

한국 남해안에 서식하는 보구치(*Pennahia argentatus*)의 성숙과 산란

전복순 · 최정화 · 임양재 · 이해원* · 김재원¹

국립수산과학원 수산자원연구센터, ¹강원도립대학교 해양양식식품학과

Maturity and Spawning of White Croaker *Pennahia argentatus* in the Southern Sea of Korea

Bok-Soon Jeon, Jung-Hwa Choi, Yang-Jae Im, Hae-Won Lee* and Jae Won Kim¹

Fisheries Resources Research Center, National Institute of Fisheries Science, Tongyoung 53064, Korea

¹Department of Marine Life Science & Aquaculture, Gangwon Provincial College, Gangneung 25425, Korea

The maturation and spawning of white croaker *Pennahia argentatus* were investigated using samples collected in the Southern Sea of Korea from January to December 2018. We analysed monthly changes in maturity stage, gonadosomatic index (GSI), total length (TL) at 50% group maturity. The spawning period was May to July. Fecundity varied between 71,627 and 888,041 eggs. The relationship between the fecundity and TL of the fish was expressed in the fecundity equation as $F=0.2198TL^{4.2784}$ ($r^2=0.8423$). The percentage of sexually mature females estimated from a logistic function was over 50% for the size group 19.33 cm (total length, TL).

Keywords: *Pennahia argentatus*, White croaker, Maturation and spawning, Group maturity

서론

보구치는 농어목 민어과에 속하는 어종으로 우리나라 동해 남부와 서해 및 제주도를 포함한 남해, 일본에서 인도, 태평양까지 널리 분포하며, 수심 20-140 m의 모래와 개펄 지역의 저층부에 서식한다. 형태는 몸과 머리는 측편되어 있고, 체고가 약간 높은 방추형으로 등은 황갈색, 배는 은백색을 띠며 아가미 뚜껑에 크고 검은 반점이 1개 있다(NFRDI, 2004; Kim et al., 2005). 보구치는 주로 외끌이대형기선저인망, 쌍끌이대형기선저인망, 연안복합, 근해자망 어업 등에 의해 어획되며(NFRDI, 2010), 어획량은 1984년까지 증가하여 10,655톤까지 높은 수준을 보이다가 그 이후 감소하기 시작하여 1993년에는 929톤으로 급격히 감소하였다(KOSIS, 1996). 이후 다시 소폭의 증가와 감소를 반복하면서 2018년 2,700톤 정도의 여전히 낮은 수준에 머무르고 있다.

보구치에 관한 연구를 살펴보면, 일본 근해에 서식하는 보구치에 대해서 연령과 성장, 지리적 변이에 따른 성장, 생식주기 및 성성숙에 관한 연구(Higuchi et al., 2003; Yamaguchi et al., 2004; Yamaguchi et al., 2006) 등이 있다. 국내에서는 후기 자

어의 먹이 선택성 및 식성에 관한 연구(Cha and Park, 2001; Koh et al., 2014) 등이 있으며, 1999년 보구치의 자원생태학적 연구(Baik et al., 1999; Kwon et al., 1999; Kang et al., 1999; Zhang et al., 1999a; Zhang et al., 1999b) 및 한국 연근해 보구치의 자원변동 예측(Lee and Zhang, 2001)에 관한 일련의 자원생물학적 연구가 진행되었다. 이후 보구치 자원의 효율적인 이용과 관리를 위해서는 주기적이고, 지속적인 연구가 필요하다.

따라서 본 연구는 보구치의 재생산에 관련된 산란생태를 파악하기 위한 생식소 속도의 월별 변화, 포란수, 성숙체장 등을 구명하여, 과거의 연구 자료와 비교 검토하고, 자원의 지속적인 이용 및 관리 방안 마련을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구에 사용된 재료는 2018년 1월부터 12월까지 우리나라 남해안에서 서남해구외끌이 기선저인망과 외끌이대형기선저인망에 의해 어획된 것을 부산 공동어시장에서 구입하였다(Fig. 1). 구입한 시료는 실험실에서 전장(total length, TL)과 체중(body weight, BW)를 각각 0.1 cm, 0.01 g 단위로 측정하였

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 650. 2260 Fax: +82. 55. 650. 2206

E-mail address: roundsea@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.2020.0036>

Korean J Fish Aquat Sci 53(1), 36-42, February 2020

Received 26 December 2019; Revised 21 January 2020; Accepted 6 February 2020

저자 직위: 전복순(석사 후 인턴 연구원), 최정화(연구관), 임양재(센터장), 이해원(연구사), 김재원(교수)

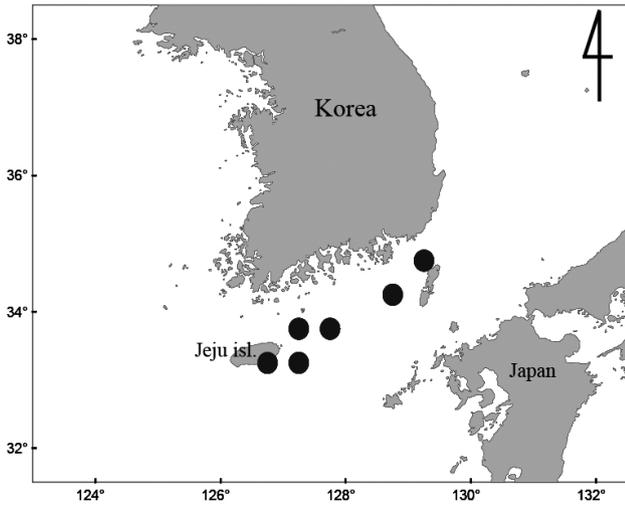


Fig. 1. Sampling area of white croaker *Pennahia argentatus* in the Southern Sea of Korea.

으며, 생식소 중량(gonad weight, GW)은 0.01 g까지 측정하였다. 보구치의 생식소 발달과정 및 산란기를 추정하기 위하여 생식소의 육안 관찰과 조직관찰을 병행하였으며, 생식소숙도지수(gonadosomatic index, GSI)의 월별 변화를 조사하였다. 육안에 의한 생식소 숙도 단계는 생식소의 크기, 색조와 난의 투명상태, 난립의 크기 등에 따라 미숙(immature), 중숙(mmatur-ing), 완숙(mature), 방중(spawning), 방후(spent)의 5단계로 구분하였다. 생식소 발달의 조직학적 변화를 관찰하기 위해서 생식소를 추출한 후 Bouin's solution에 24시간 고정하였고, 이후 수세와 탈수 과정을 거쳐 Paraplast에 포매후 6 µm 두께로 연속 절편하여 표본을 만들었다. 조직표본은 xylene 용액에서 파라핀을 제거한 후 알코올에서 저농도 순의 단계로 친수 과정을 거쳐 조직 내에 수분을 첨가시켰다. 그 후 Mayer's Haematoxylin 과 0.5 % eosin 이중염색으로 조직표본을 만들고 영상분석 장치로 검경하였다.

생식소숙도지수(gonadosomatic index, GSI)는 아래의 식을 사용하여 계산하였다.

$$GSI = \frac{GW}{BW} \times 100$$

여기서 GW는 생식소 중량, BW는 체중이다.

산란시기 및 산란횟수 등을 확인하기 위해 난경을 측정하였다. 난경은 산란기간 동안 각 체급별 발달단계별 개체를 선택하여, 난소 내 난괴를 gilson 용액에 넣어 분리한 후, 난의 장경을 해부현미경(Olympus SZX16, Olympus, Tokyo, Japan) 과 영상분석프로그램(i-solution x64, i-solution Inc., Burnaby, Canada)을 이용하여 0.001 mm까지 측정하였다.

재생산력을 파악하기 위하여 포란수 및 성숙도를 확인하였다

포란수는 주 산란기로 추정되는 시기에 성숙 이상의 개체 중 산란흔적이 없는 개체를 선정하여 난을 완전히 분리한 후 해부현미경으로 계수하여 습중량법으로 구하였다.

$$F = \frac{A-B}{C} \times e$$

여기서 A는 난소의 중량, B는 난소의 껍질 중량, C는 난소의 일부 중량, 그리고 e는 C에서 계수된 난 수이다.

성숙체장은 산란기간 중 암컷의 체장계급별 중숙 이상의 개체 비율을 구하였으며, logistis 식을 사용하여 50% 성숙체장(TL)을 추정하였다.

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{(b_1 - b_2 \cdot TL_i)}}$$

여기서, P_i 는 i 체장계급에서의 성숙비율, TL_i 는 i 체장계급의 전장(TL), 그리고 b_1, b_2 는 상수이다. 일반적으로 50% 성숙 체장만을 추정하지만, 성숙체장은 포획 금지체장 및 자원 상태를 파악하는 중요한 근거자료가 되므로 본 연구에서는 50%, 75%, 97.5%의 성숙체장을 추정하여 좀 더 적합한 자원관리를 위한 근거 자료를 제시하고자 하였다.

결 과

2018년 1월부터 12월까지 본 연구에 사용된 보구치의 총 개체수는 2,939개체였다. 전장(TL) 범위는 암컷이 13.5-35.7 cm, 수컷은 12.8-34.3 cm, 평균 전장(TL)은 암컷이 24.2 cm, 수컷은 23.7 cm로 최대 전장(TL)과 평균 전장(TL)은 암컷이 더

Table 1. Number of individuals and range of total length of white croaker *Pennahia argentatus* in the Southern Sea of Korea

Month	No. of inds.		Range of TL (cm)		Mean TL (cm)	
	F	M	F	M	F	M
Jan.	175	152	18.8-31.6	18.7-30.3	24.0	23.0
Feb.	162	102	18.9-35.0	18.6-31.0	25.2	24.2
Mar.	156	86	17.0-33.6	17.3-32.6	24.1	24.3
Apr.	181	76	18.5-33.3	17.0-31.0	23.5	23.3
May	119	102	18.4-34.8	18.2-32.4	24.1	23.8
Jun.	103	162	17.4-30.5	16.2-28.6	22.9	22.7
Jul.	41	109	19.4-24.5	20.0-24.6	22.3	22.2
Aug.	180	81	22.2-34.7	22.6-33.1	26.6	27.2
Sep.	57	56	24.0-35.3	23.2-33.7	26.7	26.9
Oct.	139	145	17.8-30.2	19.0-30.0	23.0	23.9
Nov.	90	151	18.0-35.7	17.1-34.3	25.1	24.6
Dec.	166	148	13.5-30.3	12.8-29.7	22.7	22.0
Total	1,569	1,370	13.5-35.7	12.8-34.3	24.2	23.7

TL, total length; F, female; M, male.

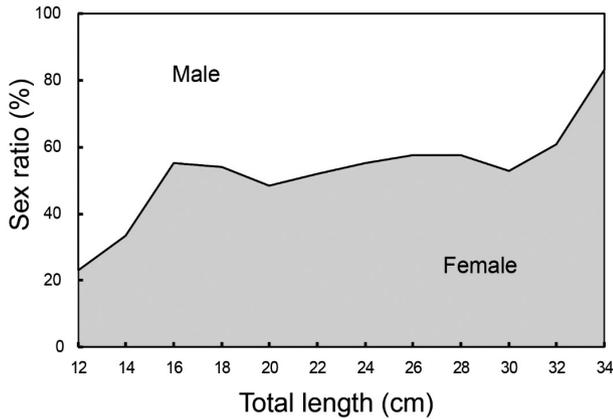


Fig. 2. Sex ratio of white croaker *Pennahia argentatus* in the Southern Sea of Korea.

큰 것으로 나타났다(Table 1). 보구치의 전체 암수 별 성비는 53.4:46.6으로 암컷 비율이 수컷 보다 높게 나왔으며($P < 0.001$), 체급별 성비는 16 cm 이하에서는 수컷의 비율이 높았고, 그 이상에서는 암컷의 비율이 다소 높게 나타나다가 32 cm 이상에서는 암컷의 비율이 월등히 높게 나타났다(Fig. 2).

생식소의 발달 단계를 알아보기 위해 암컷 생식소의 조직학적 변화를 월별로 살펴 보면(Fig. 3), 1월과 2월의 미숙단계에서는 난소가 활성화되기 시작하여 초기 성장기의 난소 소엽내에서는 5-10 μm 의 난원세포와 핵막 쪽에 다수의 인을 가진 10-20 μm 의 초기 난모세포들이 출현하였다(Fig. 3A). 3월에 접어들면 대부분의 개체가 성장기의 난소를 갖는데, 난소 내에서는 주변 인기 난모세포와 난황구가 증가하면서 난소 소엽을 채웠고 난막도 비후하기 시작하였다(Fig. 3B). 4월과 5월에는 난소의 발달이 급격히 진행되어 대부분의 난소 내에는 난황포기, 난황과립 및 유구를 갖는 난모세포와 다량의 난황이 축적된 100-300 μm 의 난모세포들 출현한다(Fig. 3C). 6월과 7월에는 완숙기의 난소가 출현하였고, 이때 암컷의 난소소엽 내에는 난경 600-800 μm 전후의 큰 유구와 난황이 축적된 완숙난으로 가득 채워졌다(Fig. 3D). 8월 이후 방란이 끝난 암컷개체들의 난소 소엽내에는 미방출된 난모세포들과 잔존여포와 산란되지 않은 잔여난은 퇴화 흡수하여 난소는 급격히 위축되었다(Fig. 3E). 이후에는 일부 방란 중인 개체를 제외한 대부분이 방란 후이거나 회복단계였으며, 10월로 갈수록 회복단계에 해당되는 개체의 비율이 증가되어 초기난모세포를 가진 개체들이 출현하기 시작하였다(Fig. 3F).

보구치 난소의 속도 단계를 조직관찰과 더불어 육안으로도 관찰하여 5단계로 판별한 결과 미숙단계(immature)의 난소 외부 형태는 가늘고 길며, 옅은 황색 또는 분홍색으로 투명하고 난립은 전혀 보이지 않았다. 중숙단계(maturing)는 난소의 색깔은 옅은 황색을 띠면서 매우 작은 노란색의 난립이 관찰되었다. 완숙(mature)단계는 난소가 매우 비대해지고, 난의 크기가 일

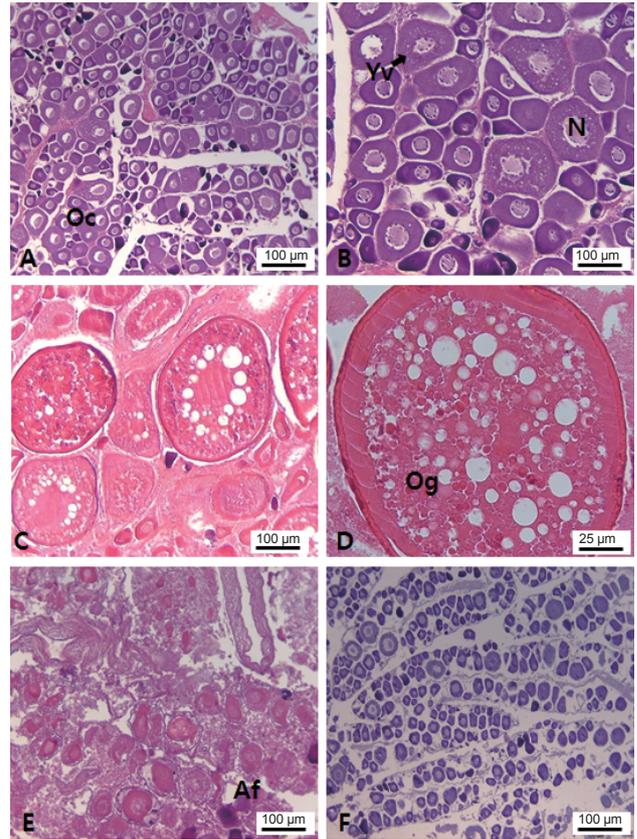


Fig. 3. Photomicrographs of ovarian developmental phases of white croaker *Pennahia argentatus* in the Southern Sea of Korea. A, early growing stage: note the oogonia, perinucleolus, and early oocyte in the cytoplasm; B, late growing stage: note the oocyte with yolk vesicle in the cytoplasm; C, mature stage: note the oocyte containing homogenized yolk materials; D, ripe stage: note the ripe eggs containing homogenized yolk materials and oil globules in the cytoplasm; E, spent stage: note the residual follicles after ovulation; F, recovery and resting stage: note residual immature oocytes. Abbreviation; Af, afferent follicle; N, nucleus; Oc, oocyte; Yv, yolk vesicle. 100 μm .

정하게 크며, 진한 황색을 보인다. 방란중(spawning)단계가 되면 매우 투명하고 큰 알들로 가득 차 있으며, 난소를 누르면 쉽게 알이 방출된다. 산란후(spent)가 되면 난소의 크기는 심하게 수축되고 방란 되지 않고 남은 알들이 보였다. 조직관찰과 육안 판별에 의한 월별 생식소 속도 단계별 변화는 1월부터 3월까지 미숙단계의 개체가 대부분을 차지하다가 4월에 중숙단계의 개체들이 나타나기 시작하였다. 5월부터는 완숙과 중숙단계의 개체들이 대부분을 차지하였으며, 6월부터는 방중인 개체들이 출현하기 시작하였다. 7월에는 미숙단계의 개체는 전혀 출현하지 않았으며, 방중, 완숙, 중숙 단계의 개체만 보였다. 8월이 되면 방후단계의 개체들이 일부 출현하였으나 다시 미숙기의 개체가

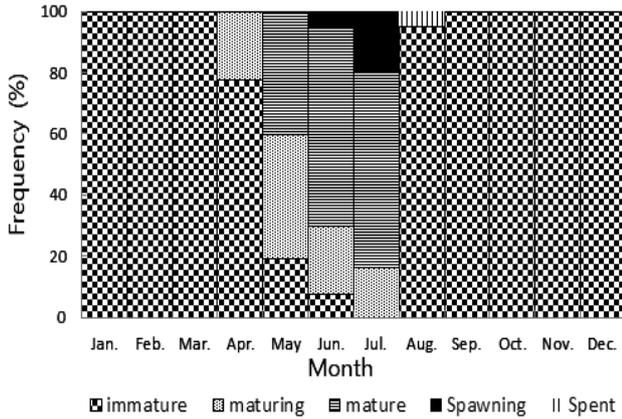


Fig. 4. Monthly changes in maturity stages of female of white croaker *Pennahia argentatus* in the Southern Sea of Korea.

급격히 늘어나서 12월까지 대부분을 차지하였다

생식소숙도지수(GSI)의 월별 변화를 보면(Fig. 5), 1월부터 4월까지는 증가하는 경향을 보이지만 1.5 이하의 낮은 값을 보이다가 5월에 급격히 증가하여 7월까지 유지된다. 이후 8월에 다시 GSI 값이 급격히 낮아짐을 알 수 있었다. 속도단계의 월별 변화와 비교해보면, 5월에 완숙단계 개체의 출현으로 GSI가 급격히 상승하고 6월과 7월까지 완숙 단계와 방중 단계의 개체가 대부분을 차지하여 GSI가 여전히 높은 값을 유지하였다. 8월이 되면 일부 방중 단계의 개체가 출현하지만, 대부분 미숙 단계 개체의 출현으로 GSI가 현저히 떨어졌다. 따라서 보구치는 5월부터 생식소가 성숙하여 6월에서 7월까지 짧은 기간 동안 집중적으로 산란을 하고 8월이 되면 산란을 마치는 것으로 보여, 산란기는 5월에서 7월이며, 주 산란기는 6월에서 7월로 추정된다.

포란수는 산란기간동안 방란의 흔적이 없는 성숙기의 개체를 선택하여 0.02 mm 이상의 난을 계수하였다. 체장(total length, TL)과 포란수(F)간의 관계식은 $F=0.2198TL^{4.2784}$ ($r^2=0.8423$)으로 체장이 커질수록 포란수도 증가하는 경향을 보였다(Fig. 6). 최소 포란수는 71,627립, 최대 포란수는 888,041립이었으

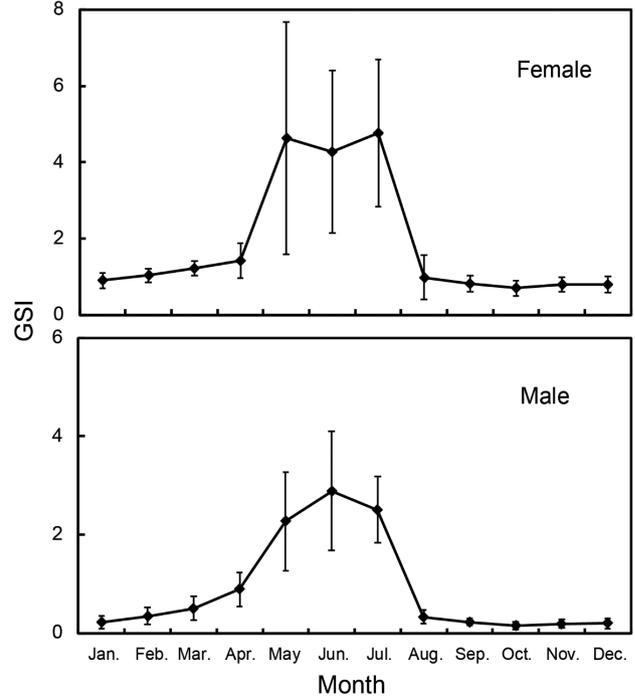


Fig. 5. Monthly changes in gonadosomatic index (GSI) of white croaker *Pennahia argentatus* in the Southern Sea of Korea.

며, 평균 포란수는 304,498립이었다. 체장계급별 상대포란수는 20-22 cm에서 1,057립이었으며, 체장계급이 커짐에 따라 상대포란수가 증가하다가 28.1-30.0 cm 이상에서는 감소 또는 유지하는 경향을 보였다(Table 2).

속도별 난경 조성은 미숙단계에서 난경범위는 0.04-0.12 mm (평균 0.078 mm)였으며, 중숙단계에서 난경의 범위는 0.24-0.52 mm (평균 0.38 mm)이었다. 완숙단계에서 난경의 범위는 0.35-0.99 mm (평균 0.68 mm)로 성숙함에 따라 난경이 점차 커졌으며, 난경의 분포 범위도 커졌다(Fig. 7).

보구치의 재생산에 참여하는 성숙체장(TL)을 알기 위해 산란

Table 2. Absolute and relative fecundities according to total length of white croaker *Pennahia argentatus* in the Southern Sea of Korea

Total length (cm)	No. of samples	Absolute fecundity (eggs)		Relative fecundity (eggs/g)	
		Range	Mean	Range	Mean
20.1-22.0	7	71,627-133,230	112,587	783-1,287	1,057
22.1-24.0	15	95,710-255,825	150,848	699-1,635	1,081
24.1-26.0	1	195,715	195,715	1,028	1,028
26.1-28.0	4	147,844-412,169	269,307	564-1,842	1,102
28.1-30.0	7	344,204-745,402	507,656	1,086-2,282	1,529
30.1-32.0	4	241,106-692,493	504,415	601-1,866	1,382
32.1-34.0	2	485,818-877,128	681,473	1,156-2,024	1,590
34.1-36.0	2	642,909-888,041	765,475	1,181-1,930	1,556

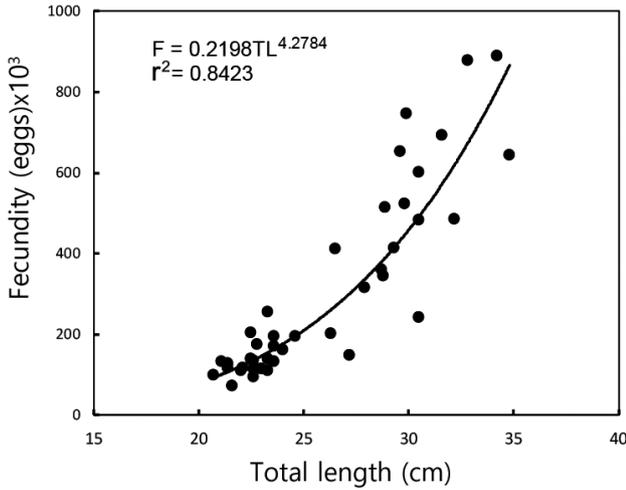


Fig. 6. Relationship between fecundity and total length of white croaker *Pennahia argentatus* in the Southern Sea of Korea.

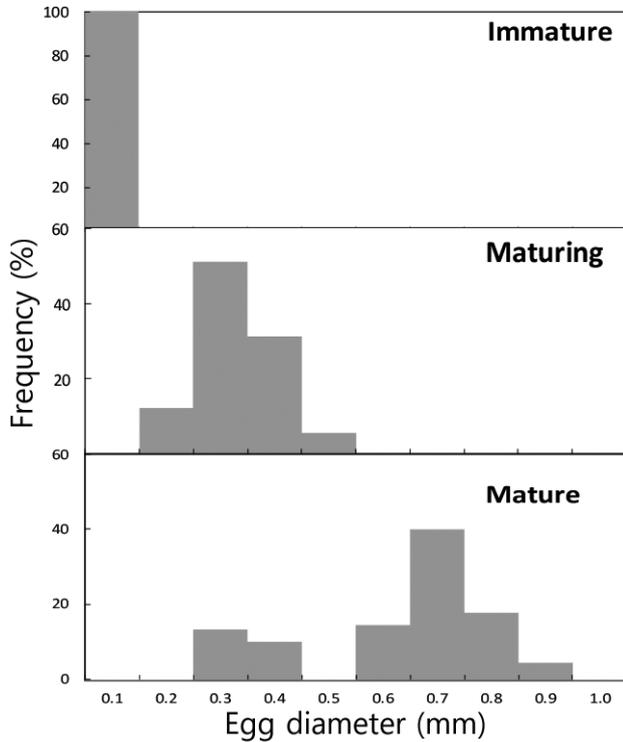


Fig. 7. Frequency distribution of egg diameter of white croaker *Pennahia argentatus* in the Southern Sea of Korea.

기인 5-7월 동안 각 체급별 중숙 이상의 개체의 비율을 나타낸 결과(Fig. 8), 19 cm 체장계급에서 처음 산란에 참여하였으며, 20 cm 이상의 체장계급에서는 거의 모든 개체가 산란에 참여하

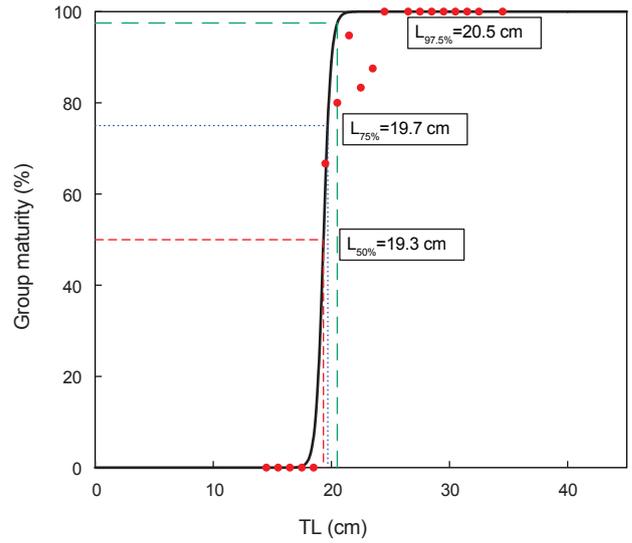


Fig. 8. Relationship between total length (TL) and group maturity of white croaker *Pennahia argentatus* in the Southern Sea of Korea.

는 것으로 나타났다. 보구치의 50% 성숙체장(TL)은 logistic 식에 의해 19.33 cm이었으며, 75%, 97.5%가 산란에 참여하는 체장은 각각 19.7 cm, 20.5 cm였다.

고찰

보구치 난소의 외부 형태는 긴 낭상형에 속하며, 산란기에 최대 완숙한 난소의 무게는 체중의 약 12%를 차지하였으나, 대부분의 개체에서는 평균 6% 정도로 낮은 비율을 나타내었다. 황아귀(*Lophius litulin*; Park et al., 1999), 갈치(*Trichiurus lepturus*; Cha and Lee, 2004) 등은 체중의 20% 정도로 생식소 무게가 큰 반면, 전갱이(*Trachurus japonicus*; Cha et al., 2009)와 같이 10% 이하인 어종도 보고되고 있다. 보구치는 다른 어종에 비하여 생식소가 차지하는 중량이 낮은 것으로 나타났다.

보구치의 GSI와 속도단계의 월별변화로부터 주 산란기는 6-7월로 추정되는데, 다른 연구결과와 비교해 보면(Table 3), Saishu et al. (1954)는 동중국해 북부와 황해에서 5-6월, 동중국해 중부와 남부는 7-8월을 주 산란기라고 보고하고 있으며, Yamaguchi et al. (2006)은 일본 큐우슈우 Ariake만에서 주 산란기를 5-8월로 보고하고 있다. 각 지역마다 산란기가 다소 차이가 나는 것은 어류의 산란시기는 수온 등과 같은 환경요인에 따라 달라질 수 있으므로 각 개체군은 서식지의 환경조건에 적응한 결과로 추정하였다(Yamaguchi et al., 2006). 한국 연근해에서 이루어진 선행연구 결과, 보구치의 주 산란기는 6-7월로 보고되었는데(Kang et al., 1999), 이러한 연구결과는 이번 연구결과와 일치하여 과거에 비해 산란기의 차이는 없었으며, 보구치는 비교적 짧은 산란 기간 동안 집중으로 산란하는 것으로

Table 3. Comparison among the result of maturity and reproduction of white croaker *Pennahia argentatus*

Reference	Spawning period	Absolute fecundity (eggs)	BL or TL at 50% group maturity (cm) age at 50% group maturity (age)
Saishu K et al. (1954)	March-July (May-June)		- 1
Yamaguchi et al. (2006)	March-October (May-September)		- 1
Kang et al. (1999)	May-September (June-July)	65,977-855,739	17.38 (BL) 2.46
Present	May-July (June-July)	71,627-888,041	19.33 (TL) 16.31 (BL) 2.11

BL, body length; TL, total length.

판단된다. 한편, 생식소 조직의 완숙단계에서 완숙단계의 난과 함께 주변에 여러 단계의 난모세포가 관찰되고, 난경 분포 범위 또한 완숙단계에서 넓게 관찰되어 산란기간동안 1회이상 산란하는 것으로 추정된다. 이는 일본 큐우슈우 Ariake만에서 연구한 결과와 일치하였다(Yamaguchi et al., 2006).

보구치의 포란수는 최소 71,627립에서 최대 888,041립이었으며, 평균 포란수는 300,498립이었다. 성숙체장(TL)이 증가함에 따라 포란수는 급격히 증가하였다. Kang et al. (1999)의 연구에서는 최소 65,977립에서 최대 855,739립이었으며, 평균 포란수는 346,701립이었다. 본 연구에서는 최소 포란수와 최대 포란수가 높게 나왔으나, 평균 포란수는 적게 나왔고, 상대 포란수 역시 적게 나타났다. 동일종일지라도 포란수는 해마다 다를 수 있는데, 이는 서식밀도, 자원량에 따라 달라질 수 있으나, 과거 연구에서는 체장범위가 14.1-25.0 cm였으며, 본 연구에서는 19.1-36.0 cm로 어체의 체장 계급에 따른 차이 일 것으로 판단된다.

성숙체장(TL)은 19.33 cm였으며, 이를 Kwon et al. (1999)에 의해 전장(TL)-체장(BL)의 상대성장식에 의해 체장(BL)으로 환산하면 16.31 cm이고 이때 성숙 연령은 2.11세였다. Kang et al. (1999)의 연구에서 성숙체장(BL)은 17.38 cm였으며 이때의 연령은 2.46세로 이번 연구 결과보다 높게 나온 것으로 보고 되었다. 성숙연령은 자원량의 변화에 따라 달라지는 경향이 있는데, 자원이 감소하면 개체의 영양 상태가 좋아짐으로써 성장률이 높아져서 성숙연령이 저하된다(Zhang, 2012). 이번 연구에서 성숙체장(TL)이 작게 나온 것이 실제로 자원량의 감소에 의한 것인지는 추가적인 연구를 더 진행할 필요가 있다고 판단된다.

본 연구결과 남해안에 서식하는 보구치는 적어도 부화 후 2년이 지나면 집단의 50%가 산란에 참여하는 것으로 판단되며, 자원의 유지를 위해서는 적절한 포획금지 체장 조절과 어린 개체를 보호하는 합리적인 자원관리를 위한 노력이 필요한 것으로 본다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원(근해어업자원조사, R2020021)의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Baik CI, Hwang KS, Park JH, Kang YJ and Zhang CI. 1999. A population ecological study of white croaker *Argyrosomus argentatus* Houttuyn in Korean waters I. Distribution pattern. J Korean Soc Fish Res 2, 44-53.
- Cha SS and Park KJ. 2001. Feeding selective of postlarvae of white croaker *Argyrosomus argentatus* in Kwangyang Bay, Korea. J Korean Fish Soc 34, 27-31.
- Cha HK and Lee DW. 2004. Reproduction of the hairtail *Trichiurus lepturus* Linnaeus in Korean water. J Korean Soc Fish Res 6, 54-62.
- Cha HK, Lee JB, Kang SK, Chang DS and Choi JH. 2009. Reproduction of the jack mackerel *Trachurus japonicus* temminck et schlegel in the coastal water around Jeju Island, Korea. J Kor Soc Fish Tech 45, 243-250. <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2009.45.4.243>.
- Higuhi T, Yamaguchi A and Takita T. 2003. Age and growth of white croaker, *Pennahia argentata*, in ariake sound, Japan. Bull Fac Fish Nagasaki Univ 84, 47-51.
- Kang YJ, Kwon DH and Zhang CI. 1999. A population ecological study of white croaker *Argyrosomus argentatus* Houttuyn in Korean waters. III. Maturation and spawning. J Korean Soc Fish Res 2, 61-67.
- Kim IS, Choi Y, Lee CL, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. Illustrated book of Korean Fishes Kyohaksa Press, Seoul, Korea.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 1996. Statistics database for fisheries production. Retrieved from <http://kosis.kr/statHtml/> on Jun 16, 2019.
- Koh EH, An YS, Baeck GW and Jang CS. 2014. Feeding habits of white croaker *Pennahia argentata* in the coastal waters

- off Sejon island, Korea. J Kor Soc Fish Tech 50, 139-146.
<http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2014.50.2.139>.
- Kwon DH, Kang YJ and Lee DW. 1999. A population ecological study of white croaker *Argyrosomus argentatus Houttuyn* in Korean waters. II. Age and growth. J Korean Soc Fish Res 2, 54-60.
- Lee SI and Zhang CI. 2001. Prediction of the variation in annual biomass of white croaker *Argyrosomus argentatus* in Korean waters using leslie matrix. J Korean FishSoc 34, 423-429.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2004. Commercial fishes of the coastal and offshore water in Korea. NFRDI, Busan, Korea.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2010. Korea coastal and offshore fishery census. NFRDI, Busan, Korea.
- Park YC, Cha BY and Cha HK. 1999. Maturation and spawning of the yellow goosefish, *Lophius litulon* (Jordan) in Korean waters. J Korean Soc Fish Res 2, 84-91.
- Saishu K, Nakashima K and Kojima k. 1954. On the reproduction of the "Shiroguchi" (*Nibea argentata*) in the East China and the Yellow Seas. Bull Seikai Reg Fish Res Lab. 4, 1-34.
- Zhang CI 2012. Marine fisheries resource ecology. Pukyong National University Press, Busan, Korea, 153-159.
- Zhang CI, Kang YJ and Lee MW. 1999a. A population ecological study of white croaker *Argyrosomus argentatus Houttuyn* in Korean waters. IV. Population ecological characteristics and biomass. J Korean Soc Fish Res 2, 68-76.
- Zhang CI, Baik CI and Lee SI. 1999b. A population ecological study of white croaker *Argyrosomus argentatus Houttuyn* in Korean waters. V. Stock assessment and management implications. J Korean Soc Fish Res 2, 77-83.
- Yamaguchi A, Kume G, Higuhi T and Takita T. 2004. Geographic variation in the growth of white croaker, *Pennahia argentata*, of the coast of northwest Kyushu, Japan. Environ Biol Fish 71, 179-188.
- Yamaguchi A, Takita T and Kume G. 2006. Reproductive cycle, sexual maturity and diel reproductive periodicity of *Pennahia argentata*, in Ariake Sound, Japan. Japan Fish Res 82, 95-100.