

종뿔 *Arcuatula senhousia* 의 계절적 변화에 따른 생식소 발달

김순구¹, 신윤경², 신소령³, 김현진^{3*}

¹(주)오르카

²부경대학교 자원생물학과

³전남대학교 수산생명의학과

Seasonal Changes of Gonadal Development in *Arcuatula senhousia* (Bivalvia: Mytilidae)

Sun Gu Kim¹, Yun Kyung Shin², So Ryung Shin³, Hyeon Jin Kim^{3*}

¹ORCA E & C Inc., Jeju 63596, Korea

²Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

³Department of Aqualife Medicine, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

Corresponding Author

Hyeon Jin Kim

E-mail : hjin9577@naver.com

본 연구는 종뿔 *Arcuatula senhousia*의 생식생태학적 기초자료와 생물자원의 관리를 위한 정보를 제공하기 위해 수행하였다. 시료는 벌교읍 여자만에서 2019년 6월부터 2020년 5월까지 채집하여 분석하였다. 생식소는 다수의 생식소형성소낭으로 구성되었다. 성비(암:수)는 1:1.1 (n=128:140, 암컷 46.4%)였으며, 각장이 증가함에 따라 수컷의 비율이 높아지는 경향을 보였다. 생식소지수는 암, 수 모두 5월에 연중 최고값을 보인 후 급격히 감소하여 11월부터 이듬해 1월까지 1.0 이하의 낮은 값을 보였다. 육중량비는 생식소지수와 유사한 경향을 보였다. 월별 생식소발달단계의 변화는 비활성기 (1-2월), 초기활성기 (3-4월), 후기활성기 (4-5월), 완숙기 (5-6월), 방출기 (6-8월), 퇴화기 (9-1월)였다. 종뿔의 생식소 활성은 암컷과 수컷 모두 하계에 높고, 동계에 낮은 뚜렷한 계절적 변화를 보였으며, 주 산란기는 6-8월로 분석되었다. 종뿔 개체군의 암컷과 수컷 모두 최소 72.7% 이상이 각장 10.1 mm 이상에서 성숙하였으며, 50% 균성숙 크기는 각장 약 10.0 mm로 분석되었다.

키워드: 종뿔, 성비, 생식소지수, 생식주기, 주 산란기

This study was conducted to provide information for basic reproductive ecology and biological resource management of the *Arcuatula senhousia*. Samples were collected and analyzed from June 2019 to May 2020 in Yejoa Bay, Beolgyo-eup. The gonad consisted of a number of gametogenic follicles, the overall sex ratio (F:M) was 1:1.1 (n=128:140, F: 46.4%), and the frequency of males tended to increase as shell length increased. The gonad index for both males and females showed the highest value during May, after which it decreased sharply, and showed a low value of less than 1.0 from November to January. The meat weight rate showed a similar trend to the gonad index. Monthly variations of gonadal development were inactive stage (January-

Received 2024. 08. 13.

Revised 2024. 11. 21.

Accepted 2024. 11. 25.

February), early active stage (March–April), late active stage (April–May), ripe stage (May–June), spent stage (June–August) and degenerative stage (September–January). The gonadal activity showed a pattern of seasonal changes, high in summer and low in winter. The main spawning period was June to August. At least 72.7% of the group, considering both males and females, showed maturity at 10.1 mm SL or more. Furthermore, the size of 50% group maturity was shown at approximately 10.0 mm SL.

Keywords: *Arcuatula senhousia*, Sex ratio, Gonad index, Reproductive cycle, Main spawning period

서론

종뿔 *Arcuatula senhousia*은 이매패강 (Bivalvia), 홍합목 (Mytilida), 홍합과 (Mytilidae)에 속하는 이매패류로서 조간대 및 얇은 조하대의 퇴적물에 서식한다. 주로 아시아 대륙과 북미 태평양 연안, 오세아니아, 유럽 대서양 연안 등까지 광범위하게 보고되고 있다 (Faasse, 2018). 종뿔은 여과 섭식성으로 유기물이 풍부한 장소에 대량으로 출현하는 오염지표 생물로 죽사를 이용한 군집을 형성하여 혐기성 저서환경을 만들어 다른 생물의 서식을 어렵게 하고 저서생태계를 변화시킨다 (Morton, 1974; Crooks, 1996). 또한, 밀집된 군락 형성과 종뿔의 폐사로 인한 황화물 및 암모니아의 증가에 따른 바지락 *Ruditapes philippinarum*의 폐사 (Sugawara et al., 1961; Uchida, 1965; Mistri, 2004), 종뿔과 먹이 경쟁에 의한 새꼬막 *Anadara subcrenata*의 성장률 감소 (Lim and Hur, 2010) 등의 양식피해가 보고되었다.

종뿔 *A. senhousia*에 대한 연구는 국외에서 형태 및 이동 (Morton, 1974), 군집생태학적 조사 (Crooks, 1996), 종뿔이 이매패류 성장과 생존에 미치는 영향 (Kushner, 2005), 저질 내 유기물 축적 (Takenaka et al., 2018) 등이 보고되어 있다. 국내에서는 종뿔에 의한 양식 피해 (Lim and Hur, 2010) 등의 환경생태학적 위해 사례에 관한 연구가 있으나, 생식소 발달과 생식주기 등의 생식생태학적 연구는 거의 찾을 수 없다.

해양생물의 생식생물학적 연구는 성비, 군성속도, 생식소 발달과정, 주 산란기 및 생식주기 등에 관한 항목들이 주로 사용되며 (Gosling, 2004; Head et al., 2016; Kim et al., 2018), 기초생물학, 생물자원의 보존과 관리, 양식기술 개발, 어업 관리 등에 활용된다. 또한, 생태계 교란종에 대한 효과적인 관리 전략을 수립하기 위해서는 이들의 생식 특성 및 생식생물학적 정보를 정확히 파악하는 것이 필요하다. 이를 통해 종의 확산을 억제하고 양식업의 피해를 방지하기 위한 중요한 과학적 기반을 제

공할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 조직학적 방법을 이용하여 종뿔 *A. senhousia*의 성비, 생식소발달, 생식소지수 및 육중량의 월 변화, 군성속도, 생식주기 등 생식생물학적 기초자료를 제공하였다. 이를 통해 생물자원의 관리 및 양식 피해 대응 체계 구축에 필요한 정보를 제공하고, 종뿔의 생태적 특성에 대한 이해를 높이는데 기여하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 재료

본 연구에서는 전라남도 보성군 별교읍 여자만 해역에서 2019년 6월부터 2020년 5월까지 채집한 종뿔 *A. senhousia* (SL 21.2±3.8 mm)을 매월 약 25개체를 채집하여 총 276개체를 사용하였다 (Fig. 1, Table 1). 채집된 종뿔은 패각에 붙어있는 이물질을 제거한 후, 각고 (shell height, SH), 각장 (shell length, SL), 각폭 (shell width, SW), 전중 (total weight, TW), 체중 (body weight, BW)을 0.01 mm와 0.01 g 단위까지 측정하였다.

2. 성비

성비 (암:수)는 암컷에 대한 수컷의 비와 전체 개체수에 대한 암컷의 수를 백분율로 나타냈다. 각장 3.0 mm 구간으로 구분하여 계급구간별 성비를 확인하였으며, 생식소발달단계 중 비활성기의 개체는 조직학적으로 암, 수가 구분되지 않으므로 제외하였다.

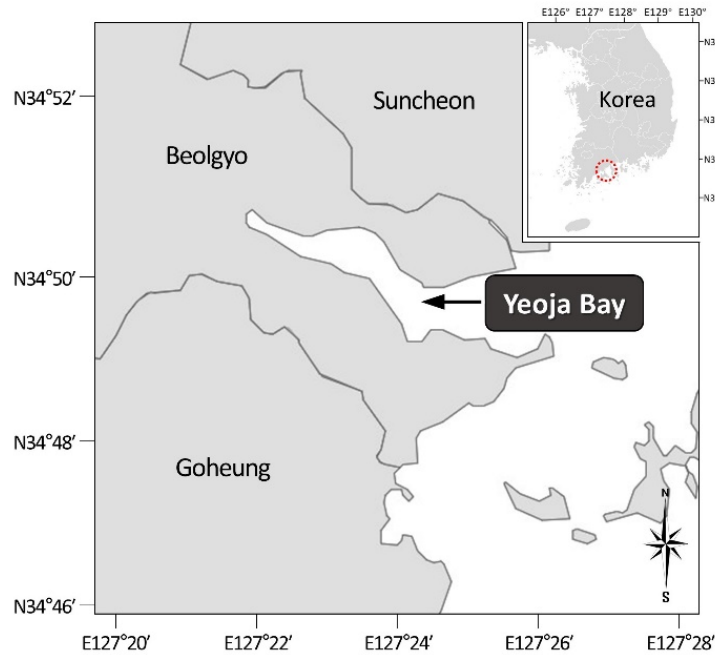


Fig. 1. Sampling area and habitat of *Arcuatula senhousia*.

Table 1. Morphometric characteristics of *Arcuatula senhousia*

shell length (mm)	shell height (mm)	shell width (mm)	total weight (g)	body weight (g)
21.2±3.8	6.3±0.7	10.6±1.7	7.8±1.5	0.9±0.3

- Sex ratio = Female (number) : Male (number)
- Female frequency (%) = $\frac{\text{Female (number)}}{\text{Female (number)} + \text{Male (number)}} \times 100$

3. 광학현미경 표본제작

채집한 개체들은 측정형질을 계측한 후 (Fig. 2), 해부하여 Drury and Wallington (1980)의 방법에 따라 조직표본을 제작하였다. 광학현미경 표본 제작은 생식소가 포함된 간체장의 일부를 절취하여 Bouin's solution에 18시간 동안 고정하였다. 고정된 시료는 흐르는 물에 24시간 동안 수세한 후 에탄올로 단계별

탈수 (70-100%)를 진행하여 paraplant (Lecia, Germany)에 포매하였다. 포매된 시료는 마이크로톰 (RM2235, Leica, Germany)을 이용하여 4-6 μm 두께로 연속 절편하였다. 제작된 표본은 Mayer's hematoxylin-eosin (H-E) 염색 후 분석하였다.

4. 생식소 발달단계

난모세포 분화과정은 Kim et al. (2018)의 방법에 따라 생식세포의 크기, 형태 및 염색성에 따라 난원세포 (oogonium), 난황형성전기 난모세포 (previtellogenic oocyte), 난황형성개시기 난모세포 (initial vitellogenic oocyte), 난황형성활성

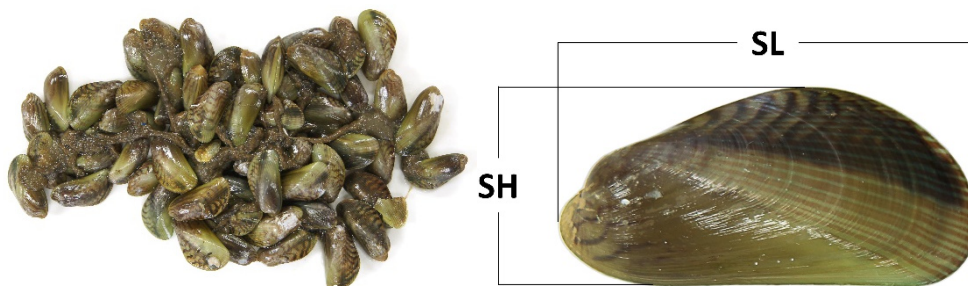


Fig. 2. Morphology and morphometric characteristics of *Arcuatula senhousia*, SH: shell height, SL: shell length.

기 난모세포 (active vitellogenic oocyte) 및 완숙기 난모세포 (ripe oocyte)로 구분하였다. 수컷은 생식세포의 발달단계를 정원세포기 (spermatogonium), 정모세포기 (spermatocyte), 정세포기 (spermatid), 정자기 (sperm)로 구분하였다.

생식소발달단계는 Jeon et al. (2012)의 방법에 따라 각 발달 단계에 속한 생식세포들의 우점 정도를 기준으로 암, 수 모두 비활성기 (inactive stage, In), 초기활성기 (early active stage, Ea), 후기활성기 (late active stage, La), 완숙기 (ripe stage, R), 방출기 (spent stage, S), 퇴화기 (degenerative stage, D)의 6단계로 구분하였다.

5. 생식소지수 (Gonad index, GI)

생식소지수는 아래와 같이 생식소 발달단계별로 상수 (In=0, Ea=1, La=2, R=3, S=2, D=1)를 곱한 전체의 합을 개체수로 나누어 나타냈으며, 평균값과 중간값으로 산출하였다.

$$GI = \frac{(N \text{ of In} \times 0) + (N \text{ of Ea} \times 1) + (N \text{ of La} \times 2) + (N \text{ of R} \times 3) + (N \text{ of S} \times 2) + (N \text{ of D} \times 1)}{\text{Total number}}$$

6. 육중량비 (Meat weight rate, MWR)

육중량비 (MWR)은 Park et al. (2022)의 방법에 따라 아래와 같은 방법을 이용하여 계산하여 평균값과 중간값으로 산출하였다.

$$MWR = \frac{\text{Body weight (g)}}{\text{Total weight (g)}} \times 100$$

7. 결과 산출 및 통계분석

본 연구에서 데이터 분석은 평균값을 통해 일반적인 경향을 확인하고, 중간값을 통해 실질적인 중간값을 확인하였다. 성비는 SPSS 통계 프로그램 (SPSS 24.0, SPSS Inc., Microsoft Co., WA)을 이용하여 χ^2 (Chi-square) t-test를 통해 유의성 여부를 판정하였다 ($p < 0.05$).

결 과

1. 성비

생식소의 조직학적 분석 결과, 동시자웅동체 개체는 관찰되지 않았다. 전체 성비 (암:수)는 1:1.1 (n=128:140)이었으나 가장 16.0 mm 이하의 계급군에서는 암컷의 비율이 높았지만, 가장 16.1 mm 이상의 계급군에서는 수컷의 비율이 높은 경향을 보였다 (Table 2).

2. 생식소의 조직학적 변화

비활성기의 생식소 표본에서는 생식소 소낭은 구분되었지만, 난모세포 또는 수컷 생식세포들은 관찰되지 않으므로 암, 수 구분은 불가능하였다 (Fig. 3A).

2.1. 난소

초기활성기의 난소에서는 난원세포와 난황형성전기의 난모세포들이 관찰되며, 생식소 소낭의 내강은 넓은 빈 공간을 나타냈다. 난원세포는 직경 약 14.2 μ m의 원형으로 염색사가 핵질에 분포하며, 세포질은 매우 약한 호염기성을 나타냈다 (Fig. 3B).

Table 2. Sex ratio with shell length of *Arcuatula senhousia*

Shell length (mm)	Individuals				Sex ratio (F:M)	Female (%)	Chi-square	P value
	Total	Female	Male	In				
≤ 10.0	1	0	1	0	-	0.0	-	-
10.0 - 13.0	23	12	11	0	1:0.9	52.2	0.430	0.835
13.1 - 16.0	5	3	2	0	1:0.7	60.0	0.200	0.655
16.1 - 19.0	8	3	5	0	1:1.7	37.5	0.500	0.480
19.1 - 22.0	94	42	50	2	1:1.2	44.7	0.696	0.404
22.1 - 25.0	132	62	65	5	1:1.0	47.0	0.071	0.790
25.1 - 28.0	12	5	6	1	1:1.2	41.7	0.091	0.763
28.1 ≤	1	1	0	0	1:0.0	100.0	-	-
Total / Mean	276	128	140	8	1:1.1	46.4	0.537	0.464

* F: female, In: Inactive stage, M: male.

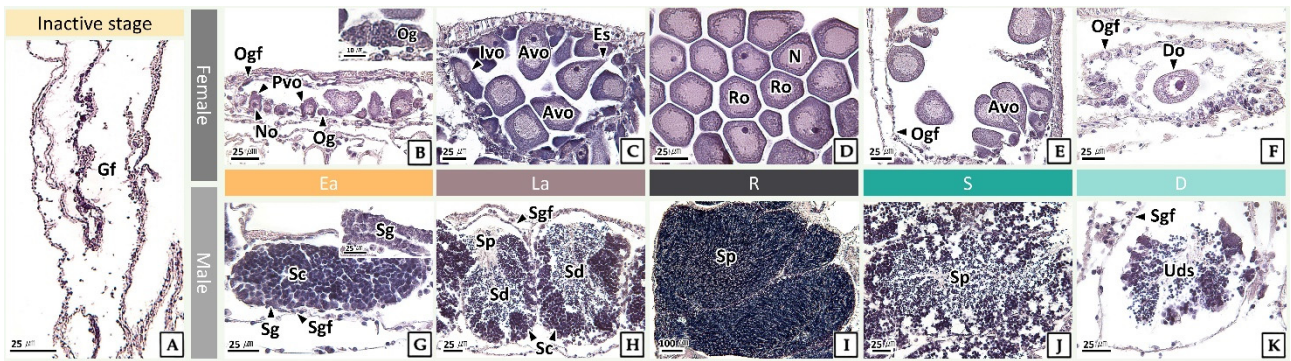


Fig. 3. The ovarian (B-F) and testicular (G-K) development stage in *Arcuatula senhousia*. A: inactive stage, B and G: early active stage (Ea), C and H: late active stage (La), D and I: ripe stage (R), E and J: spent stage (S), F and K: degenerative stage (D). Avo: active vitellogenic oocyte, Do: degenerative oocyte, Es: egg stalk, Gf: gametogenic follicle, Ivo: initial vitellogenic oocyte, N: nucleus, No: nucleolus, Og: oogonia, Ogf: oogenic follicle, Pvo: previtellogenic oocyte, Ro: ripe oocyte, Sc: spermatocyte, Sd: spermatid, Sg: spermatogonia, Sgf: spermatogenic follicle, Sp: sperm, Uds: undischarged sperm.

난황형성전기의 난모세포는 직경 약 21.1 μm 의 원형 또는 장방형으로 핵에는 인과 염색사가 산재하고 있었다. 세포질은 균질한 상태였으며, 호염기성을 나타냈다 (Fig. 3B). 후기활성기에는 일부 난황형성개시기의 난모세포가 관찰되지만, 난황형성활성기 초기의 난모세포들이 주를 이루고 있었다. 난황형성개시기 난모세포는 직경 약 47.0 μm 의 원형 또는 장방형이었다. 세포질에서는 미세과립 형태의 난황과립들이 관찰되며, 난병 구조가 발달하기 시작하였다 (Fig. 3C). 난황형성활성기의 난모세포에서는 난병 구조가 신장된 형태였으며, 세포질은 약한 호산성의 염색성을 보였다 (Fig. 3C). 완숙기의 난소는 완숙 난모세포들로 채워져 있었다. 완숙 난모세포는 횡단면에서 둥근 다각형을 나타냈으며, 직경 약 48.3 μm 였다. 세포질은 H-E 염색에서 호산성을 나타냈다 (Fig. 3D). 방출기의 난소에서는 산란 후 미방출된 성장 중인 난모세포들이 관찰되며, 생식소 소낭 내에 내강은 넓은 빈 공간을 나타냈다 (Fig. 3E). 퇴화기에서는 잔존 난모세포들의 퇴화가 확인되었으며, 일부 초기 난모세포들이 나타났다 (Fig. 3F).

2.2. 정소

정모세포 발달 패턴은 동일한 정자형성소낭에서 여러 단계의 생식세포군이 동시다발적으로 확인되는 그룹동기발달형이었다 (Fig. 3). 초기활성기의 정소에서는 주로 정모세포가 관찰되었으며, 일부 정원세포와 정세포도 관찰되었다 (Fig. 3G). 정모세포는 정원세포에 비해 핵질과 세포질이 응축되어 있었으며, H-E 염색에서 세포질은 약한 호산성을 나타냈다 (Fig. 3G). 후기활성기에서는 확장된 정자형성소낭 내에서 호염기성으로 반응하는 정세포를 주로 확인할 수 있었으며, 일부 정모세포와 정자도 함께 관찰되었다 (Fig. 3H). 완숙기에는 강한 호염기성

의 정자들로 채워져 있었다 (Fig. 3I). 방출기의 정소에서는 미방출된 정자와 성장 중인 생식세포들이 관찰되었다 (Fig. 3J). 퇴화기에서는 정자형성소낭은 뚜렷해지며, 내강의 잔존 정자들의 퇴화가 관찰되었다 (Fig. 3K).

3. 생식소 발달단계의 변화

연중 생식소 발달단계 중 배우자형성과정에 해당하는 생식소 활성기 (gonadal active stage)는 초기활성기, 후기활성기, 완숙기를 포함한다. 생식소활성기는 암, 수 각각 31.6%와 35.1%로 수컷에서 길었다. 비활성기는 암컷은 5.9%, 수컷은 5.4%로 유사하였으나, 방출기와 퇴화기는 암컷에서 각각 32.4%와 30.1%, 수컷에서는 28.4%와 31.1%로 암컷에서 길게 나타났다.

3.1. 난소

연중 난소발달단계는 비활성기 5.9%, 초기활성기 9.6% 후기활성기 10.3%, 완숙기 11.8%로 나타났으며, 방출기는 32.4%, 퇴화기는 30.1%로 나타나 퇴화기의 비율이 가장 높았다 (Fig. 4).

난소발달단계의 월별 출현율에서 비활성기는 1월과 2월에 57.1%와 80.0%로 나타났다. 초기활성기는 3월에 88.9%, 후기활성기는 4월에 50.0%, 완숙기는 5월에 66.7%로 가장 높았으며, 방출기는 6월부터 10월까지 30% 이상, 퇴화기는 9월부터 12월까지 50% 이상의 높은 비율을 보였다 (Fig. 5). 비활성기는 주로 동계에 가장 우점하였으며, 초기활성기, 후기활성기 및 완숙기는 춘계에 가장 높았다. 방출기 및 퇴화기는 6월부터 12월까지로 하계부터 동계까지 우점하는 경향을 보였다.

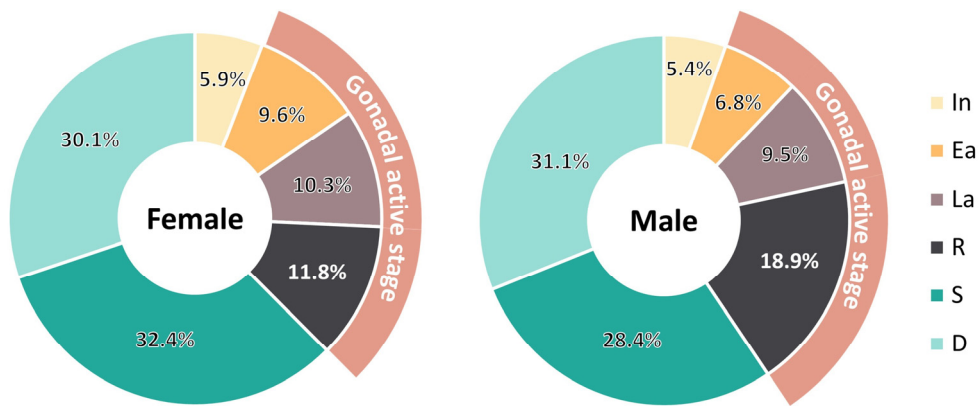


Fig. 4. Monthly frequency (June 2019–May 2020) of gonadal development stage in *Arcuatula senhousia*. D: degenerative stage, Ea: early active stage, In: inactive stage, La: late active stage, R: ripe stage, S: spent stage.

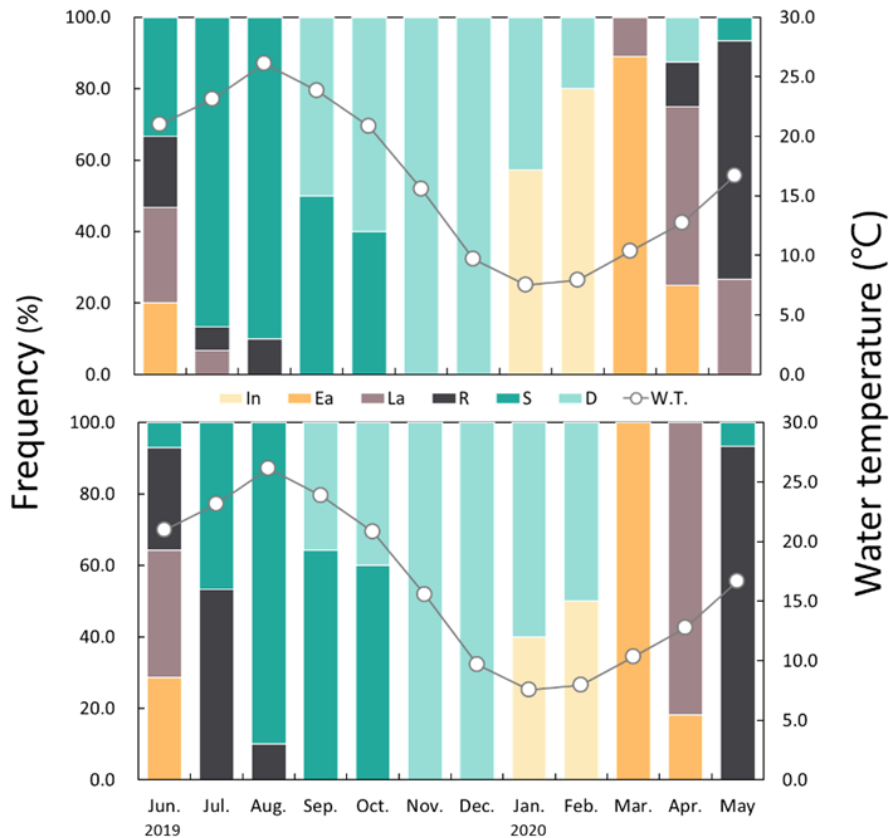


Fig. 5. Monthly variations of gonadal development stage in *Arcuatula senhousia*. D: degenerative stage, Ea: early active stage, In: inactive stage, La: late active stage, R: ripe stage, S: spent stage, W.T.: water temperature.

3.2. 정소

정소발달단계는 비활성기 5.4%, 초기활성기 6.8%, 후기활성기 9.5%, 완숙기 18.9%로 나타났으며, 방출기는 28.4%, 퇴화기는 31.1%로 퇴화기가 가장 높은 비율을 차지했다 (Fig. 4).

월별 정소발달단계 출현율은 비활성기가 1월과 2월에 각각 40.0%, 50.0%로 나타났다. 초기활성기는 3월에 100%, 후기활

성기는 4월과 6월에 각각 81.8%와 35.7%였다. 완숙기는 5월에 93.3%였으며, 방출기는 8월부터 10월까지 60% 이상으로 나타났으며, 퇴화기는 11월부터 이듬해 2월까지 50% 이상을 차지하였다 (Fig. 5). 비활성기는 주로 동계, 초기활성기와 후기활성기, 완숙기는 주로 춘계와 하계에 우점하였으며, 방출기와 퇴화기는 각각 추계와 동계에 가장 높았다.

4. 생식소지수 (GI)의 월 변화

생식소지수의 평균값은 암컷과 수컷에서 모두 7월부터 감소하여 2019년 11월부터 2020년 1월까지 1.0이었으며, 이후 2020년 2월부터 5월까지 지속적으로 증가하여 5월에 암, 수 각각 2.67과 2.93으로 가장 높은 값을 보였다. 생식소지수의 중간값은 암, 수 모두 평균값과 유사한 경향을 보였으며, 2020년 7월에 암, 수 모두 3.0으로 가장 높았다 (Fig. 6).

5. 육중량비 (MWR)의 월 변화

육중량비의 평균값은 38.7%였으며, 암컷 38.1%, 수컷 39.0%로 수컷에서 다소 높은 값을 보였다. 월별 육중량비의 평균값은 암컷은 2019년 9월, 수컷은 12월에 가장 낮은 값을 보였고, 2020년 5월에 암, 수 모두 가장 높은 값을 보였다. 육중량비의 중간값은 38.5%였으며, 암컷 34.8%, 수컷 38.4%로 수컷에서 다소 높은 값을 보였다. 월별 육중량비는 암, 수 모두 2019년 9월에 가장 낮은 값을 보였고, 2020년 5월에 암, 수 모두 가장 높은 값을 보였다. 평균값과 중간값 모두 추계와 동계에 낮고 춘계와 하계에 증가하는 변화양상을 보였다 (Fig. 7).

6. 생식주기

월별 생식소발달단계의 변화는 비활성기 (1월-2월), 초기활성기 (3월-4월), 후기활성기 (4월-5월), 완숙기 (5월-6월), 방출기 (6월-8월), 퇴화기 (9월-1월)였다. 주 산란기는 6월에서 8월로 분석되었는데, 이 시기는 완숙기와 방출 및 퇴화기가 함께 관찰되며, GI가 급격하게 감소하는 시기이다 (Fig. 8).

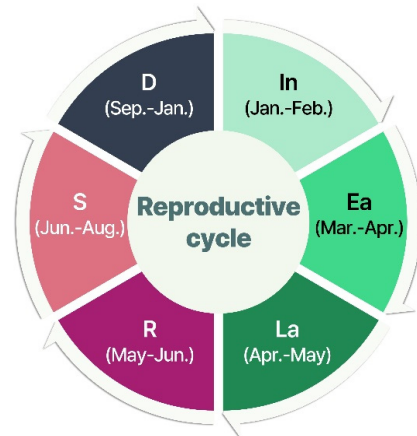


Fig. 8. Reproductive cycle in *Arcuatula senhousia*. D: degenerative stage, Ea: early active stage, In: inactive stage, La: late active stage, R: ripe stage, S: spent stage.

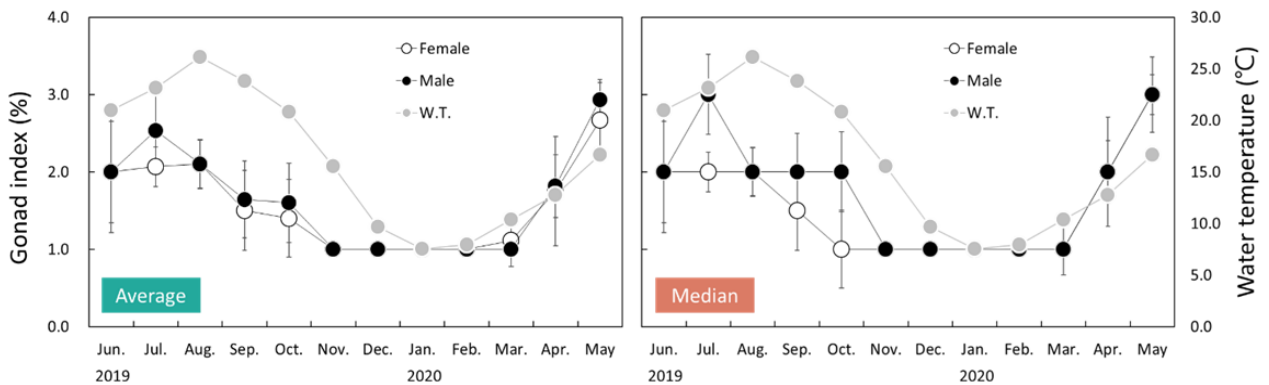


Fig. 6. Monthly variations of gonad index in *Arcuatula senhousia*. Vertical bars indicate SD. W.T.: water temperature.

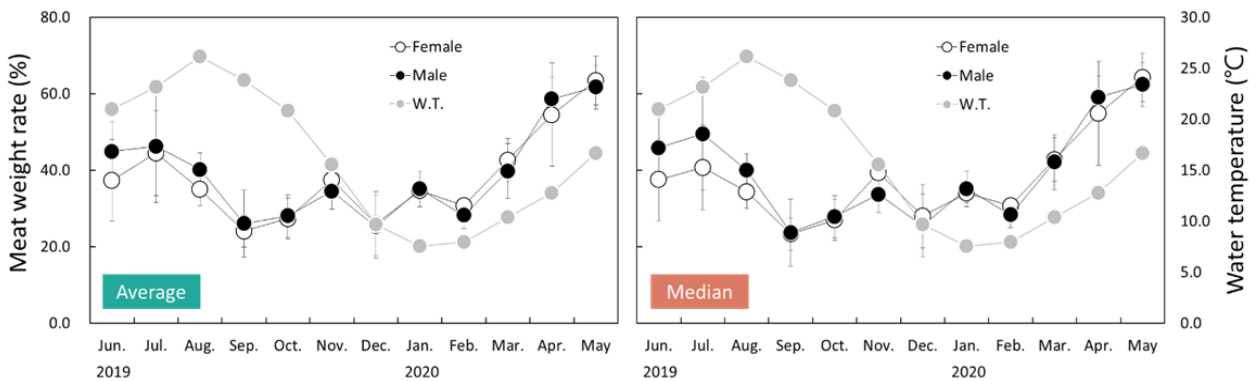


Fig. 7. Monthly variations of meat weight rate in *Arcuatula senhousia*. Vertical bars indicate SD. W.T.: water temperature.

7. 균성숙도

각장에 따른 종뿔의 성숙도를 암, 수 각각 128, 140개체를 대상으로 조사한 결과, 각장 10.1 mm 이상에서 암컷의 성숙도는 75.0~100.0%, 수컷은 72.7~100.0%로 나타났다.

고 찰

이매패류의 성은 자웅이체와 자웅동체로 구분되며, 자웅동체는 각각의 성이 표현되는 시기에 따라 동시 및 비동시자웅동체로 구분된다 (Heller, 1993; Eversole, 2001; Gosling, 2004). 동시 자웅동체는 하나의 개체가 비슷한 시기에 난모세포와 정자를 방출하는 것이며, 비동시자웅동체는 형태학적 성이 시기에 따라 달리 표현되는 것으로 생식세포의 방출 이후의 성전환이 나타난다 (Lee, 2015). 종뿔의 생식소는 난소와 정소 모두 다수의 소낭구조로 되어 있어 대복 *Gomphina veneriformis* (Park et al., 2003), 홍합 *Mytilus coruscus* (Wi et al., 2003), 키조개 *Atrina pectinata* (Lee et al., 2006) 등 많은 이매패류와 유사하였다.

이매패류의 성전환 여부는 간접적 증거와 직접적 증거에 의해서 판단할 수 있다. 간접적인 증거는 동일 개체군에서 연령 또는 크기 계급 구간에 따른 성비의 변화를 분석하는 방법이 대표적이다 (Lee, 2015). 생식주기 가운데 생식소 비활성기를 가지는 종인 대복 *G. veneriformis* (Park et al., 2003), 홍합 *M. coruscus* (Wi et al., 2003), 등글레조개 *Barnea davidi* (Jeon et al., 2012), 바지락 *R. philippinarum* (Lee et al., 2013), 꼬막 *Tegillarca granosa* (Lee et al., 2014) 등에서는 비활성기에 성전환이 일어난다.

이매패류의 성비는 일반적으로 암, 수의 비율이 유사하지만, 일부 종에서는 성비 편향이 보고된다 (Mackie, 1984). 연체동물의 경우 성비 및 성결정에 유전적 요인과 수온, 먹이 등 환경적 요인이 작용한다 (Yusa, 2007; Chávez-Villalba et al., 2011). *Crepidula convexa*는 추계부터 춘계까지 수컷의 비율이 높지만, 하계에는 암컷으로 성전환이 이루어져 암컷의 비율이 증가한다 (Hoagland, 1978). 또한, 웅성선숙형 (protandry) 연체동물에서는 초기 발달 성별에 따라 성비가 왜곡되는 경향이 있으며, 굴 *Crassostrea virginica*, *C. gigas* (Haley, 1977; Guo et al., 1998), 진주조개 *Pinctanda mazatlanica* (Arnaud-Haond et al., 2003), *Crepidula* (Hoagland, 1978; Collin, 1995; Richard et al., 2006)에서 수컷 편향 성비가 보고된 바 있다. 본 연구에서 종뿔의 전체 성비는 1:1.1로 유사하였다. 16.0

mm 이하 구간에서는 암컷의 비율이 높게 나타났으나, 16.1-19.0 mm 구간에서는 수컷의 비율이 높았으며, 19.1 mm 이상 구간에서는 암, 수 비율이 유사하였다. 본 연구에서 종뿔은 비활성기를 가지는 자웅이체이며, 각장 계급 구간에 따른 성비의 차이로 보아 성전환 가능성을 가지는 것으로 판단되며, 추후 개체의 연속적인 성의 변화 추적이 필요하다. 또한, 종뿔의 성비 변동과 관련하여 월별, 서식환경 및 개체군의 구조적 특성을 고려한 추가 연구가 요구되며, 특히 동일 개체군에서 성비의 분석에는 동일 크기 (연령) 계급별로 동일한 개체수에 대한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

생식소지수의 월 변화 및 생식소발달단계의 월별 출현율은 이매패류의 생식주기를 분석하는데 주로 사용된다 (Mann, 1979; Behzadi et al., 1997; Villalejo-Fuerte and García-Domínguez, 1998; Marsden, 1999; Park et al., 2003; Liu et al., 2008; Limpanont et al., 2011; Jeon et al., 2012; Kim et al., 2018). 연체동물 중 이매패류와 복족류는 생식소 무게를 정확히 측정하기 어렵기 때문에 생식소발달단계를 정량화하는 방법으로 생식소지수가 사용된다 (Mann, 1979). 이 지표는 생식세포의 주 방출시기를 명확하게 규명할 수 있으며, 생식소발달단계를 수치화하여 환경 요인이 생식소 성장과 발달에 미치는 영향을 분석할 수 있다.

이매패류의 생식주기 및 생식소 발달은 유전, 내분비계 등의 내인성 요인과 수온, 먹이, 염분, 빛 등의 외인성 요인의 영향을 받는다 (Mackie, 1984). 본 연구에서 생식소지수와 생식소발달단계의 월별 변화는 비활성기 (1월-2월), 초기활성기 (3월-4월), 후기활성기 (4월-5월), 완숙기 (5월-6월), 방출기 (6월-8월), 퇴화기 (9월-1월)로 구분할 수 있었다. 생식소지수는 암, 수 모두 5월에 최고값을 보였으며, 11월부터 이듬해 1월까지 가장 낮았다. 생식소지수는 생식소발달단계와 유사한 경향을 보였으며, 생식소지수의 변화가 수온의 계절적 변화와 유사하였다. 따라서 수온은 종뿔의 성 성숙에 중요하게 작용하는 요인이다.

연체동물의 산란 습성은 산란 시기에 따라 세가지 타입으로 나눌 수 있으며, 열대지역 종에서 볼 수 있는 연중산란형 (year-around breeders), 늦가을부터 이듬해 초봄 사이에 산란하는 동계산란형 (winter breeders), 늦봄부터 초가을 사이에 산란하는 하계산란형 (summer breeders)으로 구분된다 (Booolootian et al., 1962; Capinpin et al., 1998; Kim et al., 2018). 우리나라에 서식하는 이매패류인 가무라 *Cyclina sinensis* (Chung et al., 1991), 꼬막 *T. granosa* (Lee, 1997), 민들조개 *G. melanaegis* (Lee et al., 1999), 동죽 *Macrta veneriformis* (Chung and Ryou, 2000), 대복 *G. veneriformis* (Park et

al., 2003), 새꼬막 *S. subcrenata* (Kim et al., 2008), 개조개 *Saxidomus purpuratus* (Kim et al., 2018)는 하계산란형이며, 본 연구에서 종밧의 주 산란기는 6월~8월로 연 1회 산란종이며, 하계산란형에 속하는 것으로 판단된다. 일반적으로 이매패류의 산란과 성장에 영향을 미치는 요인은 수온, 먹이 등이 있으며, 이 중에서 수온이 가장 큰 영향을 미친다 (Kim et al., 2012). 또한, 산란은 유생의 성장이 유리한 조건에서 발생하며 (Wilson, 1969), 이는 유생의 생존율, 성장률을 높이기 위한 전략으로 볼 수 있다. 따라서 산란은 유생의 성장이 유리한 고수온 조건에서 이루어지는 것으로 판단되며, 추후 세부적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

이매패류의 생식은 생태적 특성과 밀접하게 연관되어 있으며, 수온이 주요 요인으로 작용한다 (Sastry, 1963; Carriker, 1967). 또한, 수온 이외에도 먹이 공급, 염분, 광주기, 지역적 서식 환경 등이 복합적으로 작용할 수 있다 (Bayne, 1976). 이매패류에서 비만도의 변화는 생식주기와 연관성을 보이며 유사한 변화 경향을 나타낸다 (Chang and Lee, 1982; Lee et al., 1997; Lee, 1997; Park et al., 2003; Wi et al., 2003; Marronquin-Mora and Rice, 2008). 그러나, 육중량비는 생식주기 연구에서 비교적 많이 사용되지 않는다. 기존 연구에서는 북방대합 *Spisula sachalinensis* (Lee et al., 1997), 민들조개 *G. melanaegis* (Lee et al., 1999), 왕우럭조개 *Tresus keenae* (Kim et al., 1999)의 육중량비가 생식소발달단계의 변화와 유사하였으며, 본 연구 결과에서도 종밧의 육중량비는 유사한 경향을 보였다. 이는 성장과 성숙의 조절에 수온이 가장 큰 영향을 미치며, 대사와 연관이 있는 것으로 판단된다 (Kim et al., 2008).

보통 생식소지수와 육중량비의 분석에는 평균값을 주로 사용한다. 이러한 데이터 분석에서 시료 수가 적으면 값이 낮거나 높은 일부 개체들에 의해 평균값이 크게 달라질 수 있다. 따라서 시료 수가 적을 때는 평균값보다는 중간값을 사용하는 것이 권장된다. Shin et al. (2023)의 연구에서 GSI 분석 시 평균값과 중간값을 비교한 결과, 중간값에서 데이터의 해석이 명확하였다. 본 연구에서 생식소지수와 육중량비는 평균값과 중간값이 유사한 경향을 보였으나, 생식소지수는 지수를 이용한 산출방법이기 때문에 평균값을 사용하는 것이 적합하며, 육중량비는 평균값과 중간값을 모두 사용하는 것을 제안한다.

군성숙도는 생식생태를 이해하고 생물자원을 관리하는데 매우 중요하다. 종밧 개체군의 암컷과 수컷 모두 최소 70.0% 이상이 각장 10.1 mm 이상에서 성숙하였다. 각장 10.0 mm 이하의 표본 수는 적었으나, 각장 약 10.0 mm가 50% 이상 성숙하는

생물학적 최소형일 것이라고 판단된다.

본 연구에서 종밧의 성비, 생식소발달, 생식소지수 및 육중량비의 월별 변화를 통해 생식주기 및 군성숙도를 확인하였다. 본 연구 결과, 종밧의 생식소발달단계, 생식소지수 및 육중량비는 수온의 계절적 변화와 밀접하게 연관이 있으며, 주 산란기는 6월에서 8월로 하계산란형에 속하는 것으로 나타났다. 각장에 따른 성비의 변화는 비활성기동안 성전환의 가능성을 시사한다. 따라서 본 연구에서 종밧의 생식생물학적 기초자료를 제공함으로써 생물자원의 관리 전략을 수립할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

Arnaud-Haond S, Monteforte M, Blanc F, Bonhomme F. 2003. Evidence for male-biased effective sex ratio and recent step-by-step colonization in the bivalve *Pinctada mazatlanica*. *J Evol Biol* 16: 790-796.

Bayne BL. 1976. Aspects of reproduction in bivalve molluscs. In: Wiley M (ed.), *Estuarine Processes*. Academic Press, New York, pp. 432-448.

Behzadi S, Parivar K, Roustaian P. 1997. Gonadal cycle of pearl oyster, *Pinctada fucata* (Gould) in northeast Persian Gulf, Iran. *J Shellfish Res* 16: 129-135.

Booolootian RA, Farmanfarmaian A, Giese AC. 1962. On the reproductive cycle and breeding habits of two western species of *Haliotis*. *Biol Bull* 122: 183-193.

Capinpin Jr EC, Encena II VC, Bayona NC. 1998. Studies on the reproductive biology of the Donkey's ear abalone, *Haliotis asinina* Linne. *Aquaculture* 166: 141-150.

Carriker MR. 1967. Ecology of estuarine benthic invertebrates: A perspective. In: Lauff GH (ed.), *Estuaries*. American Association for the Advancement of Science, Washington, pp. 442-487.

Chang YJ, Lee TY. 1982. Gametogenesis and reproductive cycle of the cockle, *Fulvia mutica* (Reeve). *Korean J Fish Aquat* 15: 241-250.

Chávez-Villalba J, Soyoz C, Huvet A, Gueguen Y, Lo C, Le Moullac G. 2011. Determination of gender in the pearl oyster *Pinctada margaritifera*. *J Shellfish Res* 30: 231-240.

Chung EY, Lee TY, An CM. 1991. Sexual maturation of the venus clam, *Cyclina sinensis*, on the west coast of Korea. *J Med & Appl Malacol* 3: 125-136.

Chung EY, Ryou DK. 2000. Gametogenesis and sexual maturation of the surf clam *Macrta veneriformis* on the west coast of Korea. *Malacologia* 42: 149-163.

- Collin R. 1995. Sex, size, and position: A test of models predicting size at sex change in the protandrous gastropod *Crepidula fornicata*. *Am Nat* 146: 815-831.
- Crooks JA. 1996. The population ecology of an exotic mussel, *Musculista senhousia*, in a southern California bay. *Estuaries* 19: 42-50.
- Drury RAB, Wallington EA. 1980. Carleton's histological technique. Oxford University Press, New York, pp. 520.
- Eversole AG. 2001. Reproduction in *Mercenaria mercenaria*. Kraeuter JN, Castagna M (ed.), *Biology of the Hard Clam*. Elsevier, New York, pp. 221-260.
- Faasse M. 2018. A record of the Asian mussel *Arcuatula senhousia* (Benson in Cantor, 1842) from NW Europe (the Netherlands). *Spirula* 416: 14-15.
- Gosling E. 2004. Bivalve molluscs: Biology, ecology and culture. Blackwell Science, Oxford, pp. 443.
- Guo X, Hedgecock D, Hershberger WK, Cooper K, Allen Jr SK. 1998. Genetic determinants of protandric sex in the pacific oyster, *Crassostrea gigas* Thunberg. *Evolution* 52: 394-402.
- Haley LE. 1977. Sex determination in the American oyster. *J Hered* 68: 114-116.
- Head MAG, Stokes L, Thorson JT, Keller AA. 2016. Techniques for improving estimates of maturity ogives in groundfish using double-reads and measurement error models. *Fish Res* 179: 251-258.
- Heller J. 1993. Hermaphroditism in molluscs. *Biol J Linn Soc* 48: 19-42.
- Hoagland KE. 1978. Protandry and the evolution of environmentally-mediated sex change: a study of the Mollusca. *Malacologia* 17: 365-391.
- Jeon MA, Park MW, Ku K, Ju SM, Ko P, Kim BH, Myeong JI, Lee JS. 2012. Gonadal development and reproductive cycle of the boring bivalve *Barnea davidi* (Deshayes, 1874) in Hampyeong bay, Korea (Bivalvia: Pholadidae). *J Shellfish Res* 31: 951-958.
- Kim DH, Lim HK, Mim KS, Chang YJ, Kim TI. 1999. Reproductive cycle of surf clam (*Tresus keenae*) in southern coast of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 32: 659-663.
- Kim H, Kim Y, Park JJ, Jeon MA, Lee YG, Lee JS. 2018. Implications for fisheries management: sex ratio, size at sexual maturity, and reproductive cycle of *Saxidomus purpuratus* (Bivalvia: Veneridae) in Korea. *J Shellfish Res* 37: 951-957.
- Kim JM, Kim SC, Hur JW, Lim SM, Kim YH, Deon SC, Kang KH. 2012. Effect of water temperature on the larval development and spat growth of the cockle shell, *Fulvia mutica*. *Korean J Malacol* 28: 7-12.
- Kim SY, Shin YK, Lim HK, Lee WC. 2008. Gonadal development and reproductive cycle of the ark shell *Scapharca subcrenata* (bivalvia: arcidae) from Yeosu Bay. *J Aquaculture* 21: 252-258.
- Kushner RB. 2005. The effects of the introduced asian mussel *Musculista senhousia* in native bivalve growth and survival in Southern California. Ph.D. thesis. San Diego State University, San Diego.
- Lee JH. 1997. Studies on the gonadal development and gametogenesis of the granulated ark, *Tegillarca granosa* (Linne). *Korean J Malacol* 13: 55-64.
- Lee JS, Park JJ, Shin YK, Kim H, Jeon MA. 2014. Sex change and sequential hermaphroditism of *Tegillarca granosa* (Bivalvia: Arcidae). *Invertebr Reprod Dev* 58: 314-318.
- Lee JS, Park JS, Shin YK, Lee YG, Park JJ. 2013. Sequential hermaphroditism in Manila clam *Ruditapes philippinarum* (Bivalvia: Veneridae). *Invertebr Reprod Dev* 57: 185-188.
- Lee JS. 2015. Sex and sex reversal of bivalves. *Korean J Malacol* 31: 315-322.
- Lee JY, Chang YJ, Lee CS. 1997. Reproductive cycle of surf clam, *Spisula sachalinensis*. *Korean J Fish Aquat Sci* 30: 132-138.
- Lee JY, Park YJ, Chang YJ. 1999. Gonadal development and reproductive cycle of *Gomphina melanaegis* (Bivalvia: Veneridae). *Korean J Fish Aquat Sci* 32: 198-203.
- Lee SJ, Min KS, Kim BG, An CM, Ju SM, Lee JS. 2006. Gonad development and gametogenic cycle of the pen shell, *Atrina pectinata* (Bivalvia: Pinnidae). *Korean J Fish Aquat Sci* 39: 398-403.
- Lim JY, Hur SB. 2010. Comparison of seed collection and the growth of *Anadara subcrenata* in Suncheon and Boseong Bays. *Korean J Fish Aquat Sci* 43: 223-230.
- Limpanont A, Yang HS, Park KI, Choi KS. 2011. First report on the annual gametogenesis of *Heteromacoma irus* (Hanley, 1845) in a rocky intertidal area, northern Jeju Island, Korea. *J Shellfish Res* 30: 39-46.
- Liu W, Li Q, Yuan Y, Zhang S. 2008. Seasonal variations in reproductive activity and biochemical composition of the cockle, *Fulvia mutica* (Reeve) from the eastern coast of China. *J Shellfish Res* 27: 405-411.
- Mackie GL. 1984. Bivalves. Tompa AS, Verdonk NH, Van Den Biggelaar JAM, (ed.), *The Mollusca*, Vol. 7. Academic Press, New York, pp. 351-418.

- Mann R. 1979. Some biochemical and physiological aspects of growth and gametogenesis in *Crassostera gigas* and *Ostrea edulis* grown at sustained elevated temperatures. J Mar Biol Assoc UK 59: 95-110.
- Marroquin-Mora DC, Rice MA. 2008. Gonadal cycle of northern quahogs, *Mercenaria mercenaria* (Linne, 1758), from fished and non-fished subpopulations in Narragansett Bay. J Shellfish Res 27: 643-652.
- Marsden ID. 1999. Reproductive cycle of the surf beach clam, *Paphies donacina* (Spengler, 1973) from New Zealand. J Shellfish Res 18: 539-546.
- Mistri M. 2004. Effect of *Musculista senhousia* mats on clam mortality and growth: Much ado about nothing? Aquaculture 241: 207-218.
- Morton B. 1974. Some aspects of the biology, population dynamics, and trational morphology of *Musculista senhousia* Benson (Bivalvia, Mytilidae). Pac Sci 28: 19-33.
- Park JJ, Kim HJ, Shin SR, Jin YG, Kim JW, Lee JS. 2022. Reproductive cycle and sexual group maturity of *Buccinum osagawai* (Neogastropoda: Buccinidae). Fishes 7: 267.
- Park JJ, Lee JY, Lee JS, Chang YJ. 2003. Gonadal development and gametogenic cycle of the equilateral venus, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae). Korean J Fish Aquat Sci 36: 352-357.
- Richard J, Huet M, Thouzeau G, Paulet YM. 2006. Reproduction of the invasive slipper limpet, *Crepidula fornicata*, in the Bay of Brest, France. Mar Biol 149: 789-801.
- Sastry AN. 1963. Reproduction of the bay scallop, *Aequipecten irradians* Lamarck. Influence of temperature on maturation and spawning. Biol Bull 125: 146-153.
- Shin SR, Kim HJ, Kim JW, Kwon DH, Choi J, Park JJ, Lee JS. 2023. Sex ratio, spawning period, and sexual group maturity of the largehead hairtail *Trichiurus japonicus* (Teleostei: Trichiuridae) in Korean Waters. Fishes 8: 194.
- Sugawara K, Ebihara T, Ishii T, Aoki K, Uchida A. 1961. Outbreak of a mussel *Brachidontes senhousia* in Urayasu shellfish rearing ground. Vol. 3, Reports of the Chiba Prefecture Inner-Bay Fisheries Experimental Station, pp. 83-92.
- Takenaka R, Komorita T, Tsutsumi H. 2018. Accumulation of organic matter within a muddy carpet created by the Asian date mussel, *Arcuatula senhousia*, on the Midori River tidal flats, Japan. Plankton Benthos Res 13: 1-9.
- Uchida A, 1965. Growth of a mussel *Musculista senhousia* and the influence of *Musculista senhousia* on the clam *Tapes philippinarum*. Vol. 7, Reports of the Chiba Prefecture Inner-Bay Fisheries Experimental Station, pp. 69-78.
- Villalejo-Fuerte M, García-Domínguez F. 1998. Reproductive cycle of *Spondylus leucacanthus* (Broderip, 1833) (Bivalvia: Spondylidae) at Isla Danzante, Gulf of California. J Shellfish Res 17: 1037-1042.
- Wi CH, Chang YJ, Lee SJ, Hur YB, Lee JS. 2003. Sexual maturation and gametogenic cycle of the hard shelled mussel, *Mytilus coruscus* (Bivalvia: Mytilidae). J Aquaculture 16: 245-251.
- Wilson BR. 1969. Survival and reproduction of the mussel *Xenostrobus securis* (Lamarck) (Mollusca: Bivalvia: Mytilidae) in a Western Australian estuary. Pt. II: Reproduction, growth and longevity. J Nat Hist 3: 93-120.
- Yusa Y. 2007. Causes of variation in sex ratio and modes of sex determination in the Mollusca—an overview. Am Malacol Bull 23: 89-98.