill E and Burton RS. 2015. Monitoring spawning activity in a southern California marine protected area using molecular identification of fish eggs. *PLoS One* 10, e0134647. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134647>.
- Hwang SW, Hwang H and Hwang SD. 2017. Maturity and growth of marbled sole, *Pseudopleuronectes yokohamae* in the West Sea of Korea. *Ocean Polar Res* 39, 279-292. <https://doi.org/10.4217/OPR.2017.39.4.279>.
- Ilkyaz AT, Metin G, Soykan O and Kinacigil HT. 2018. Spaw-ning season, first maturity length and age of 21 fish species from the central Aegean Sea, Turkey. *TrJFAS* 18, 211-216. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v18_1_24.
- Kang YJ, Lee TK and Lee BD. 1985. Reproduction and popu-lation dynamics of marbled sole *Limanda yokohamae* 2. population dynamics. *Bull Korean Fish Soc* 18, 261-265.
- Kim IS, Choi Y, Lee CL, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. KyoHak Publication, Seoul, Korea, 482.
- Kim SR, Cha HK, Lee JB, Lee HW, Yang JH, Baek HJ and Kim ST. 2016. Maturity and spawning of the marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* off the coast of Pohang, East Sea. *Korean J Fish Aqua Sci* 49, 367-375. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0367>.
- Kim YU, Myoung JG and Park JS. 1983. Eggs development and larvae of the right-eye flounder, *Limanda yokohamae* Gunther. *Bull Korean Fish Soc* 16, 389-394.
- King MG. 2007. Fisheries Biology, Assessment and Manage-ment: 2nd. Blackwell Scientific Publication, Oxford, Eng-land. <https://doi.org/10.1002/9781118688038>.
- KODC (Korea Oceanographic Data Center). 2024. Coastal Oceanographic Observation. Retrieved from <https://www.nifs.go.kr/kodc/index.kodc> on May 31, 2024.
- KOSIS (Korean Statistical Information on Service). 2024. Sta-tistic Databased for Fishery Production Survey. Retrieved from <https://kosis.kr/index/index.do> on May 31, 2024.
- Lee JH, Kodama K, Oyama M, Kume G, Takao Y, Shiraishi H and Horiguchi T. 2009. Changes in growth of marbled sole *Pseudopleuronectes yokohamae* between high and low stock-size periods in Tokyo Bay, Japan. *Fish Sci* 75, 929-935. <https://doi.org/10.1007/s12562-009-0117-x>.
- Lee JH, Kodama K, Oyama M, Shiraishi H and Horiguchi T. 2017. Effect of water temperature on survival of early-life stages of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* in Tokyo Bay, Japan. *Mar Environ Res* 128, 107-113. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.05.024>.
- Lee TY, Kang YJ and Lee BD. 1985. Reproduction and popula-tion dynamics of marbled sole *Limanda yokohamae* 1. Re-production. *Bull Korean Fish Soc* 18, 253-261.
- Lin HY and Costello MJ. 2023. Body size and trophic level in-crease with latitude, and decrease in the deep-sea and Ant-arctica, for marine fish species. *PeerJ* 11, e15880. <https://doi.org/10.7717/peerj.15880>.
- Lowerre-Barbieri S, DeCelles G, Pepin P, Catalán IA, Muhling B, Erisman B, Cadrin S, Alos J, Ospina-Alvarez A, Stachura MM, Tringali MD, Burnsed SW and Paris CB. 2016. Re-productive resilience: A paradigm shift in understanding spawner-recruit systems in exploited marine fish. *Fish Fish* 18, 285-312. <https://doi.org/10.1111/faf.12180>.
- Reed EM, Brown-Peterson NJ, DeMartini EE and Andrews AH. 2023. Effects of data sources and biological criteria on length-at-maturity estimates and spawning periodicity of the commercially important Hawaiian snapper, *Etelis cor-uscans*. *Front Mar Sci* 10, 1102388. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1102388>.
- Seo YI, Joo H, Lee SK, Kim HY, Ko JC, Choi MS, Kim JI and Oh TY. 2010. Maturity and spawning of marbled sole *Pleu-ronectes yokohamae* in the southern Sea of Korea. *Korean J Ichthyol* 22, 83-89.
- TenBrink TT and Wilderbuer TK. 2015. Updated maturity es-timates for flatfishes (Pleuronectidae) in the eastern Bering Sea, with implications for fisheries management. *Mar Coas Fish* 7, 474-482. <https://doi.org/10.1080/19425120.2015.1091411>.
- Tomiyama T, Orlov AM, Volvenko IV and Munroe TA. 2021. *Pseudopleuronectes yokohamae*. The IUCN Red List of Threatened Species 2021, e.T158637499A158638126. Re-trieved from <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-2.RLTS.T158637499A158638126.en> on May 31, 2024.
- Torreon-Magallanes J. 2020. sizeMat: An R Package to Esti-mate Size at Sexual Maturity. Retrieved from <https://cran.r-project.org/web/packages/sizeMat/vignettes/sizeMat.html> on May 31, 2024.
- Tsoukali S, Visser AW and MacKenzie BR. 2016. Functional responses of North Atlantic fish eggs to increasing tem-perature. *Mar Ecol Prog Ser* 555, 151-165. <https://doi.org/10.3354/meps11758>.
- Vitale F, Svedäng H and Cardinale M. 2006. Histological analy-sis invalidates macroscopically determined maturity ogives of the Kattegat cod (*Gadus morhua*) and suggests new proxies for estimating maturity status of individual fish. *ICES J Mar Sci* 63, 485-492. <https://doi.org/10.1016/j.ices-jms.2005.09.001>.
- Yamamoto S, Mitamura H, Obitsu N and Sato M. 2021. Resi-dence and movement patterns of the marbled flounder *Pseu-dopleuronectes yokohamae* around a spawning ground in southern Suo Nada, Seto Inland Sea, Japan. *Fish Sci* 87, 161-171. <https://doi.org/10.1007/s12562-020-01482-6>.
- Yamamoto T. 1939. Effects of temperature and salinity on the embryonal development of eggs of *Pseudopleuronectes yo-kohamae* (Günther). *Bull Jap Soc Sci Fish* 8, 102-106.

- Yang JH, Lee JB, Cha HK, Kim ST and Yoon BS. 2017. The age and growth of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* in the coastal waters of East Sea off Pohang. Korean J Fish Aquat Sci 50, 278-286. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0278>.
- Yusa T, Forrester CR and Iioka C. 1971. Eggs and larvae of *Limanda yokohamae* (Günther). Technical Report 236, Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, Canada, 1-21.