

Eggs and Egg Capsule Morphology of the Neptune Whelk, *Neptunea constricta* (Dall, 1907) (Gastropoda: Buccinidae)

Min Ho Son

Korea Inter-University Institute of Ocean Science, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

ABSTRACT

Morphological aspects of the eggs and egg capsules of the neptune whelk, *Neptunea constricta* (Dall, 1907) (Mollusca: Gastropoda: Buccinidae) are described and illustrated with capsular dimension and enumerations of eggs and egg capsules based on the specimens collected from continental shelf of East Sea, Korea.

Keywords: Egg, Egg capsule, Morphology, *Neptunea constricta*.

INTRODUCTION

The morphology of molluscan egg capsule is generally regarded as being species specific (Soliman, 1987; Strathmann, 1987; D'Asaro, 1991; Turner, 1992), and form and structure of the egg capsule reflect the degree of anatomical complexity of the reproductive organs (Fretter and Hian, 1984). Thus, the form and structure of molluscan egg capsule have for long been useful tools in clarifying phylogenetic relationships among the Gastropoda (Ghiselin, 1965). According to the phylogenetic idea, Bandel (1976) and Soliman (1987) suggested a general scheme for the morphological classification or grouping of gastropod egg capsules and/or masses based on the species distributing in the Caribbean Sea and the northwestern Red Sea, respectively.

Among gastropods, most neogastropods, including

Buccinidae species, usually spawn tough-walled egg capsules (Soliman, 1987) which are firmly attached to the substratum or outer surface of their shells. Thorson (1946) reported brief morphology of egg and egg capsule in 2 European buccinid species (*Neptunea antiqua* (Linné, 1758) and *Buccinum undatum* Linné, 1758) with a common characteristic of neogastropod egg capsule, tough-walled capsule. Amio (1963) described 26 neogastropod species of 12 families distributing along the Japanese coasts. Although Amio (1963) described ample of neogastropod species from the far eastern sea, it remains undescribed so far that commonly observed many coastal species, such as *Neptunea constricta* (Dall, 1907), in the Korean waters.

Neptunea constricta is a common buccinid species found in continental shelf of the eastern sea of Korea (Yoo, 1976) and Japan (Okutani *et al.*, 1988). In spite of its predominance along the Korean coasts, morphology of its egg and egg capsule is unknown so far. The purpose of the present study, therefore, is to report the morphology of egg and egg capsule of the neptune whelk, *N. constricta* with description and illustration.

MATERIALS AND METHODS

1. Sampling

Four adult *Neptunea constricta* with a bunch of egg capsules on their shell surface were collected from continental shelf (ca. 60 m in depth) of East Sea, Korea (35°40'N, 130°25'E) with commercial whelk trap on 31 December 1999. The specimen was fixed with 10% neutral formalin-seawater solution on the

Received October 29, 2003; Accepted December 6, 2003

Corresponding author: Son, Min Ho

Tel: (82) 51-620-6296 e-mail: mhson@kios.pknu.ac.kr
1225-3480/19205

© The Malacological Society of Korea

board, and transported to the laboratory for further observation. Bottom water temperature and salinity, which were recorded in the field with a T-S meter (Orion Model 135) during collection, were 15.7°C and 34.1 psu, respectively.

2. Measuring, counting and drawing

Shell length of the 4 adults, the greatest distance from the anterior edge of the aperture to the tip of the spire, was measured with vernier calipers to 0.01 mm. The number of egg capsules ('capsule' afterward) per adult was counted directly with naked eye. Capsule size (length and width) was measured to 0.01 mm with an ocular micrometer attached to a dissecting microscope. Capsule length is the distance from the apex to the lowest part of the stalk; width is the distance between the lateral edges at the widest point. Measuring of the capsule size was based on 20 centrally positioned capsules (5 from each adult) of the adult specimens.

After measuring of linear characters of the capsule, 2 capsules per each bunch (total = 8 capsules) were dissected under the dissecting microscope to count the number of eggs per capsule and to measure the size of the eggs within the capsule. Egg diameter of uncleaved eggs ($n = 20$) of the species, randomly chosen from 4 capsules (1 from each specimens), was measured along the longest dimension with the ocular micrometer. To observe the morphology of the capsule wall and internal structure, capsules of the species were sectioned crossly and stained with methylene blue for accurate distinction of the wall layers.

Drawings were made with drawing tube attached to

a dissecting microscope. Morphological terminology used in the description is based on D'Asaro (1970) and Fretter and Graham (1994).

RESULTS

Intense yellow capsules were deposited on outer surface of the shell of *Neptunea constricta*. Mean number of the capsules per bunch was 41 (Table 1). The capsules were arranged in a planospiral with the convex sides of the capsules outward (Fig. 1A). The capsule does not bend easily at the constricted point and may not fall to one side because the capsules support mechanically each other (Fig. 1A). Each capsule (Fig. 1B, C) is firmly fastened to the outer shell surface and joined to adjacent capsules by confluent basal disc membrane to form a bunch of capsules. The membrane is not easily detached from the shell surface. The yellowish gray membrane looks like glue. Four to six prominent longitudinal broad grooves run convex surface (Fig. 1A-C). The capsule has not an apical plug (Fig. A-D). The curvature is not prominent, on the other hand, apical area bend to concave side forming a spoon-shaped capsule (Fig. 1C). Suture is not distinctive.

Capsule wall is composed of the following 3 layers (Fig. 1D, E). The outermost fibrous layer is almost transparent, tough and leathery. The middle mucus one, which has occasionally a vacuole(s) filled with mucus, is also nearly transparent and thick (Fig. 1D). The innermost gelatinous one is suspended in the mucus fluid like a hanging pocket and, therefore, it is only connected to apical part of the capsule (Fig. 1D).

Table 1. Summary of the characteristics of the eggs and egg capsules produced by *Neptunea constricta*, in the Korean waters.

Characters	Mean	Min.-Max.	n	
Shell length of adult (mm)	146.61	123.18-164.24	4	
Number of egg capsules/bunch	41	32-51	4	
Number of eggs/capsule	Viable egg	404	238-612	8
	Nurse egg	836	509-1031	8
	Total	1240		8
Size of egg capsule (mm)	Length	26.90	20.96-30.21	20
	Width	15.09	13.11-17.45	20
Size of egg (mm)	0.37	0.30-0.42	20	

A capsule contained average 1240 bright yellow eggs (early developmental stage) in which viable eggs comprising 32.6% of total number of eggs per capsule (Table 1). Using a microscope, the nurse eggs (Fig.

1F) were easily distinguishable from the viable eggs (Fig. 1G) by morphological difference between them. The eggs were closely packed altogether and bathed in a colorless mucus semifluid of inner side of the

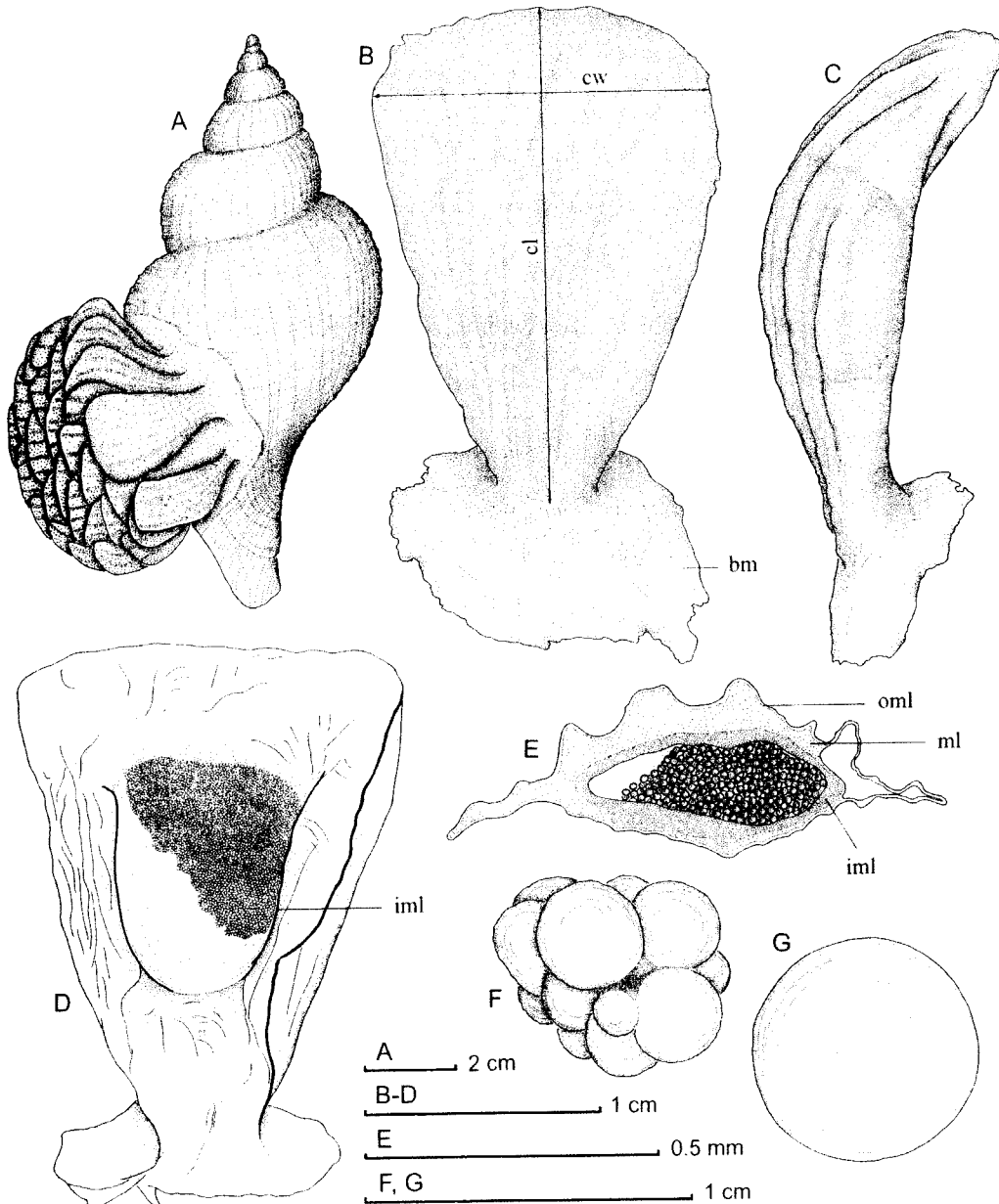


Fig. 1. *Neptunea constricta*. A. abapertural view of the shell with a bunch of egg capsules. B. convex side of the capsule. C. lateral view of the capsule. D. convex side of the capsule in which outer capsule layers are torn to show structure and location of the innermost capsule layer within the capsule. E. cross section of the capsule. F. a nurse egg. G. a viable egg. bm, basal membrane; cl, capsule length; cw, capsule width; iml, innermost layer; ml, middle layer; oml, outermost layer.

capsule.

DISCUSSION

In the point of overall contour, solid and tough-walled capsules of *Neptunea constricta* was a typical form in the prosobranchs (Bandel, 1976), especially in neogastropods (Soliman, 1987). Capsule morphology of this species in detail (Fig. 1), however, may be basically characteristics of this species. Species specific capsule morphology in marine gastropods was reported by Strathmann (1987) who stated that 'capsules of gastropods have species specific shapes and features'. Morphology of capsules and pattern of capsule array of *N. constricta* are very similar to that of a congeneric species, *N. lyrata* (Gmelin, 1791) described by Strathmann (1987) who observed that tough, yellow and leaf-shaped capsules are deposited in a planospiral with convex sides of the capsules outward.

The number of capsules per bunch, produced by a female, may show intrageneric variation. *Neptunea constricta*, in the present study, produced approximately a half number of capsules (average 41 capsules; n = 4) per bunch in a congeneric species, *N. antiqua* (Jeffreys, 1867) (10-100 capsules). Exact comparison of the number of capsules per bunch, however, between the two species was not possible because Jeffreys (1867) did not report the average number of capsules and the number of specimens used for his study.

Capsule size (average 26.9 mm in length) of

Neptunea constricta was much larger than that (13 mm in length) of *N. lyrata* (Strathmann, 1987) (Table 2). Although the capsule size of *N. constricta* is one-second of that of *N. lyrata*, the number of eggs per capsule (2400/capsule) of *N. lyrata* (Strathmann, 1987) was approximately three times than that of *N. constricta* (1240/capsule, Table 1, 2). Of a number of eggs within the capsule of *N. lyrata*, only 1-4 eggs develop into viable embryos and the rest being nurse eggs (Rivest, 1981). Thorson (1946) also reported that each capsule of *N. antiqua* (Linné) contains several thousands of eggs, but only 1-4 of these develop into embryos, the others serving as food for these. In contrast with *N. lyrata* and *N. antiqua*, approximately one-third of the eggs per capsule of *N. constricta* was identified as viable eggs (Table 1, 2), although the author has no empirical data to support that all viable eggs of *N. constricta*, morphologically identified, will develop into the viable embryos afterward. Intra- and inter-specific variation in the amount of nurse eggs available for a single embryo in the family Buccinidae had been reported by Fretter and Graham (1994). Presence of the nurse eggs in *N. constricta*, however, was a possible additional evidence to support a general phenomenon that most *Neptunea* species have some nurse eggs as food for the limited viable embryos.

Egg size of *Neptunea constricta* is very similar with that of *N. antiqua* (Thorson, 1946) and *N. lyrata* (Strathmann, 1987) (Table 2). It probably means, consequently, that egg size is independent, in

Table 2. Comparison of the characteristics of the eggs and egg capsules produced by three *Neptunea* species.

Characters	<i>N. constricta</i>	<i>N. antiqua</i>	<i>N. lyrata</i>
	(the present study)	*Jeffreys (1867) Thorson (1946)	*Rivest (1981) Strathmann (1987)
Number of egg capsules/bunch	41	10-100	-
Number of eggs/capsule	Viable egg	404	2-4
	Nurse egg	836	-
	Total	1240	several thousands
Size of egg capsule (mm)	Length	26.90	-
	Width	15.09	-
Size of egg (mm)	0.37	0.30	0.3

- data not available

Neptunea species, from the capsule size and the number capsule per bunch and the number of eggs per capsule.

In conclusion, overall morphology of the capsule and egg size of *Neptunea constricta* was similar with that of some congeneric species, although there were considerable intra-specific variation in size of the capsules and the number of capsules per bunch and the number of eggs per capsule.

REFERENCES

- Amio, M. (1963) A comparative embryology of marine gastropods, with ecological considerations. *Journal of the Shimonoseki University of Fisheries*, **12**: 229-358. [in Japanese]
- Bandel, K. (1976) Spawning, development and ecology of some higher Neogastropoda from the Caribbean Sea of Colombia (South America). *Veliger*, **19**: 176-193.
- D'Asaro, C.N. (1970) Egg capsules of prosobranch mollusks from South Florida and the Bahamas and notes on spawning in the laboratory. *Bulletin of Marine Science*, **20**: 414-440.
- D'Asaro, C.N. (1991) Gunnar Thorson's world-wide collection of prosobranch egg capsules: Muricidae. *Ophelia*, **35**: 1-101.
- Fretter, V. and Graham, A. (1994) British Prosobranch Molluscs: Their Functional Anatomy and Ecology. pp. 355-383, Ray Society. London.
- Fretter, V. and Hian, K.B. (1984) Observations on the reproductive system of the aplysiid *Dolabella auricularia*. *Malacologia*, **25**: 193-201.
- Ghiselin, M.T. (1965) Reproductive function and the phylogeny of ophisthobranch gastropods. *Malacologia*, **3**: 327-278.
- Jeffreys, J.G. (1867) British Conchology. Vol. 4. pp. 78-93, van Voorst. London.
- Okutani, T., Tagawa, M. and Horikawa, H. (1988) Gastropods from Continental Shelf and Slope around Japan. p. 122, Japan Fisheries Resource Conservation Association, Tosho Printing Co., Ltd. Tokyo.
- Rivest, B.R. (1981) Nurse egg consumption and the uptake of albumen in the embryonic nutrition of marine snails. pp. 94-99, Ph.D. Dissertation, University of Washington. Seattle.
- Soliman, G.N. (1987) A scheme for classifying gastropod egg masses with special reference to those from the northwestern Red Sea. *Journal of Molluscan Studies*, **53**: 1-12.
- Strathmann, M.F. (1987) Reproduction and Development of Marine Invertebrates of the Northern Pacific Coast. pp. 220-267, The University of Washington Press. Seattle.
- Thorson, G. (1946) Reproduction and larval development of Danish marine bottom invertebrates. Meddelelser fra Kommissionen for Danmarks, Fiskeri-og Havundersøgelser, series: *Plankton*, **4**: 1-524.
- Turner, S.J. (1992) The egg capsules and early life history of the corallivorous gastropod *Drupella cornus* (Röding, 1798). *Veliger*, **35**: 16-25.
- Yoo, J.S. (1976) Korean Shells in Colour. p. 76, Ilji-sa. Seoul. [in Korean]

강원도 남대천에 서식하는 일본재첩, *Corbicula japonica*의 생식주기 및 성비

김완기, 이정용, 이채성, 안철민, 김형수¹, 최철영², 김재원³, 정의영⁴, 김봉석¹
국립수산과학원 증식부, ¹생명공학연구원, ²미국 국립보건원, ³부경대학교, ⁴군산대학교

Reproductive Cycle and the Sex Ratio of *Corbicula japonica* from Namdae Stream in Gangwon-do, Korea

Wan-Ki Kim, Jeong-Young Lee, Chae-Sung Lee, Chul Min An, Hyung Soo Kim¹,
Choel-Young, Choi², Jae Won Kim³, Ee-Yung Chung⁴ and Bong-Seok Kim¹

Aquaculture Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan, 619-902, Korea

¹Biotechnology Research Center, National Fisheries Research and Development Institute, Busan, 619-902, Korea

²Laboratory of Gene Regulation and Development, National Institute of Child Health and Human Development, National Institutes of Health (NIH), Bethesda, MD 20892

³Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

⁴School of Marine Life Science, Kunsan National University, Kunsan, 573-701, Korea

ABSTRACT

Reproductive cycle and sex ratio of the marsh clam *Corbicula japonica*, a oviparous clam, were investigated monthly by histological observation. Samples were collected in brackish water of Namdae stream on the east coast of Korea from November 2000 to October 2001.

It was able to divide the reproductive cycle of this species into five successive stages; early active (April to June), late active (May to June), ripe (June to August), partially spawned (June to September), spent (September to January) and resting stage (February to April). The spawning period was from July to September, and the main spawning occurred between August and September when seawater temperatures reached above 26°C. Mature eggs of *Corbicula japonica* were 60-70 µm in diameter. The sex ratio of individuals over 10.1 mm in shell length was about 1:1 ($\chi^2 = 1.22$, $p > 0.05$).

Keywords: Dioecious, Reproductive cycle,

Corbicula japonica.

서론

재첩류 (*Corbicula* spp.)는 우리나라와 일본의 맑은 강 하구나 담수, 또는 기수역에 서식하는 소형 이매패로서 자연번식력이 왕성하여 예로부터 양국에서는 이를 중요한 식용으로 이용해왔다 (Lee and Chung, 1980; Utoh, 1981; Maru, 1981).

일본산 재첩류에 관하여는 Miyazaki (1936)의 *Corbicula* 속에 속하는 이매패의 발생학적 연구를 시작으로, *C. sandai*의 발생연구 (Hurukawa and Misumoto, 1953), 일본재첩 (*C. japonica*)의 성장 및 번식계절 (Fuji, 1957), 재첩의 생식주기 (Maru, 1981), 일본재첩의 성장 및 생식 (Utoh, 1981) 등이 보고되어 있다. 우리나라에 서식하는 재첩류에 관하여는 *Corbicula leana*, *C. fluminea*, *C. japonica*, *C. papy* 등 6 종이 서식하고 있는 것으로 보고 되어 있는데 그중 일본재첩으로 불리우는 *C. japonica*가 광범위하게 서식하고 있다. 우리나라산 일본재첩에 관한 연구는 Byun and Chung (2001)에 의해 경북 포항 하구의 기수역에 서식하는 재첩의 분포와 생태조사가 보고 되어 있을 뿐이다. 일본재첩은 비교적 광염성으로 우리나라 전 해안의 하구에 서식함에 따라 손쉽게 어업인들의 채취를 통해 경제적 활동이 이루어지고 있는 생물자원이다. 그러나, 채취도구의 발달과 남획, 주 서식지

Received October 27, 2002; Accepted December 6, 2003

Corresponding author: Kim, Bong-Seok

Tel: (82) 51-722-0108 e-mail: bskim@nfrdi.re.kr
1225-3480/19206

© The Malacological Society of Korea

인 강 하구의 지리적 변동으로 인한 서식환경의 변화 또는 간척 및 개발에 의한 서식면적 감소, 증가하는 생활하수의 유입에 따른 수질오염 등으로 재첩의 자원량은 감소하고 있다. 1984년 15,513 톤 채취되었던 재첩은 10년이 지난 1995년에는 959 톤, 그리고 2001년에는 309 톤으로 채취량이 급감하여 상기한 바의 결과로 나타나고 있다 (Ministry of Agriculture and Forestry Republic of Korea, 2002). 이들 자원 증대를 위해서는 지역별 재첩의 산란기를 파악하여 산란기동안 채취금지기간을 설정하거나 인공종묘생산기술의 확립으로 안정적인 종패를 확보해야하므로 생식·생물학적 측면에서 생식주기를 밝히는 것은 산란기와 가입시기를 파악할 수 있으며, 연령사정을 할 수 있어 자원증식 측면에서 매우 중요하다. 따라서 우리나라 연안에 서식하는 이들 일본재첩의 생식생물학적인 연구를 통해 재첩을 인공생산할 수 있는 기초연구들이 필요한 때이다.

본 연구는 강원도에 적합한 양식품종 개발을 위하여 이 지역의 기수역에 서식하는 재첩의 배우자 형성과정, 생식주기 및 성비 등을 조사하여 인공양식에 필요한 생식생물학적 자료제공과 양식대상종 탐색을 위해 실시하였다.

재료 및 방법

본 실험에 사용한 재료는 재첩 (*Corbicula japonica*) 으로 2000년 11월부터 2001년 10월까지 매월 1 회 강원도 양양군 양양읍 가평리 남대천 하구 기수역 (0.52-1.89 psu) 에서 들

망과 방형구를 사용하여 매회 30-40 개체씩 채집하였다. 채집지의 수온과 염분농도를 시료 채취시 마다 측정하였다. 채집된 생체시료는 실험실로 옮겨, 각자 (automatic vernier calliper) 를 사용하여 각 개체의 각장 (SL: shell length), 각고 (SH: shell height) 및 각폭 (SB: shell breadth) 을 0.01 mm 단위까지 측정하였고, 전자 저울로 전중 (TW: total weight) 을 0.01 g 단위까지 측정하였다.

생식세포의 형성과정과 생식주기를 파악하기 위하여, 채집시료의 내장낭에서 족부까지 분포하는 생식소 부위를 잘라 Bouin 고정액에 24 시간 고정하였다. 고정된 생식소는 탈수과정을 거쳐 paraffin 절편법에 따라 5-7 μ m의 연속절편을 만들었으며 Mayer's haematoxylin-0.5% eosin 염색법으로 비교 염색하였다. 생식소지수는 Mann's method (1979) 를 이용하였으며, 각 개체의 발달단계를 조직학적으로 판별하여 비활성기를 0, 산란-퇴화기를 1, 초기활성기를 2, 후기활성기를 3, 부분산란기를 4, 성숙기를 5로 변환하여 수식으로 나타냈으며, 연체부 생식소의 발달여부와 암, 수의 성을 판별하여 생식주기를 파악하였다.

결 과

1. 환경요인

일본재첩의 채집기간 동안 남대천의 월별 평균수온은 2001년 7월과 8월에 걸쳐 각각 26.2 $^{\circ}$ C, 26.5 $^{\circ}$ C로 가장 높았으며, 당해 12월에 1 $^{\circ}$ C내외로 낮아져 2002년 1월에는 영하 0.1 $^{\circ}$ C로

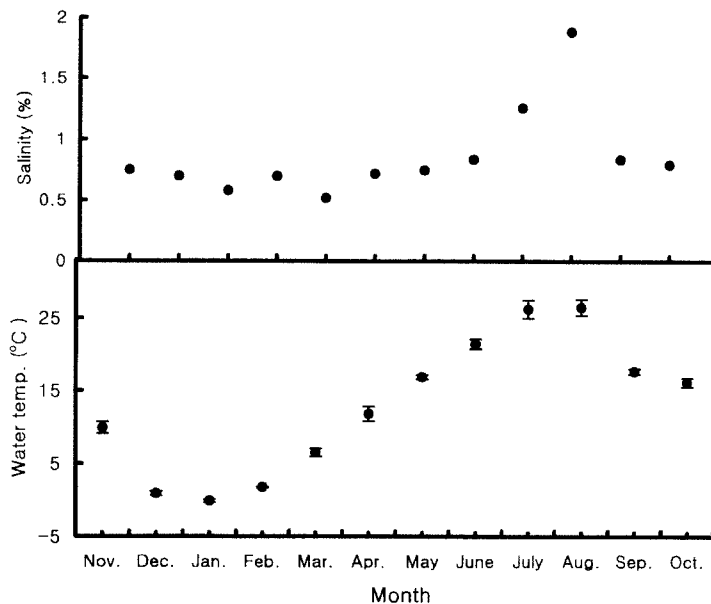


Fig. 1. Monthly variation of water temperature and salinity at the sampling area.

가장 낮았다. 염분은 실험기간 내내 0.52-1.89 psu이었다 (Fig. 1).

2. 외부형태 및 생식소의 형태

재첩의 생식소는 내장낭의 소화맹낭 아래로부터 족부의 외벽근층 안에 있는 섬유성망상결합조직까지 분포되어 있다. 미성숙 난소나 정소는 소화맹낭 주위에 매우 좁게 분포하므로 외관상 식별이 어려우나, 산란기에 접어들면서 개체가 성숙하게 되면 이들 생식소는 내장낭 주변 결체조직의 대부분을 차지하므로 족부의 섬유성 망상결합조직층까지 확장, 발달되어 암컷은 비교적 회흑색으로, 수컷은 유백색으로 나타났다 (Fig. 2). 이후 방란, 방정을 마치게 되면 생식소가 위축되어 외관상 자웅을 식별하기 어렵다.

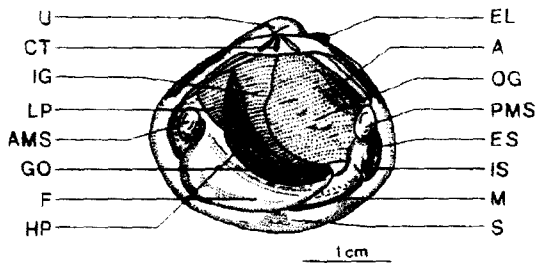


Fig. 2. Anatomy of *Corbicula japonica*. Abbreviations: A, anus; AMS, anterior adductor muscle; CT, cardinal tooth; EL, external ligament; ES, excurrent siphon; F, foot; GO, gonad; HP, hepatopancreas; IG, inner gill; IS, incurrent siphon; LP, labial palp; M, mantle; OG, outer gill; PMS, posterior adductor muscle; S, Shell.

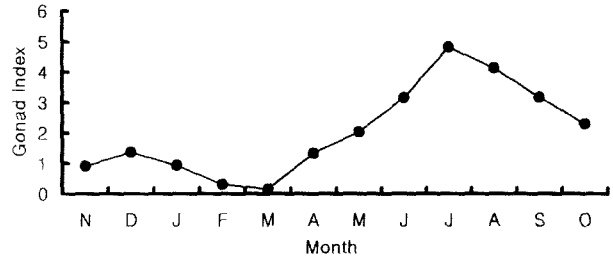


Fig. 3. Monthly changes in the mean gonad index (GI) of *Corbicula japonica* from November 2001 to October 2002.

3. 생식소지수

생식소의 발달단계에 따른 계급값으로 나타낸 생식소 지수는 6.53°C 내외의 수온을 보인 3월 0.13의 최저값을 보인 이후 11.83°C까지 지속적으로 상승하는 수온과 함께 4월부터 증가하기 시작하여 부분산란기를 보이는 6월에 높은 값을 보이고 7월에는 최대값인 4.83에 도달하였다. 이후 산란이 일어나 지속적으로 감소된 후 12월에 다소 높아졌으나, 이듬해 1월까지 1 내외의 낮은 값을 보였고 3월에 최저값인 0.16을 나타내었다 (Fig. 3). 이러한 생식소지수의 월별 변화는 생식주기와 일치하는 경향을 보였다 (Fig. 4).

4. 생식 주기

생식세포의 형태와 크기를 조직학적 조사를 토대로 하여 구분한 생식소 발달 단계는 일정한 주기성을 나타내었다. 생식주기는 초기활성기, 후기활성기, 완숙기, 부분산란기, 퇴화 및 비활성기의 연속적인 5단계로 구분하였다 (Fig. 5).

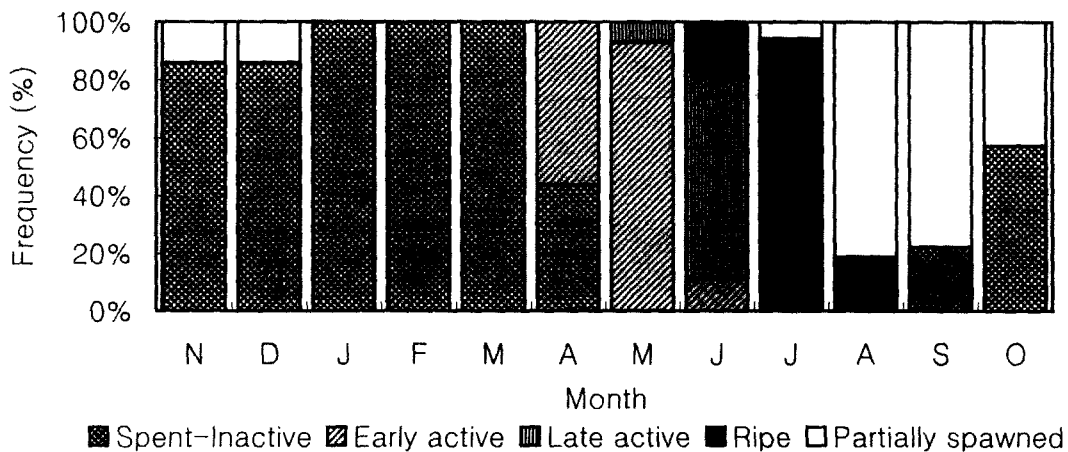


Fig. 4. Frequency gonadal phases of *Corbicula japonica* from November 2000 to October 2001.

1) 초기활성기 (early active stage)

암컷의 경우, 난소 내에 부분적으로 두터운 생식상피를 가지는 소낭들이 산재하고 있으며 이들 생식상피를 따라 난원세포가 분열증식되고 있으며, 또한 초기 발달중인 난모세포가 출현하였다. 수컷의 경우, 정소세관의 두터운 생식상피에 정원세포들이 출현하였으며 다수의 정모세포가 같이 출현하였다. 이 시기에 암수의 생식세포들 주변에는 미분화 간충조직과 호산성 과립세포들이 나타났다. 난소소낭과 정소세관의 생식상피는 두터웠고 결합조직이 가득 채워져 있었다. 초기 활성기의 개체들은 4-6월에 나타났다.

2) 후기활성기 (late active stage)

암컷의 경우, 난소소낭에 존재하는 소수의 난원세포들과 난병을 갖는 다수의 발달중인 난모세포들이 식별되는 시기로 난소소낭의 생식상피는 전 단계 보다 얇아졌다. 수컷의 경우, 발달한 정소세관 내에는 정모세포, 다수의 정세포들과 일부 변태중인 정자들이 정소세관의 내강을 채우고 있었다. 난소소낭과 정소세관 내 결합조직은 초기 활성기에 비해 그 면적은 줄어들었다. 후기활성기의 개체들은 5-7월에 출현하였다.

3) 완숙기 (ripe stage)

암컷의 경우, 난소는 최대로 비후되며, 난소소낭의 내강 내에는 완숙 난모세포들로 가득 차 있고 생식상피는 아주 얇아졌다. 수컷의 경우, 정소세관의 생식상피가 아주 얇아졌으며, 변태를 마친 완숙정자들이 정소세관의 내강에 밀집되어 두부를 외측 생식상피 쪽을 향한 채 물결 모양의 흐름을 이루었다. 이 시기에는 난소소낭이나 정소세관이 비후되었다. 완숙기의 개체들은 6-8월까지 출현하였다.

4) 부분산란기 (partially spawned stage)

부분산란기의 개체들은 조직학적으로 7월에서 12월 초순까지 장기간 관찰되었으나, 암, 수 개체들의 산란성기는 8-9월로

나타났다. 암컷의 경우, 난소소낭 내강은 잔존 성숙난모세포들이 채우고 있었고, 결합조직층 역시 흐트러져있었다. 난소소낭을 가득 채웠던 완숙 난모세포들이 방란되어 난소소낭의 내강은 잔존 난모세포들이 산재하였다. 수컷의 경우 정자들이 거의 방출되어 물결모양의 정자배열이 붕괴되고 비후된 세관은 조직상이 허물어져 있었고 빈 내강과 일부 방정 되지 못한 잔존 정자괴가 드물게 출현하고 있었다. 결합조직층은 허물어져 방란 방정 후의 치밀성을 잃고 있었다.

5) 퇴화 및 비활성기 (spent-inactive stage)

퇴화기의 개체들은 이른 산란을 끝낸 개체들이 9월부터 출현하여 이듬해 1월까지 지속되었고, 생식소 구축을 정비하는 비활성기의 개체들은 2월부터 4월까지 식별되어 장기간의 퇴화 및 비활성기를 보였다.

암컷의 경우, 방란을 마친 난소들의 난소 소낭들은 텅 빈 채로 비교적 오랜 시간퇴화·위축과정을 겪고 있었으며, 잔존 난모세포들의 세포질 붕괴나 흡수가 일어나는 것이 관찰되었다. 난소소낭들이 퇴화, 흡수된 후 새로 형성되는 난소소낭 주변에 결합조직들이 재구축되고 있었으며 소낭 상피상에는 난원세포들이 장기간 나타났다. 수컷의 경우, 방정 후 정소세관은 퇴화·위축되어 결합조직 사이로 함몰되는 모습을 보였으며, 일부 세관에서 잔존 정자들이 퇴화, 흡수되었다. 정소세관이 퇴화, 흡수된 후 정소세관 주변에는 결합조직들이 가득 채워지며, 2월부터 정소세관의 생식상피에는 새로이 생성된 일부 정원세포가 출현한 후 장기간에 걸쳐 나타났다.

5. 성비

일본재첩의 미성숙 개체는 생식소가 장관 주위에 매우 좁게 분포되어 있어 외관상 식별이 곤란하므로, 생식소의 조직학적 판정에 의해 연중 암, 수 식별이 가능하였다. 특히, 퇴화 및 비활성기에도 암, 수의 조직학적 특징이 달라 성의 구분에 어려움 없었다. 연중 395 개체 중 12월에 채집된 1 개체에서 자

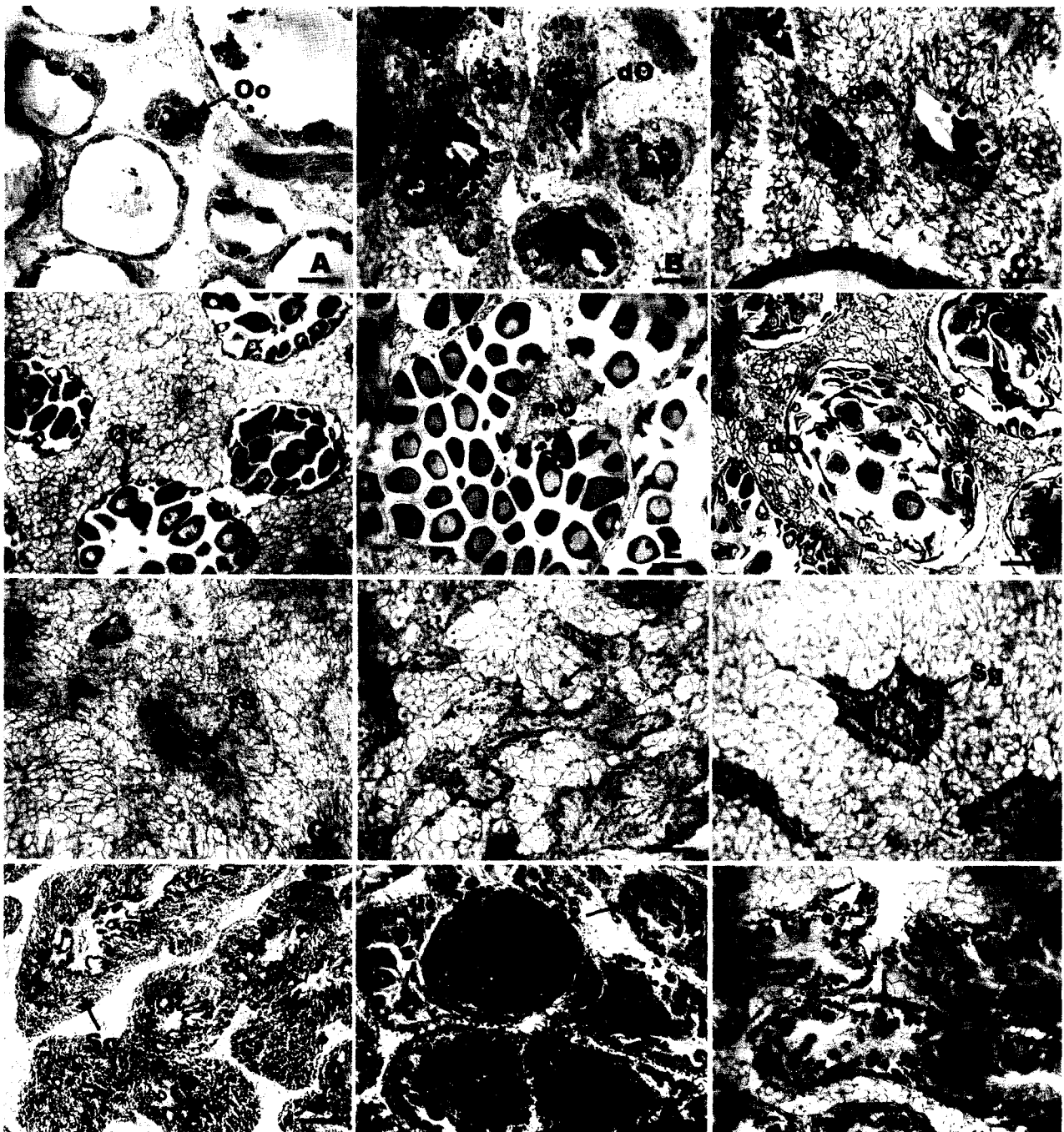
Fig. 5. Photomicrographs of gonadal phases of *Corbicula japonica* (A-L). A, section of the ovarian sacs in the spent stage. B, section of the ovarian sacs in the spent / inactive stage; C, section of an ovarian sacs in the early active stage. Note oogonia along the germinal epithelium of the ovarian sacs; D, section of the ovarian sacs in the late active stage. Note unidentified mesenchymal tissue and pigment granular cells between the growing oocyte; E, section of the ripen ovary. Numerous yolk materials are seen in the cytoplasm and nucleolus in the germinal vesicle; F, section of the ovarian sacs in the partially spawned stage. Note the presence of a few undischarged eggs in the ovarian sac after spawning; G, section of the testicular tubules in the spent stage. Note undischarged spermatozoa and disintegrating tissue of the testis; H, section of tubules in the inactive stage. I, section of the tubules in the early active stage. Note spermatogonia along the germinal epithelium. J, section of tubules in the late active stage. Note the layer composed of spermatogonia, spermatocyte and spermatid on the germinal epithelium; K, section of tubules in the ripen stage. Note the enlarged tubules containing a great number of spermatozoa; L, testis in the partially spawned stage. Note undischarged spermatozoa in the tubules. Abbreviations: Oo, Oogonia; Oc, Oocyte; dO, degenerating oocyte; gO, growing oocyte; mO, mature oocyte. rS, remained spermatozoa; Sg, Spermatogonia; Sc, Spermatocyte; Sz, Spermatozoa; iT, Interstitial tissue. Scale Bars indicate 100 µm.

웅동체현상이 발견되었으나, 암컷 208 개체, 수컷 186 개체로 전형적인 자웅이체 이매패로서 암컷 대 수컷의 성비는 1:1 유의한 차를 보이지 않았다 ($\chi^2 = 1.22, p > 0.05$).

고 찰

본 조사 결과, 강원도 양양군의 남대천 하구역에 서식하는 일

본재첩 (*Cobicular japonica*) 은 자웅이체로 난생을 하는 종으로서 연중 조직학적 식별이 가능하였다. 기수에 서식하는 재첩은 일본에서 일본재첩이라 부르는 종과 동일하나 현재 국내에 서식하는 일본재첩은 난소와 정소의 색깔이 일본에서 채집된 재첩 (Maru, 1981) 이나 Byun and Chung (2001) 이 조사한 것과 같았다. 조직학적 관찰에 이용된 재첩 395 개체의



각장은 최대 37.20 mm, 최저 10.58 mm, 평균 26.91 mm이였으며, 전중은 최대 10.66 g, 최소 0.77 g, 평균 4.73 g으로 나타나 Byun and Chung (2001)이 보고한 50% 균성숙을 보이는 각장 범위인 10 cm 보다 비교적 큰 개체들이 채집되었다.

패류의 생식소 발달에 관하여, 영양세포는 진주조개, *Pinctada martensii* (Lee, 1972), 재첩 (*Corbicula fluminea*; Lee and Chung, 1980), 소라 (*Turbo cornutus*; Lee, 1980), 펄조개 (*Anodonta woodiana*; Chung, 1980), 일본산 일본재첩 (*Corbicula japonica*; Maru, 1981), 맛조개 (*Solen strictus*) 와 붉은맛 (*Solen gordonis*) (Chung et al., 1986), 개량조개 (*Mactra chinensis*; Chung et al., 1987) 등에서 보고되었다. 본 조사에서 재첩의 난소 내에 출현하는 미분화 간충조직과 색소과립 세포들도 초기 난원세포의 분열증식기부터 풍부하게 나타나기 시작하여, 난모세포의 성장과 거의 비례하여 그 수가 감소하다가 완숙 난소에서는 거의 찾아볼 수 없는 점으로 미루어, 난모세포 성장에 관여하는 영양세포로 생각된다. 이와 동일하게 정소발달에서도 초기 신생 정소에 풍부하게 나타나기 시작하여 정소의 발달과 함께 소실되고 완숙정소에서는 거의 찾아볼 수 없는 미분화간충조직과 색소과립들 역시 정소의 영양세포로 생각된다. Maru (1981) 는 일본재첩에 있어서 방란, 방정 후 관찰되는 식세포 활동을, 먼저 발달한 생식세포를 희생 분해하여 그 영양물질을 이후 발달하는 새로운 생식소의 증식, 성장에 사용하는 기작으로 추정하였다. 일반적으로 체외수정을 하는



Fig. 6. Photomicrograph of hemaphrodite of *Corbicula japonica*. Note ovarian sacs and testicula lobules in the gonad. Abbreviations: Ov, ovarian sac; Te, testicula lobule. Bar indicates 100µm.

종들은 방출기를 지나면 생식소가 비활성기에 들어가 생식소 내에서 생식세포를 찾아볼 수 없으나 (Chung et al., 1986, 1987; Lee et al., 1997), 전복과 소라, 새조개, 펄조개는 방란 방정 후 생식소가 비활성기로 들어가지 않고 곧 회복기로 들어가 새로운 생식세포를 형성하기 시작한다 (Lee, 1980; Chung, 1980; Chang and Lee, 1982). 본 연구에 사용된 일본재첩에서도 일본산 일본재첩 (Maru, 1981) 과 마찬가지로

Table 1. Monthly variations of the sex ratios of *Corbicula japonica*. (>10.1 mm in shell length)

Date	Female	Male	Hermaphrodite	Total	Sex ratio (F/F+M)	χ^2 (Chi squared)
Nov. 2000	18	14	—	32	0.56	0.50
Dec. 2000	16	14	1	31	0.53	0.13
Jan. 2001	17	13	—	30	0.57	0.53
Feb. 2001	16	16	—	32	0.50	0.00
Mar. 2001	16	16	—	32	0.50	0.00
Apr. 2001	17	16	—	33	0.52	0.03
May 2001	16	14	—	30	0.53	0.13
Jun. 2001	19	18	—	37	0.51	0.03
July 2001	18	17	—	35	0.51	0.00
Aug. 2001	25	16	—	41	0.61	1.98
Sep. 2001	15	18	—	33	0.45	0.27
Oct. 2001	16	14	—	30	0.53	0.13
Total	209	186	1	396	0.53	1.22

*The critical value for χ^2 goodness-of-fit test of equal numbers of females and males, at 95% significance was 3.84.

로 방란, 방정 후 생식소가 완전 소실되지 않고 퇴화되면서 곧 이어 분화발달하고 재배치되는 결합조직 내에 신생 생식소가 형성되었다.

패류의 생식세포 형성과 성숙을 지배하는 환경요인으로 수온, 일조시간, 먹이 등이 보고되고 있다 (Giесе, 1959; Lee, 1980; Chung *et al.*, 1986, 1987; Choi *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 1997; Son *et al.*, 1998). 일본재첩은 수온이 상승하는 10°C 이상으로 상승하는 4월부터 활발한 초기성장기를 보여 수온이 20°C 이상을 보이는 6월 한달의 짧은 후기활성기를 거쳐 년중 가장 고수온기인 7월의 26°C 수온에 이를 때 완숙기를 보이면서 7월말부터 지속적인 고수온기를 보이는 8월과 수온이 하강하는 9월에 걸쳐 주산란기를 보였다. 이후 10°C 이하로 감소하는 10월 중순 이후 퇴화기에 접어들고 수온이 가장 낮아 0°C 내외로 나타나는 이듬해 1월부터 4월 초순까지 장기간의 비활성기에 들어가는 특징을 보였다 (Fig. 6). 조직학적 관찰에 의한 생식소의 발달단계에 따른 계급값으로 나타난 생식소 지수는 수온이 6.53°C에서 11.83°C로 증가하는 4월부터 증가하기 시작하여 7월까지 급격한 증가를 보여 최대값(4.83)에 도달하였다. 이후 산란이 일어나는 시기동안 지속적으로 감소하다가 12월에 다소 높아지는 특징을 보였고 이듬해 3월에 최저값(0.16)을 보였다. 이러한 생식소지수의 월별 변화는 생식주기와 일치하는 경향을 보였다. 일본의 藻琴호에 서식하는 일본재첩의 산란기는 7-8월로 보고되고 있고 (Maru, 1981), 동계에는 결빙되는 일본 북해도 網走湖산 일본재첩 역시 7월 중순부터 9월 상순까지 산란기로 보고되고 있다 (Utoh, 1981). 한국 동해남부 포항의 강 하구에 서식하는 재첩의 산란기 역시 7-8월로 보고되고 있는데 양양의 하구역에 서식하는 강원도 일본재첩은 주산란기가 8월에서 9월로 다른 지역의 일본재첩보다 다소 늦었으며, 수온이 10°C 이하로 나타나는 11월부터 3월에 이르기까지 장기간의 퇴화-비활성기를 보였다. 포항산 일본재첩의 초기활성기가 2-4월인데 비해 강원도산은 4월에 시작되며 각 발달단계가 뚜렷한 모드를 보임으로써 본 실험에 이용된 일본재첩은 수온과 생식주기가 밀접한 상관성을 갖는 것으로 판단되며 지역적 차이에 따라 산란기가 약간씩 다르게 나타남을 알 수 있다.

자원증식과 관리를 위한 자료로 매우 중요한 균성숙도 조사는 일본산 일본재첩은 생물학적 최소 각장이 암컷 10.5 mm, 수컷 14.4 mm로 보고되어 있는데 (Maru, 1981). 포항 곡강천 재첩은 성별에 따른 각장 차이가 없었다고 보고되어 있다. 또한 종은 다르지만 일본산 *Corbicula sandai*의 경우 생물학적 최소 각장이 14.4 mm (Hurukawa and Mizumoto, 1953), 우리나라 낙동강산 재첩, *C. elatior*는 암컷 17 mm, 수컷 15 mm (Jung, 1977), 낙동강산 *C. fluminea*는 각장 15 mm 이상부터 모든 개체가 생식에 참가하는 것으로 나타

나 (Lee *et al.*, 1985), 재첩 속의 경우 생물학적 최소 각장이 매우 유사하였다. 본 연구에서 암컷과 수컷이 개체의 50%가 각각 생식에 참가하는 각장은 조직학적 검경결과 암수 개체가 성숙에 이르러 재생산에 50% 이상 가담하는 크기는 각장 15 mm로 나타났다.

이매패류는 보통 외형적으로 암수의 구분이 어려운 경우가 대부분이다. 일본재첩의 미성숙 개체는 생식소가 장관 주위에 극히 좁게 분포되어 있어 외관상 식별이 곤란하였으므로, 생식소의 조직학적 판정에 의해 년중 암, 수 식별이 가능하였다. 특히, 퇴화 및 비활성기에도 그들의 조직학적 특징이 달라 성의 구분에 어려움은 없었다. 연중 395 개체 중 암컷 208 개체, 수컷 186 개체로 암컷 개체가 많았으나 95% 신뢰한계 내에서 암컷 대 수컷의 성비는 1:1로 유의한 차이를 보이지 않았다. ($\chi^2 = 1.22$, $p > 0.05$). 조사된 총 395 개체 중 12월에 1 개체에서 자웅동체 현상의 간성을 가진 개체가 출현하였다 (Fig. 6). 외형적 성의 판정은 보통 성숙한 시기에 연체부의 색깔로 가능한데 일본재첩의 난소는 회흑색, 정소는 유백색으로 나타나므로 이를 기준으로 외형적 성 판독결과를 조직학적 판독결과에 비교해 본 결과 86% 이상이 일치하였다. 월별로 본 외형상 암수판단과 조직학적인 정확성은 생식소지수와 유사한 변화를 보였으나 11월과 1월을 제외하고는 비교적 높은 일치율을 보여 다른 이매패보다 외형적 판정이 용이하므로 인공산란 유도시 암수판단의 큰 특징으로 이용할 수 있으리라 판단된다.

요 약

동해 중부 해안 하천에 서식하는 기수산 재첩의 자원관리와 인공종묘 생산을 위한 생식생물학적 조사를 위해 2000년 11월부터 2001년 10월까지 강원도 양양군 소재 남대천 하구에서 매월 30-40 개체씩 채집하여 성장, 생식소지수, 배우자 형성과정 및 생식주기, 성비 등을 조사하였다. 강원도 일본재첩은 자웅이체 난생종으로 암컷의 생식소는 회흑색, 수컷의 생식소는 유백색을 띠어 육안적으로 86% 이상의 구별가능성을 보였다. 성숙한 난모세포는 약 80 μm 직경을 보였다. 생식주기는 초기활성기 (4-6월), 후기활성기 (5-6월), 완숙기 (6-9월), 부분산란기 (6-9월), 퇴화 (9-1월) 및 비활성기 (2-4월)의 연속적인 5 단계로 구분할 수 있었다. 비교적 긴 산란기를 보였으며, 방란·방정 후 생식소 자체가 완전히 퇴화되지 않고 새로운 조직에서 신생되면서 남부지방산보다 늦은 이듬해 4월까지 긴 비활성기를 거치고 4월 중순부터 다시 분화가 활발히 개시되었다. 생식소지수는 생식주기의 변동과 일치하였으며 연중 395 개체 중 자웅동체 현상은 1 개체에서 관찰되었다. 95% 신뢰한계 내에서 암컷 대 수컷의 성비는 1:1로 유의한 차이를 보이지 않았다 ($\chi^2 = 1.22$, $p > 0.05$).