
博士學位論文

코끼리조개, *Panope japonica*의
繁殖生物學的 研究

濟州大學校 大學院

水產生物學科



1995年 12月

코끼리조개, *Panope japonica*의

繁殖生物學的 研究


指導教授 盧 暹






李 彩 成

이 論文을 理學 博士學位 論文으로 提出함.

1995年 12月

李彩成의 理學 博士學位 論文을 認准함.

 제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

審査委員長	洪 性 潤	
委 員	이 정 재	
委 員	鄭 桐 喆	
委 員	李 榮 敦	
委 員	盧 暹	

濟州大學校 大學院

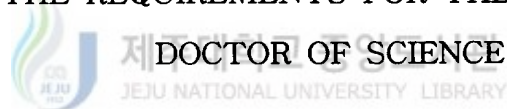
1995年 12月

Studies on the Reproductive Biology of
Geoduck Clam, *Panope japonica*

Chae-Sung Lee

(Supervised by Professor Sum Rho)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF



DEPARTMENT OF MARINE BIOLOGY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1995. 12.

目 次

Summary	i
I. 緒 論	1
II. 材料 및 方法	2
1. 棲息環境	2
2. 어미의 採集 및 測定	2
3. 攝食活動	4
4. 成體의 環境條件에 對한 耐性	4
1) 水溫 및 鹽分에 對한 耐性	4
2) 酸素消費量	4
5. 生殖週期	5
6. 産卵誘發	6
7. 卵의 孵化率과 發生	6
8. 먹이生物 培養	7
9. 幼生飼育	7
1) 水溫	9
2) 먹이생물	9
3) 收容密度	9
4) 通氣方法	9
5) 統計處理	12
10. 浮游幼生の 附着과 成長	12

Ⅲ. 結 果	14
1. 棲息環境	14
1) 水溫	14
2) 鹽分濃度	14
3) 容存酸素	14
4) 透明度	14
5) 營養鹽類	17
6) 底質性狀	17
2. 어미의 生態	17
1) 棲息 分布	17
2) 크기 組成	17
3) 相對成長	23
4) 體成分 組成	23
3. 攝食活動	23
1) 消化管 內容物	23
2) 攝食活動의 變化	29
4. 成體의 環境條件에 對한 耐性	29
1) 水溫 및 鹽分에 對한 耐性	29
2) 酸素消費量	32
5. 生殖週期	32
1) 生殖巢 重量指數	32
2) 卵徑의 月變化	36
3) 生殖細胞 形成過程	36
(1) 卵子 形成	36
(2) 精子 形成	41
4) 生殖週期	41
5) 抱卵數	43

6. 産卵誘發	45
7. 卵의 孵化率 및 發生	49
1) 水溫과 孵化率	49
2) 鹽分과 孵化率	49
3) 卵割과 幼生의 變態	49
8. 幼生飼育	59
1) 水溫	59
2) 먹이생물	63
3) 收容密度	68
4) 通氣方法	76
9. 浮游幼生の 附着과 成長	81
 IV. 考察	 88
 V. 要約	 100
 VI. 參考文獻	 102
謝辭	109



Summary

General ecology, gonad development, stomach content, artificial spawning, fertilization, larval rearing, spat collection and growth of geoduck clam, *Panope japonica* were studied based on field sampling and laboratory rearing from March, 1992 to August, 1995 in Korea.

Gonadosomatic index (GSI) was increased markedly from October. The index in April was highest and that in August was lowest. Reproductive cycle could be classified into five successive stages: multiplication (August to October), growing (December to March), mature (February to April), spent (April to May) and recovery (June to August) stage.

Twenty genera and 33 species of plankton were found in the digestive tract, and most of them are phytoplankton. In spring, 21 species of planktonic foods were identified, but in summer, only 11 species were identified. *Nitzschia longissima* and *Rizosolenia alata* were present in every month. Weight of the digestive tract was fluctuated seasonally: higher in winter and spring, and lower in summer.

Adult geoduck clams could be tolerated within the range of 5~20 °C in water temperature, and they could tolerated considerably well in lower temperature than in higher temperature within the range.

Spawning induction by the stimulus of open air drying or UV-irradiation into seawater was not affective. Spawning induction depended on maturity of the clam. Temperature stimulus for spawning induction was not responded in April, but responded 15.0~25.0% in May and 5% in June. The spawning induction was more successful as 15.0~45.0% to make fertilization efficiency by the stimulus of incision of gonads. And ammonium hydroxide (NH₄OH) stimulus by supplement (8/1000N~10/1000N) into seawater made 15% spawning efficiency. When ammonium hydroxide solution was injected into the gonads, only 5.0 to 10.0% of

the adults were spawned.

Fertilization and hatching rates depended on temperature and salinity of rearing conditions. Optimum conditions were found.

The eggs were demersal, and the oval shaped newly-hatched eggs changed into the spherical ones of 70 μm in diameter after fertilization. In 11 $^{\circ}\text{C}$, incubation time after fertilization was required for 4 hours to 4-cell stage, 2 days to trochophore stage, 3 days to D-shaped larval stage, 23 days to umbo stage, and 36 days to the fully-grown larval stage. Time required to D-shaped larval stage from fertilization was proportional to temperature, and the relationships are expressed as follows:

$$\text{To 8-cell stage,} \quad 1/t = 0.0209 w - 0.1167 \quad (r=0.9967)$$

$$\text{To blastula stage,} \quad 1/t = 0.0055 w - 0.0192 \quad (r=0.9825)$$

$$\text{To trochophore stage,} \quad 1/t = 0.0034 w - 0.0155 \quad (r=0.9907)$$

$$\text{To D-shaped larval stage,} \quad 1/t = 0.0014 w - 0.0023 \quad (r=0.9843)$$

(t: time in hours; w: water temperature)

Biological zero temperature of geoduck clam was calculated as 3.82 $^{\circ}\text{C}$. Experiments for optimum hatching of geoduck clam were performed under 8 $^{\circ}\text{C}$, 11 $^{\circ}\text{C}$, 14 $^{\circ}\text{C}$ and 17 $^{\circ}\text{C}$ for 21 days after hatching. The best result was obtained in 14 $^{\circ}\text{C}$, and the mean shell length and survival rates were 173.5 μm and 16.2%, respectively. Shell length and survival rates in 8 $^{\circ}\text{C}$ were 140.2 μm and 6.9%, respectively, showing lowest growth and survival in the experiments. The larvae in 17 $^{\circ}\text{C}$ grew well until 15 days upto 164.5 μm in shell length, while all larvae were dead after 15 days to high temperature.

Larvae were reared for 21 days after hatching in order to find the suitable foods, rearing density, and aerating methods. The best growth and survival were shown in the larval fed on mixed foods of *Isochrysis galbana* and *Chaetoceros calcitrans*. While the lowest growth and survival were in those fed on *Chaetoceros calcitrans*. The good result of growth and survival were obtained in the experiment

of the larval density lower than 5 inds./ml, and no difference was shown within that density. Optimum density for larval rearing were estimated as 5 inds./ml. Aeration methods in larval rearing tanks influenced growth and survival. The best result was obtained by the down-jet aeration method.

The settling rates on the sand bottom was 36.5% and that on the polyvinyl collectors and synthetic fiber glass net was ranged from 3.20 to 6.56%. Growth and survival of the spats for 43 days after settlement was different in accordance with the settlement methods. Daily growth and survival rate of the spats settled on the sand bottom were 33 μm and 11.2% respectively, and those of spats settled on the synthetic fiber glass were 22 μm and 3.6%, respectively. The spats of 1,500 μm in shell length and 39 days-post settlement started infiltration into the sand, and the spats larger than 1,900 μm in shell length finished infiltration.



I. 緒 論

코끼리조개(*Panope japonica*)는 연체동물문(Mollusca) 부족강(Pelecypoda) 이치목(Heteroconchia) 족사부착쇄조개과(Hiatellidae)에 속하며 최대 殼長 약 12~15 cm, 최대 체중 600~700 g내외에 달하는 대형 貝類이다. 이 조개는 북쪽으로 Kamchatka와 Saghalien 및 일본의 홋카이도, 남쪽으로는 일본 本州의 瀬戶內海까지 분포하며 (Habe, 1955; 濱本와 大林, 1985), 한국연안에서는 경북 울진에서 강원북부의 고성연안까지 분포한다. 水深 10~50 m의 미사질에 깊이 10~30 cm까지 潛入을 하며 굵고 긴 수관이 패각 밖으로 노출하여 끝부분을 2~5 cm정도 모래표면에 노출시켜 생활한다. 여름철 水溫이 상승하거나 생활환경이 불리해지면 저질속에 水管을 넣어 潛入을 한다.

코끼리조개는 食用可容部가 55%에 달하고 육질부는 高價로 수출되는 등 경제성이 높고 산업적인 가치가 큰 패류로서 江原道 沿岸의 자원량은 32,628 MT 정도 추정되고 있으며, 이중 실제 潛水夫가 水中에서 채취작업이 가능한 水深 30 m 以淺에 서식하는 자원량은 21,199 MT으로 추정되고 있다(江原道, 1990). 그러나 이 조개는 서식 水深이 깊고, 潛入 定着하는 生態的 特性으로 이제까지 발견이 어려웠으나, 1986년경부터 잠수부들에 의하여 噴射式 고압 펌프를 사용한 어법이 개발된 후 濫獲의 徵候가 나타나고 있어 합리적인 자원의 관리와 양식기술 개발을 위하여 이 종의 생태학적 특성의 구명과 함께 人工種苗生産 技術開發이 시급한 실정이다.

코끼리조개에 관한 연구는 매우적어 일본에서 濱本와 大林(1985)의 분포와 어업실태에 관한 단편적인 보고가 있고, 우리나라에서는 金 等(1991)의 서식환경과 成長에 관한 보고와 食品學的 성분조성과 냉동저장중의 성분변화(Jeong, 1990; Choi, 1991)에 관한 보고가 있을 뿐, 種苗生産에 관한 보고는 보지 못하였다.

本 연구에서는 코끼리조개의 種苗生産 技術開發을 目的으로 서식장 환경과 어미의 환경조건에 대한 耐性, 생식주기 및 성숙된 모패를 이용하여 인위적인 産卵誘發, 卵發生, 幼生飼育 그리고 稚貝飼育등 人工種苗 生産을 위한 번식생물학적 연구를 실시하였다.

II. 材料 및 方法

1992年 3月 부터 1995年 8월까지 강원도 양양군 현남면 인구연안(Fig. 1)에서 코끼리조개의 棲息環境과 棲息生態, 人工種苗生産을 위하여 環境調査를 실시하고 현장에서 수집된 코끼리조개를 인공종묘생산을 위한 試驗材料로 사용하였다.

1. 棲息環境

코끼리조개 棲息場의 環境調査는 1992年 3월부터 1993年 2월까지 每月 1회씩 水層別(0, 15, 30 m)로 채수한 후 각 항목별로 분석하였다. 水溫은 表層의 경우 溶上溫度계로, 15 m층부터는 電導溫度계로 0.1 ℃까지 측정하고, 鹽分은 Inductively Coupled Salinometer (Watanabe 601 MK)로 측정하였다. 營養鹽類는 인산염(PO_4 -P)과 용존성 무기질소(DIN)를 Strickland와 Parsons (1972)법에 의하여 분광광도계(Bausch와 Lomb Spectronic 20D)로 측정하였다.

底質의 粒度分析은 코끼리조개가 棲息하는 表層에서 10 cm 간격으로 30 cm 層까지의 토양을 채취하여 H_2O_2 와 10% HCl수용액을 가하여 有機物과 탄산염을 제거시켜 증류수로 세척한 후 시료를 다시 0.062 mm 체로 습식체별(wet sieving)하여 입경 62.5 μ m 보다 조립질인 것과 세립질인 것으로 분리하였으며, 조립질은 건식체별(Ingram, 1971)로, 세립질은 沈澱速度를 이용한 pipetting (Galehouse, 1971)에 의하여 측정하였다.

2. 어미의 採集 및 測定

어미조개 서식장의 분포상태와 크기조성을 알기 위하여 1992年 3월부터 1993年 12월까지 2個年間 잠수기선에서 채집된 코끼리 조개를 대상으로 각 個體當 殼長, 殼高 및 殼幅은 vernier caliper로 0.01 cm까지, 그리고 全重量, 軟體部重量, 生殖巢 重量 및 殼重量은 전자저울을 이용하여 0.01 g까지 측정하였다.

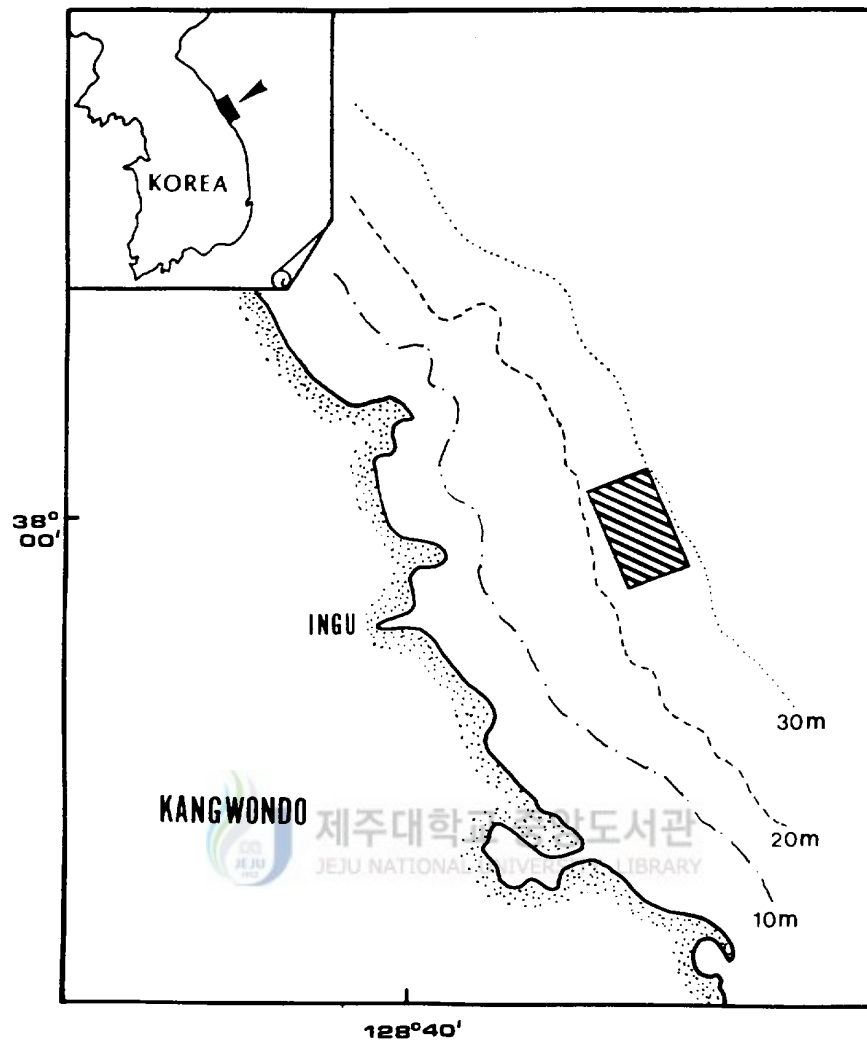


Fig. 1. The map showing of the sampling station of *Panope japonica* in Ingu, Korea.

3. 攝食活動

서식현장에서 코끼리조개의 섭식생태를 조사하기 위하여 1993年 1월부터 12월까지 매월 1회씩 채취된 각장 10 cm 내외의 성패 10마리씩을 10% 포르마린에 固定하여 사용하였다.

시료는 胃에서 부터 後패각근 상외측 부분의 항문까지의 소화관을 적출하여 중량을 digital 저울로 측정한 후 핀셋으로 內容物을 분리하여 현미경으로 검경하였다. 種의 同定은 山路(1982), Round 등(1992)을 참고하였다.

4. 成體의 環境條件에 對한 耐性

1) 水溫 및 鹽分濃度에 對한 耐性

水溫에 對한 耐性을 조사하기 위하여 9개의 사각 플라스틱水槽(30 x 40 x 30 cm)의 저면에 각각 5 cm 높이로 모래를 채운후 해수를 넣고 공기를 포기시키면서 殼長 10 cm 내외의 코끼리조개를 각 水槽에 10마리씩 收容하여 상온(14~16 ℃)에서 7일 동안 적응 사육을 실시한 후 각 시험에 사용하였다. 수온은 溫度調節裝置를 이용 水槽內의 水溫을 각각 0, 2, 5, 10, 15, 20, 23, 26 ℃ 및 28 ℃로 유지시키면서 6시간 간격으로 240時間까지의 生存率을 조사하였다.

鹽分耐性은 水溫耐性 調査에서와 같이 동일한 水槽에 10마리씩 收容한 후 자연해수에 증류수와 天日鹽을 가하여 鹽分濃度를 각각 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 ‰ 및 45 ‰로 조정한뒤 6時間 간격으로 240時間까지 生存率을 조사하였다. 모든 시험은 3회 반복하여 平均치로 산출하였다.

2) 酸素消費量

수온에 따른 코끼리조개의 산소소비량을 조사하기 위하여 15 ℓ圓筒形 유리水槽에 濾過海水 10 ℓ를 채우고, 온도조절장치로 水溫을 5, 10, 15, 20 ℃ 및 25 ℃로 조절하여 7일동안 상온에서 적응 사육시킨 殼長 10 cm 크기의 코끼리조개를 각 시험구별로

5마리씩 수용하였다. 수면에는 공기중으로 부터 酸素가 들어가지 못하도록 액체 파라핀을 1 cm두께로 덮어 밀봉시킨후 3時間 뒤에 산소소비량을 측정하여 다음식에 의해 단위중량에 따른 단위시간당 산소소비량으로 환산하였다.

$$K_c = \frac{(C_o - C_t) \times V}{t \times w}$$

여기서

K_c : 酸素消費量(ml/kg/hr.)

C_o, C_t : 試驗始作 및 t時間 후의 酸素濃度(ml/l)

V : 容器内の 海水量(l)

t : 所要時間(hour)

w : 코끼리조개 무게(kg)

5. 生殖週期

生殖巢 重量指數는 다음 식에 의하여 구하였다.

$$\text{生殖巢 重量指數} = \frac{\text{生殖巢 重量}}{\text{軟體部 重量}} \times 100$$

卵徑은 1993년에 채집된 시료중 매월 10個體씩 卵巢内の 卵을 적출하여 현미경하에서 마이크로메타로 어미 1개체당 100개 이상의 난을 계측하였다.

生殖巢 발달과정을 관찰하기 위하여 生殖巢를 적출하여 bouin고정액에 24시간 고정하였다. 고정된 生殖巢는 paraffine 절편법에 의해 5~6 μm로 연속절편을 만들었으며, 염색은 hansen's haematoxyline과 0.5% eosin으로 2중 염색하였다.

抱卵數는 體積法에 의하여 난을 500 ml 해수에 회석하여 magnetic stirrer로 교반하여 난을 균일하게 한후 1 ml씩 취하여 5회 計測한 平均值로서 전체 포란수를 환산하였다.

6. 産卵誘發

産卵誘發을 위하여 사용한 모패는 1993년부터 1995년까지의 4~6월에 채포된 것중에서 생식소내의 알이 충분히 성숙한 활력이 좋은 것만을 사용하였다. 産卵誘發은 溫度刺戟, 干出刺戟, 紫外線 照射海水刺戟, NH_4OH 용액을 해수에 첨가하는 자극, NH_4OH 용액을 生殖巢에 주사하는 자극 및 生殖巢를 切開하여 人工 수정하는 등 6가지 방법을 사용하였다.

溫度刺戟은 상온에서 시간당 2~3 °C 上昇 또는 下降하거나 反復시켜 刺戟溫度 變化와 刺戟時間의 차이에 의한 효과를 조사하였다. 干出刺戟은 自然水溫에서 飼育하던 어미를 溫度가 9~11 °C 높은 공기중에 40分~60分間 露出시킨 후 해수에 옮겨 방란·방정을 시도하였다.

紫外線 照射海水刺戟은 菊地와 浮(1974)의 방법에 따랐으며, NH_4OH 을 해수에 첨가하는 刺戟은 NH_4OH 용액의 해수농도를 각각 1/1000N, 3/1000N, 5/1000N, 8/1000N, 10/1000N 및 15/1000N로 조정하여 첨가 농도별 산란유발 효과를 비교하였다. NH_4OH 용액을 生殖巢에 주사하는 刺戟은 각각 1/100N, 3/100N, 5/100N, 7/100N 및 10/100N로 조정된 용액 2 ml를 생식소에 주사한뒤 각 처리 농도에 따른 산란유발율을 조사하였다. 주사는 生殖巢 위치를 확인한 후 외투막 외부에서 生殖巢內를 향하여 주사하였다. 切開法은 生殖巢를 메스로 절개하여 현미경 관찰에 의해서 암수를 구별한 후 손으로 눌러 인위적으로 채란, 채정하여 습도법으로 人工 수정시켰다. 산란유발 자극방법에 따라 방란 방정된 알과 정자는 즉시 人工 수정 시킨 후 30 μm 망목에서 깨끗한 여과해수로 3~4회 세란한 뒤 孵化槽(10 l원형 플라스틱수조)에 收容하였다.

7. 卵의 孵化率과 發生

水溫에 따른 난의 發生速度와 孵化率을 알기 위하여 30 x 40 x 30 cm의 사각 플라스틱 수조 5個에 온도조절기를 사용하여 水槽內의 水溫을 5, 8, 11, 14 °C 및 17 °C로 유지시킨 후 2 l유리수조에 卵을 각각 10,000個씩 收容하여 부화율을 3회반복 조

사하였다. 鹽分濃도에 따른 孵化率을 알기 위하여 鹽分濃度を 각각 15, 20, 25, 30, 35, 40 % 및 45 %로 조절한 2 l유리수조에 수정란을 각각 10,000個씩 收容하여 3회반복하여 卵割 및 孵化率을 조사하였다.

卵割과 孵化幼生의 관찰은 每日 1回씩 사전에 준비한 濾過海水로 교환해 주면서 현미경하에서 경과시간에 따른 發生段階를 조사하였다.

8. 먹이생물 培養

본 연구에 사용한 먹이생물은 다른 조개류 種苗生産時 우수한 먹이로 많이 이용되고 있는 황색 편모조류인 *Pavlova lutheri*와 *Isochrysis galbana* 그리고 규조류인 *Chaetoceros calcitrans*의 3種을 먹이로 이용하였다.

먹이생물 培養을 위해 사용되는 培養水는 0.5~1 μm 필터로 정밀여과하여 紫外線流水 殺菌器를 통과시켜 배양해수로 사용하였으며, 먹이생물의 種 保存 및 소형용기 (250 ml, 2 l)에서 배양할 때는 고압멸균기(autoclave)에 넣고 121 $^{\circ}\text{C}$, 1.5기압에서 15分間 高壓滅菌을 하였다. 대량배양을 위해서는 대형용기(20 l유리병)를 차아염소산나트륨(NaClO)과 중화제인 티오황산나트륨($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)으로 멸균한 후 2~3일 포기시켜 conway 배지(Table 1)를 이용하여 培養하였다.

培養은 江陵水産種苗培養場內 먹이생물 培養室에서 溫度는 18~20 $^{\circ}\text{C}$, 照度는 백색형광등을 사용하여 배양용기 표면이 3,000 lux가 되도록 하였다. 먹이로서 공급되는 시기는 *Ch. calcitrans*는 接種後 5~6日, *P. lutheri*와 *I. galbana*는 7~8日 정도 배양한뒤에 사용하였으며, 이 때 최대에 달한 먹이생물의 濃度는 1 ml당 500~1,000 $\times 10^4$ 細胞였다.

9. 幼生飼育

코끼리조개 孵化幼生의 好適飼育 環境요건을 구명하기 위하여 1993年 3月부터 6月 사이에 주요 사육 環境요인으로 생각되는 水溫, 먹이, 收容密度 및 通氣방법을 달리

Table 1. Composition of Conway medium for rearing phytoplankton laboratory

Solution A	FeCl ₃ · 6H ₂ O	2.60 g
	MnCl ₂ · 4H ₂ O	0.72 g
	H ₃ BO ₃	67.20 g
	EDTA(Na Salt)	90.00 g
	NaH ₂ PO ₄ · 2H ₂ O	40.00 g
	NaNO ₃	200.00 g
	Solution B	2.00 ml
	Distilled water	2.00 l
Solution B	ZnCl ₂	2.10 g
	COCl ₂ · 6H ₂ O	2.00 g
	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	0.90 g
	CuSO ₄ · 5H ₂ O	2.00 g
	Distilled water	100.00 ml
Solution C (vitamin)	B ₁₂	10.00 mg
	B ₁ (Thiamine)	200.00 mg
	Distilled water	200.00 ml

* (solution A 1 ml + solution C 0.1 ml)/ seawater 1 l.

하여 飼育을 실시하였다.

1) 水溫

코끼리조개 幼生의 適正飼育 水溫을 알기 위하여 25 l用 恒溫水槽에 水溫을 8, 11, 14 °C 및 17 °C의 4個 試驗區를 설정하여 紫外線 照射海水를 채우고 trochophore幼生을 2個體/ml의 密度로 收容하였다.

飼育方法은 止水式으로 하였고 每日 飼育數의 1/2정도를 換水하였고, 먹이는 부유 貝類인 *Ch. calcitrans*를 D상 유생단계부터 공급하였으며 飼育初期에는 10,000 cells/ml로, 成長함에 따라 최고 50,000 cells/ml까지 섭이량을 보아가면서 먹이량을 증가시켜 공급하였다.

2) 먹이생물

먹이생물의 種類에 따른 코끼리조개 幼生의 成長과 생존율을 알기 위하여 水溫 11 °C로 조절한 5 l 水槽에 孵化幼生을 10,000개체씩 收容하였으며, 먹이생물로서 *Ch. calcitrans*, *P. lutheri* 및 *I. galbana*의 3個 單獨區와 이를 混合한 3個의 混合區(*Ch. calcitrans* + *P. lutheri*, *I. galbana* + *Ch. calcitrans*, *I. galbana* + *P. lutheri*)등 6個 試驗區를 複數로 설정하였다.

幼生飼育 期間동안의 먹이량은 초기에는 10,000 cells/ml로 공급하였고, 幼生이 成長함에 따라 50,000 cells/ml까지 증가시켰으며, 混合區는 1:1의 비율로 하여 每日 換水 直後 供給해 주었다.

3) 收容密度

收容密度가 코끼리조개 幼生의 成長에 미치는 영향을 조사하기 위하여 水溫 11 °C에서 2 l 비커에 孵化幼生을 1 ml당 1, 3, 5, 8個體 및 10個體의 密度로 收容하였다. 먹이로는 *P. lutheri*와 *I. galbana*를 1:1로 混合하여 먹이공급량과 사육수의 換水方法은 前項과 같은 방법으로 하였다.

4) 通氣方法

코끼리조개 幼生은 D상에서 각정유생으로 되면서 底層으로 沈下하는 習性이 있어 水溫 11 ℃로 유지한 0.5톤 폴리카보네이트(polycarbonate) 水槽에서 공기주입 방법을 Fig. 2와 같이 上向噴射, 下向噴射 및 上向가두리식의 3가지 方法으로 나누어서 실시하였다. 上向噴射式은 에어스톤을 바닥에 닿게 하였고, 下向噴射式은 바닥에서 2 cm 정도 떨어진 곳에 에어호스를 圓形으로 감고 구멍을 아래로 뚫어 에어가 바닥쪽으로 나오게 하였다. 上向가두리식은 水槽에 60 μm의 물러가체로 만든 50 x 50 x 50 cm의 사각형 가두리를 설치하고 가두리 내부와 외부에 에어를 상향식으로 설치하였다. 모든 시험구의 먹이는 *I. galbana*를 공급하였으며, 먹이공급량 과 換水方法은 前項과 동일하게하였다.

各 試驗期間中 幼生의 成長과 生存率은 2일간격으로 각 시험구에서 10 ml 피펫으로 幼生을 추출하여 生存個體數를 측정하였으며, 30~50마리의 幼生에 대한 殼長을 만능투영기(Nikon V-12A)로 측정하여 평균 각장을 산출하였다. 사육기간중의 평균 殼長을 이용하여 사육기간별 日間成長率(K)을 다음과 같은 식으로 산출하였다.

$$K = \frac{\ln Lt_2 - \ln Lt_1}{t} \times 100$$

K : 日間成長率(specific growth rate)

t : 飼育日數(t₂ - t₁)

Lt₂ : 受精後 t₂日째의 幼生의 크기

Lt₁ : 受精後 t₁日째의 幼生의 크기

各 幼生의 成長에 미치는 水溫의 영향을 알기 위하여 각 水溫區間別로 다음과 같은 Q₁₀式을 이용하여 산출하였다.

$$\ln Q_{10} = \frac{\ln(K_2 / K_1)}{|T_2 - T_1|} \times 10$$

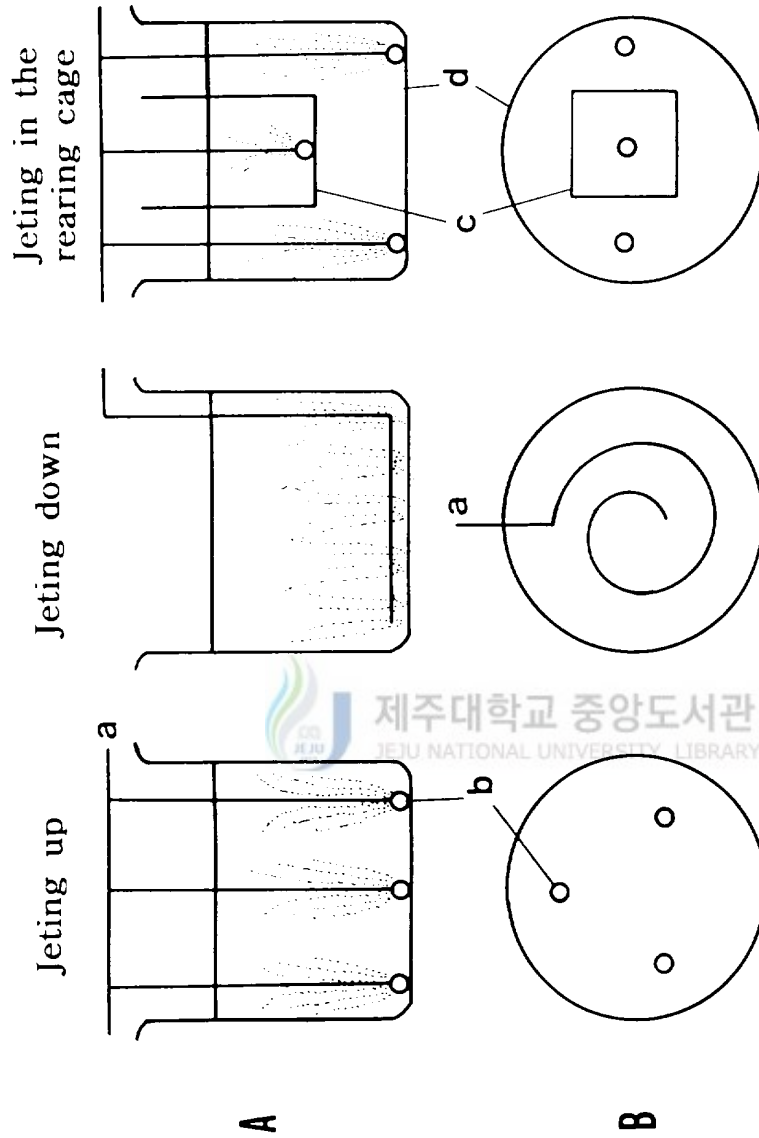


Fig. 2. The apparatus for rearing the larvae of *Parope japonica*. A: Front view; B: Plane view; a: Air line; b: Air stone; c: Net cage; d: Rearing aquarium.

T_1, T_2 : 飼育水溫
 K_1 : T_1 溫度の 成長速度
 K_2 : T_2 溫度の 成長速度

幼生の 日間生存率과 日間斃死率은 다음과 같은 式으로 산출하였다.

$$s = e^{-d}$$

$$a = 1 - e^{-d}$$

$$\text{단, } d = \frac{\ln Nt_1 - \ln Nt_2}{t_2 - t_1}$$

s : 日間生存率

a : 日間斃死率

d : 瞬間斃死率

Nt_1 : 受精後 t_1 日째의 幼生數

Nt_2 : 受精後 t_2 日째의 幼生數

5) 통계처리

실험결과는 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 有意性을 檢定하였다.

10. 浮游幼生の 附着과 成長

二枚貝類 veliger幼生은 성숙기가 되면 附着 또는 潛入을 하게 되지만, 코끼리조개 幼生에 대해서는 아직까지 밝혀진 바가 없으므로 부유자패의 부착성과 부착기질의 종류와 설치 방법에 따른 부착율을 비교하였다.

시험수조로는 폴리카보네이트 500 l 원형수조를 사용하였으며 부착기질로서는 염화비닐판(30 x 40 cm)과 양파주머니(30 x 50 cm)에 합성섬유그물(길이 350 m)을 넣

은 채묘기를 사용하였다. 부착기질의 설치방법에 따른 부유자패의 부착율을 비교하기 위하여 염화비닐판을 수평방향과 수직방향으로 설치하였다.

또한 바닥의 모래에 직접 착저 부착할 수 있는 가능성을 고려하여 동일한 크기의 별도의水槽에 모래를 20 cm정도 깔은 후 각각의 수조에 成熟期 幼生 50,000個를收容하였다. 換水는 每日 飼育水의 1/2정도를 여과해수로 교환하였다. 부유자패의 附着率調査는 採苗器 설치후 10日이 경과되었을 때 부착된 稚貝를 계수하여 산정하였다.

채묘기질에 附着한 仔貝는 채묘기로부터 仔貝가 탈락될 때까지(46日間) 사육하여 각 채묘자재별 성장과 생존율을 조사하였다. 飼育은 순환식으로 하면서 매일 2회씩 사육수의 1/2정도씩 換水하였으며, 먹이는 *I. galbana*와 *Ch. calcitrans* 2種을 혼합해서 매일 2회씩 $20\sim50 \times 10^4$ 細胞/ml를 공급하였다. 成長度 調査는 약 4~7日 간격으로 30마리의 각장을 초기에는 만능투영기로, 성장함에 따라 vernier caliper로 0.1 mm까지 측정하였다.



Ⅲ. 結 果

1. 棲息環境

코끼리조개 서식지의 物理, 化學的 環境條件을 파악하기 위하여 1992年 3月부터 1993年 2月까지 水溫, 鹽分, 溶存酸素, 透明度, 營養鹽類 및 底質의 粒度分析 등을 調査한 結果는 다음과 같다.

1) 水溫

본 조사지의 水溫分布는 Fig. 3과 같다. 表層에서 底層까지 全 水層의 水溫分布는 5.6~24.2 °C로서 3월에 最低值, 9월에 最高值였으며, 高水溫期에 表·底層間의 水溫差가 7 °C 内外로 비교적 컸다. 그러나 水深 30 m의 底層水溫은 1月에서 5月까지 10 °C 이하였으며, 그 중 3월은 5.6 °C로 가장 낮았고, 9月에서 10月사이를 제외하고는 年中 17 °C 以下の 低水溫을 유지하고 있어 코끼리조개의 서식조건에 適合한 장소라고 생각된다.

2) 鹽分濃度

鹽分の 年中分布는 Fig. 4와 같이 32.27~34.22 ‰ 범위로서 表層은 8월에 陸水의 영향으로 다소 低鹽分 상태를 보였으나, 주년 2 ‰ 내외의 적은 변화폭을 보이고 있으며, 코끼리조개가 서식하는 底層은 32.96~33.93 ‰로 안정된 分布를 보였다.

3) 溶存酸素

溶存酸素의 年中分布範圍는 Fig. 5에서와 같이 5.15~7.27 ml/l로서 表層은 7月부터 8月까지가 5 ml/l 내외로 가장 낮았으며, 2月부터 4月사이에는 7 ml/l 이상으로 계절에 따른 변화가 있었으나 水深 30 m層에서는 6 ml/l 내외로 안정되어 있었다.

4) 透明度

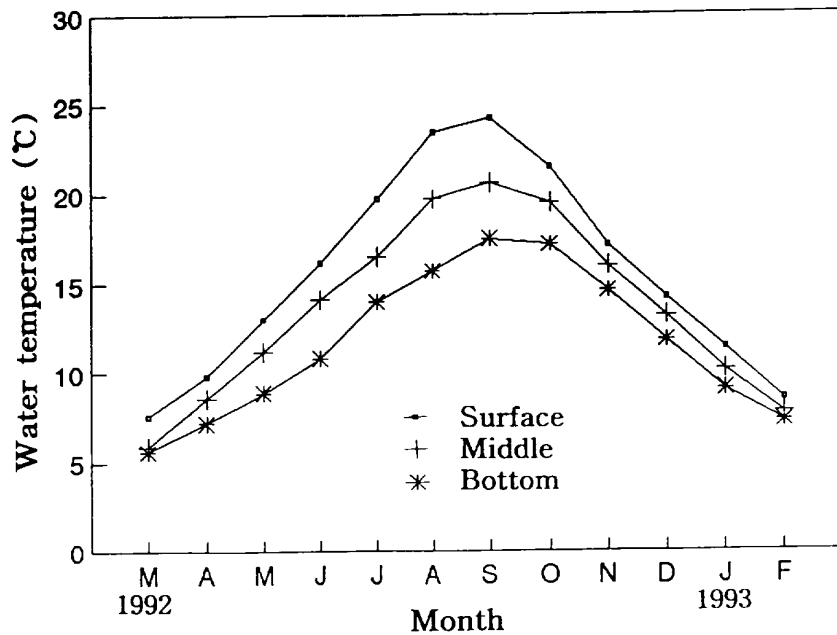


Fig. 3. Monthly vertical distribution of sea water temperature in Ingu area.

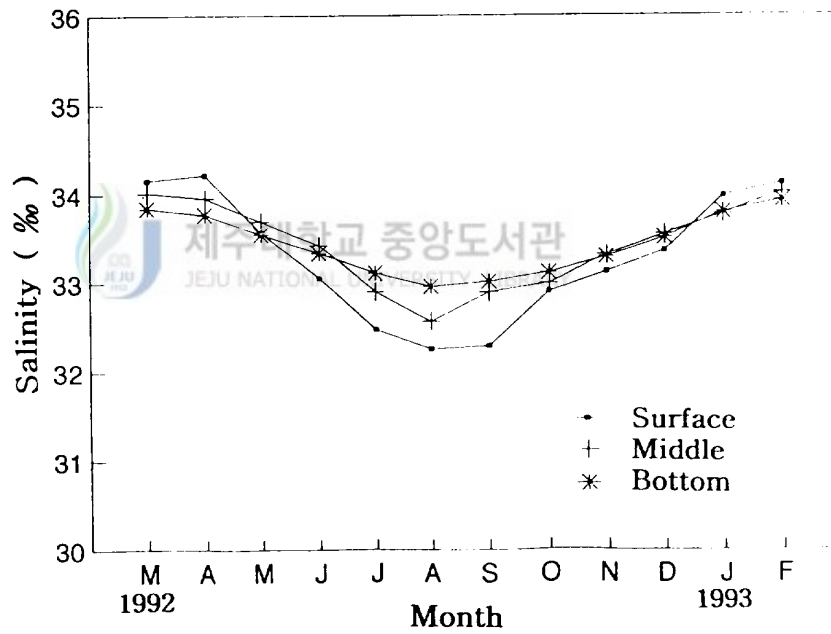


Fig. 4. Monthly vertical distribution of sea water salinity in Ingu area.

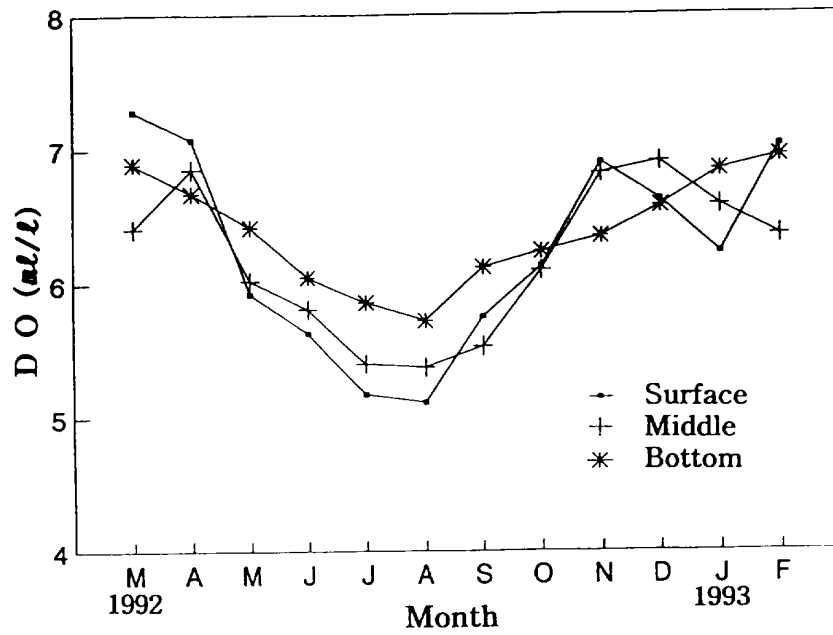


Fig. 5. Monthly vertical distribution of dissolved oxygen in Ingu area.

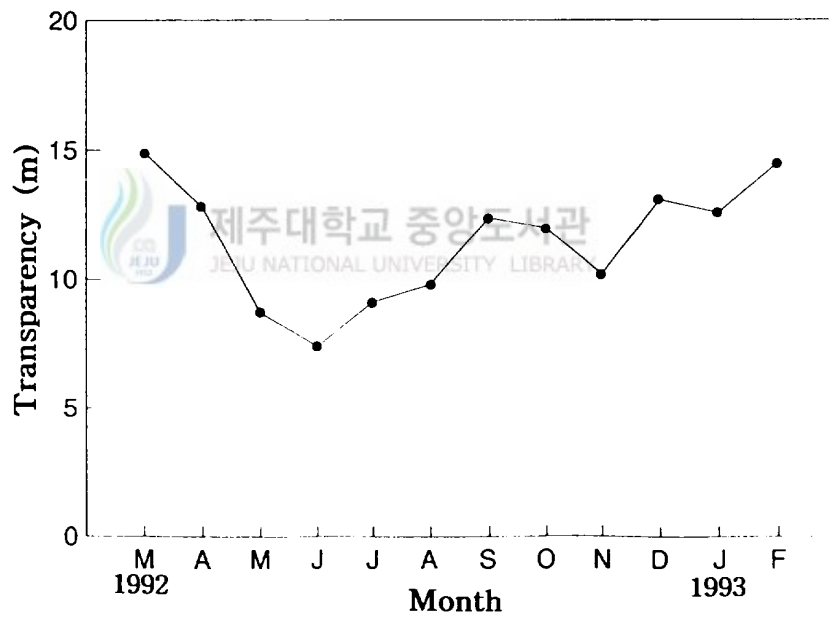


Fig. 6. Monthly variation of transparency in Ingu area.

투명도는 Fig. 6과 같이 투명도판(secchi disk)으로 7.4~14.9 m로서 5월부터 8월까지 10 m 이하로 비교적 낮았으며, 12월부터 3월까지 13 m 이상이었다.

5) 營養鹽類

營養鹽類는 Figs. 7~8과 같이 인산염은 0.18~0.50 $\mu\text{g-at}/\ell$ 범위로서 表層에서는 9월에서 12월까지 0.27~0.50 $\mu\text{g-at}/\ell$ 로 변화 폭이 컸으나 底層은 여름철을 제외하고는 안정된 값을 보였다. 용存性 무기질소는 1.84~4.65 $\mu\text{g-at}/\ell$ 범위로서 11월의 表層에서 최저농도를 보였고, 그외는 전반적으로 유사하였다.

6) 底質 性狀

코끼리조개가棲息하는 底質粒度的 組成은 Table 2에서와 같다. 서식지역에서의 粒度組成은 0.062~0.125 mm (3.0~4.0 ϕ)의 미세사질(very fine sand)이 49.20%로 가장 높았고 0.125~0.25 mm (2.0~3.0 ϕ)의 세사질(fine sand)이 31.87%로 미세사질과 세사질의 粒子가 대부분을 차지하였으며, 層別에 따른 粒度組成은 큰 차이를 보이지 않았고 silt의 비율은 底層으로 갈수록 증가하는 경향을 보였다.

2. 어미의 生態



1) 棲息 分布

棲息場의 크기별 棲息分布를 살펴 본 결과(Table 3, Fig. 9) 産卵期인 5월에는 殼長 5 cm 정도의 小形貝는 저질 깊이 15 cm 이내에 潛入하였고, 5~8 cm 체급군은 5~20 cm에, 10 cm 이상은 15~30 cm 깊이에서 서식하였다. 9월에는 殼長 5 cm 이하 체급군이 20 cm 깊이까지 潛入하였고, 5~8 cm 체급군은 25 cm 내외, 10 cm 이상되는 것은 20~30 cm 깊이로 가을에는 다소 깊게 潛入하였다.

2) 크기 組成

江原沿岸에서 채집 조사된 코끼리조개의 殼長 組成은 Fig. 10에서 보는 바와 같이

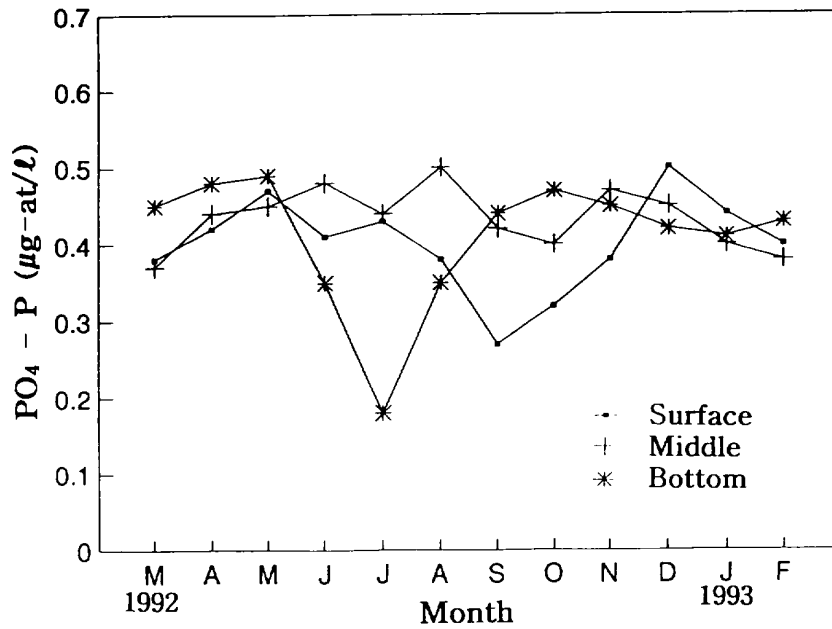


Fig. 7. Monthly vertical distribution of phosphate phosphorus in Ingu area.

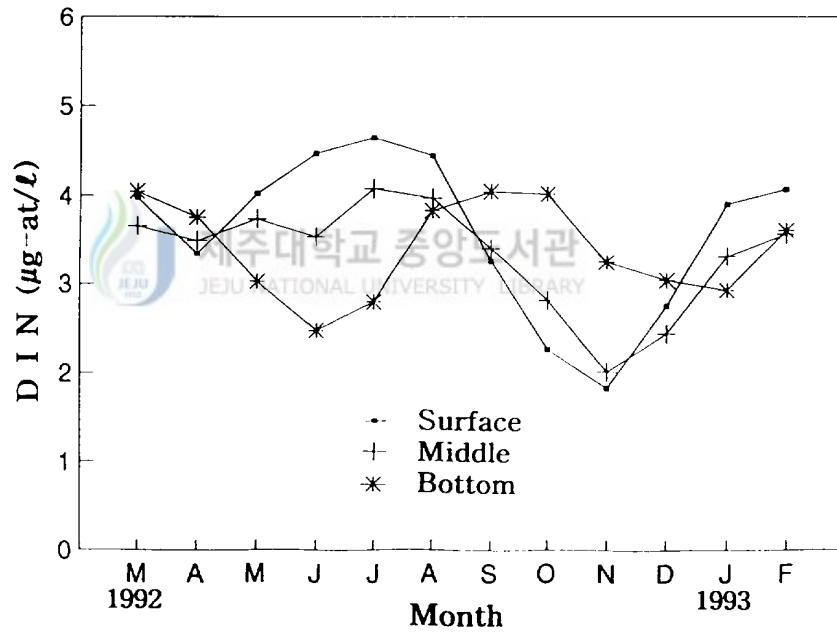


Fig. 8. Monthly vertical distribution of dissolved inorganic nitrogen (DIN) in Ingu area.

Table 2. The particle size of sediment of inhabited by *Panope japonica*

Soil depth (cm)	Sand (mm)					Silt (μm)	
	1~2	0.5 ~1.0	0.25 ~0.5	0.125 ~0.25	0.063 ~0.125	30 ~63	< 30
0~10	1.2	3.5	8.6	30.7	50.9	4.5	0.2
11~20	1.1	5.7	6.5	31.5	50.2	4.8	0.2
21~30	1.5	4.0	8.2	33.4	46.5	6.2	0.2

Table 3. Shell size composition of *Panope japonica* according to its inhabited sediment depth

Unit: Inds.(Percent)

Month	Soil depth (cm)	Shell length (cm)					Total
		<3	3~5	5~8	8~10	>10	
May	0~ 5	2 (3.4)	1 (1.7)				3 (5.1)
	6~10	5 (8.5)	4 (6.8)	3 (5.0)			12 (20.3)
	11~15		2 (3.4)	6 (10.2)	4 (6.7)		12 (20.3)
	16~20			2 (3.4)	7 (11.9)	4 (6.8)	13 (22.1)
	21~25				5 (8.4)	6 (10.2)	11 (18.6)
	26~30					8 (13.6)	8 (13.6)
	Total		7 (11.9)	7 (11.9)	11 (18.6)	16 (27.0)	18 (30.6)
Sep.	0~ 5	1 (2.4)					1 (2.4)
	6~10	3 (7.1)	2 (4.8)	2 (4.8)			7 (16.7)
	11~15	2 (4.8)	3 (7.1)	2 (4.8)			7 (16.7)
	16~20		2 (4.8)	7 (16.6)	1 (2.4)		10 (23.8)
	21~25			1 (2.4)	3 (7.1)	4 (9.5)	8 (19.0)
	26~30				3 (7.1)	6 (14.3)	9 (21.4)
	Total		6 (14.3)	7 (16.7)	12 (28.6)	7 (16.6)	10 (23.8)

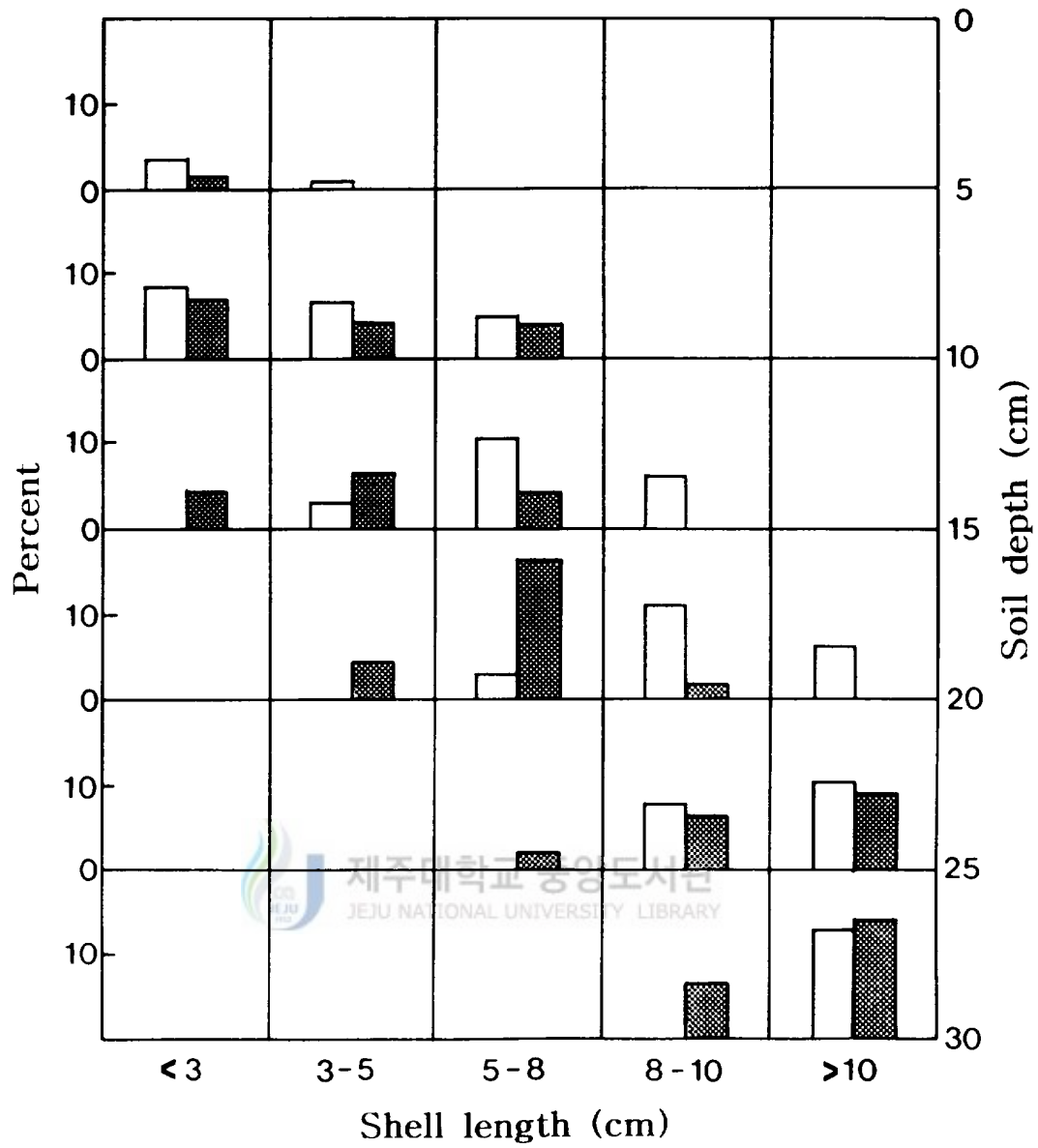


Fig. 9. Size frequency distribution of *Panope japonica* collected from the different depth of bottom sediment layer. □ : May ▨ : September.

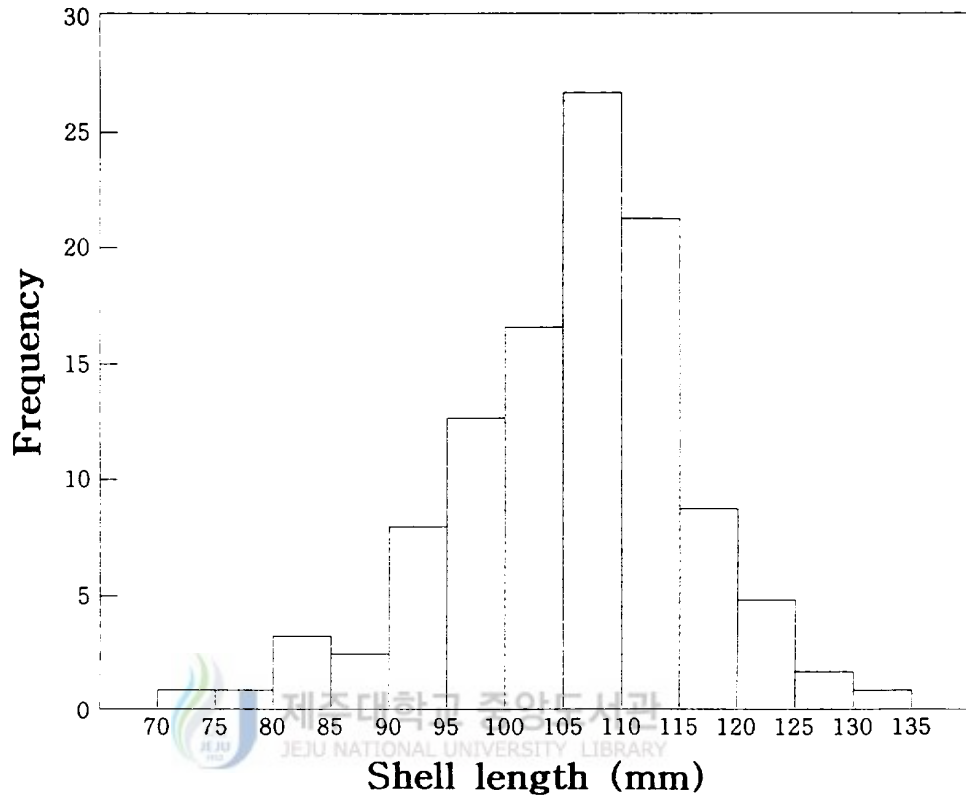


Fig. 10. Size frequency distribution of *Panope japonica*.

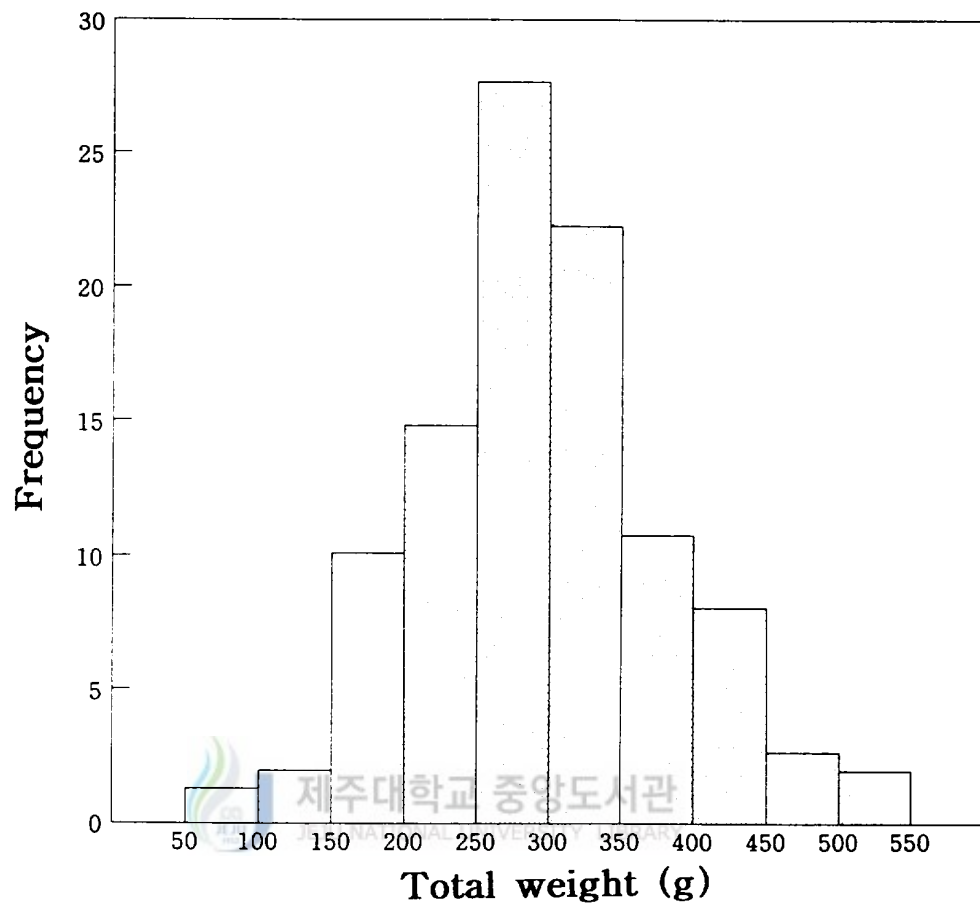


Fig. 11. Weight frequency distribution of *Panope japonica*.

殼長 範圍가 70~135(평균 107.70) mm였고, 주 出現個體群은 95~115(평균 107.65) mm의 體級群으로서 전체의 73.3%를 차지하였다. 體重組成은 Fig. 11에서 보는 바와 같이 體重範圍는 50~550(평균 299.63) g이었고, 主 모드는 200~350(평균 291.05) g의 體級群으로서 전체의 62.9%를 차지하고 있었다.

3) 相對成長

코끼리조개의 殼長과 殼高, 殼幅, 個體重量과의 관계를 Figs. 12~14에 나타내었다. 殼長(SL)에 대한 殼高(SH)의 관계를 回歸直線으로 표시한 관계식은 $SH = 0.4914 SL + 15.9332$ ($r = 0.8438$)이며, 殼長(SL)에 대한 全重量(TW)의 관계는 $TW = 1.4446 \times 10^{-3} SL^{2.6067}$ 의 指數曲線式으로 나타나 殼長 10 cm일때 重量은 245.9 g, 殼長 14 cm일때 重量 561.6 g으로 殼長 크기에 따라 全重量은 指數적으로 증가한다. 全重量(TW)과 軟體部重量(FW)의 관계는 Fig. 15에서와 같이 $FW = 0.5186 TW + 18.3513$ ($r = 0.9268$)의 회귀직선으로 나타났다.

4) 體成分의 組成

코끼리조개의 體成分의 組成을 Table 4 및 Fig. 16에 나타내었다. 全重量에서 貝殼이 차지하는 무게는 16.6~20.9%이며, 軟體部中 水管部를 포함한 筋肉部는 46.8~50.1%, 生殖巢는 6.4~13.3%, 내장이 차지하는 비율은 7.5~10.3%, 그리고 기타 생체 드립은 13.6~17.8%로 나타났다. 이중 食用으로 할 수 있는 근육부와 生殖巢는 全體重量의 56.8%를 차지하였다.

3. 攝食活動

1) 消化管 內容物

코끼리조개의 消化管에서 조사한 먹이생물의 種類는 총 20屬 33種으로서 식물플랑크톤이 16屬 29種으로 전체 出現種의 87.9%로서 대부분을 차지하고 있으며, 동물플랑크톤은 12.1%에 지나지 않았다(Table 5).

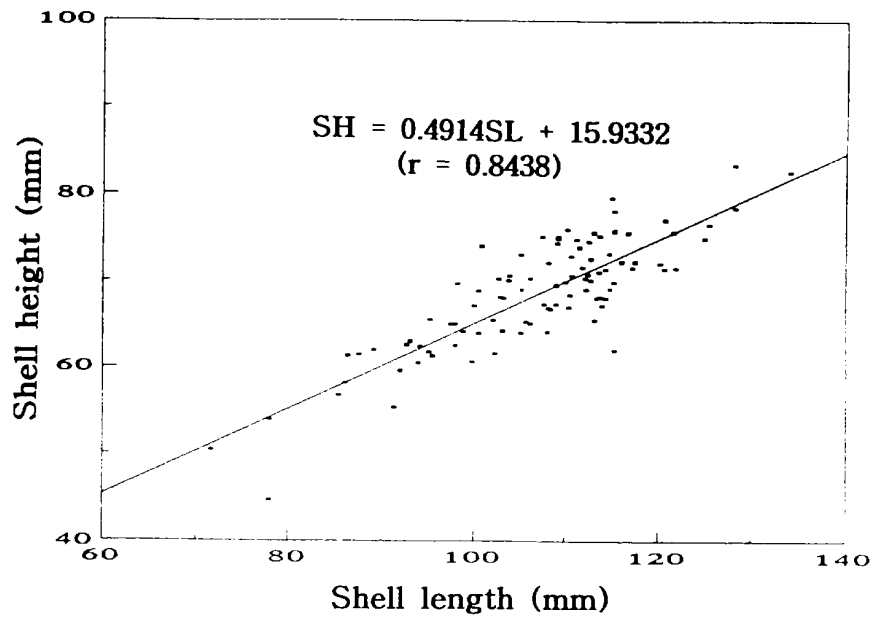


Fig. 12. Relationship between shell length and shell height of *Panope japonica*.

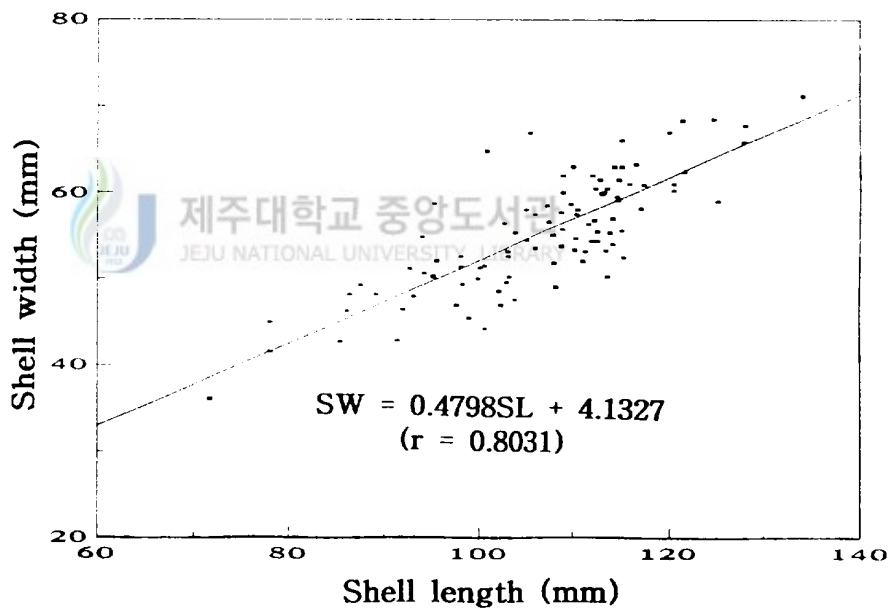


Fig. 13. Relationship between shell length and shell width of *Panope japonica*.

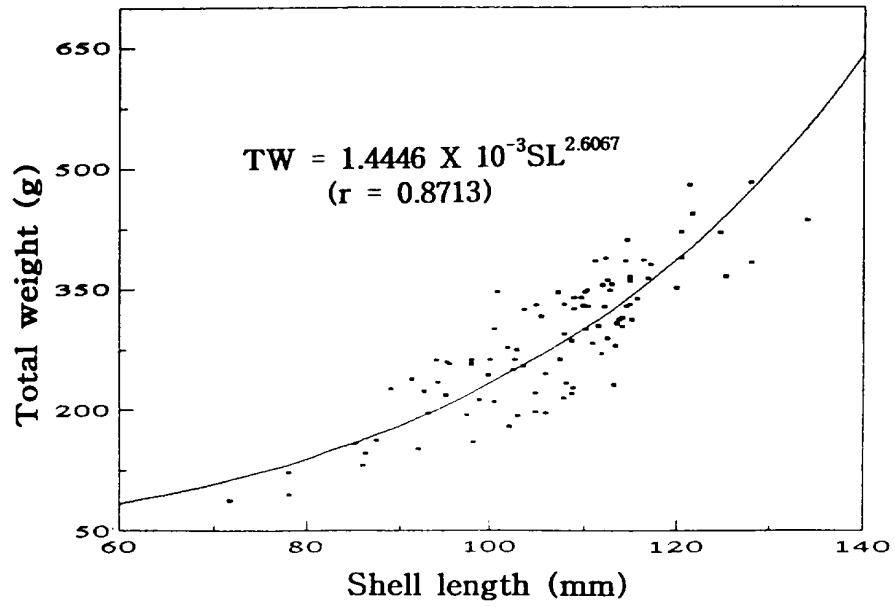


Fig. 14. Relationship between shell length and total weight of *Panope japonica*.

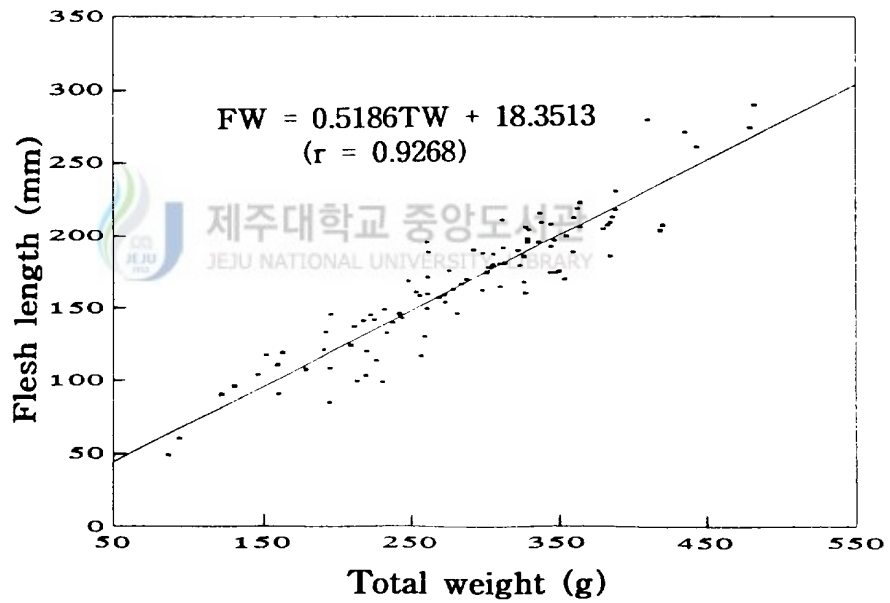


Fig. 15. Relationship between total weight and flesh weight of *Panope japonica*.

Table 4. Monthly variation in wet weight proportion (%) of each organs dissected from *Panope japonica*

Month	Shell length(cm)	Percent (%)				
		Shell	Gonad	Meat	Intestin	Other
Mar.	9.7	19.3	7.8	50.1	7.5	15.3
Apr.	10.2	16.6	13.3	48.7	7.8	13.6
May	11.3	18.3	10.7	48.0	8.1	14.9
June	10.5	19.8	7.5	47.2	8.6	16.9
July	10.8	20.5	6.4	46.8	8.5	17.8
Aug.	11.6	20.9	7.1	47.0	10.3	14.7
Mean	10.7	19.2	8.8	48.0	8.5	15.5

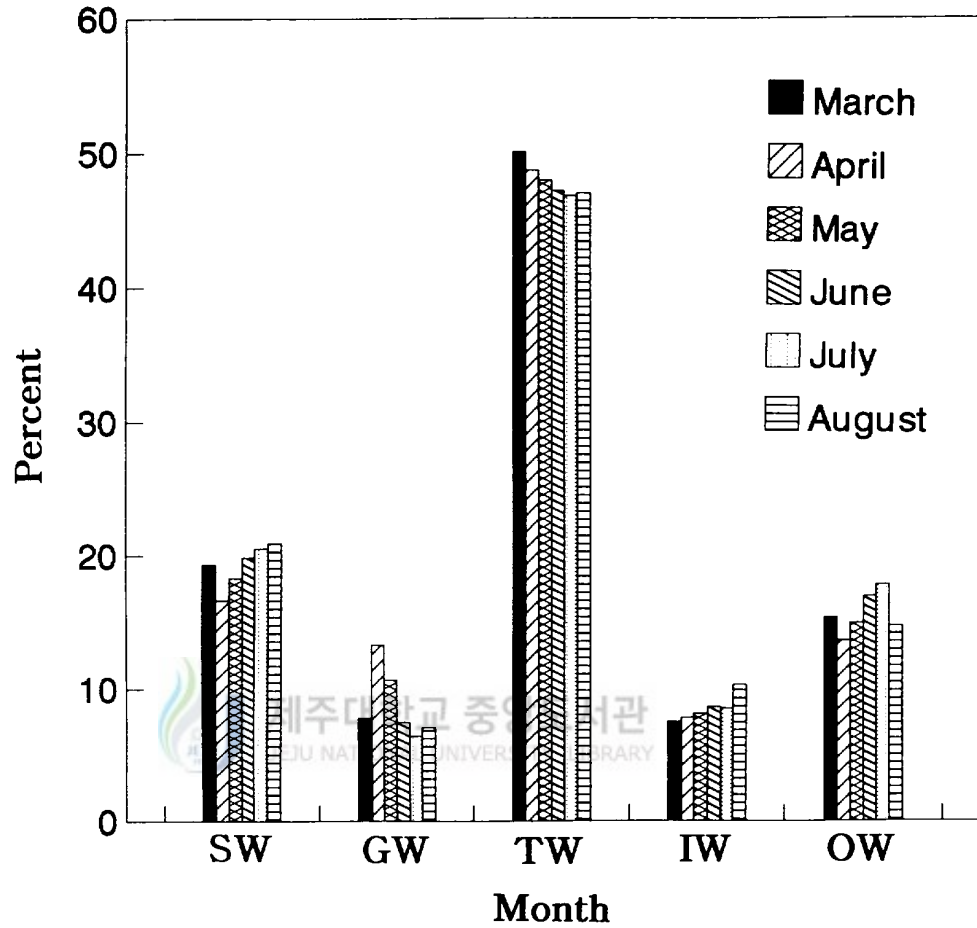


Fig. 16. Monthly change in wet weight proportion (%) of each organs dissected from *Panope japonica*. SW: Shell weight; GW: Gonad weight; MW: Meat weight; IW: Intestin; OW: Other weight.

Table 5. The list of plankton found in digestive tracts of *Panope japonica*

Species	April	July	October	December
<i>Amphora</i> sp.	+	+		
<i>Biddulphia tuomeyi</i>	+			
<i>Bi.</i> sp.			+	
<i>Chaetoceros affinis</i>		+		
<i>Ch. debilis</i>	+			+++
<i>Ch. didymus</i>	+	+	+	
<i>Ch. decipiens</i>				+
<i>Ch. simplex</i>	+		++	+
<i>Ch. teres</i>	+			
<i>Coscinodiscus asteromyhalus</i>	+	+		++
<i>Cos. perforatus</i>	+			+++
<i>Cos. megalomma</i>	+		++	
<i>Fragilaria cylindrus</i>	+			++
<i>Lauderia borealis</i>	+			+
<i>Leptocylindrus</i> sp.		++	+	+
<i>Licmophora abbreziata</i>		+	+	
<i>Mestogloia minuta</i>	++			
<i>Navicula elegans</i>	+			+
<i>Nitzschia longissima</i>	+	+++	+	+
<i>Nitz. vitrea</i>			+	+
<i>Rhizosolenia alata</i>	+	+	+	+
<i>Rhiz. setigera</i>	+			+
<i>Rhiz.</i> spp.			+	
<i>Skeletonema costatum</i>	+		+++	
<i>Thalassiosira subtilis</i>	+	+		+
<i>Thala. baltica</i>	+			
<i>Thalassiothrix longissim</i>			+	
<i>Th. nitzschioides</i>				+
<i>Distephanus speculus</i>	++++		+	+
<i>Parafavella denticulata</i>			+	
<i>Pleurospis costata</i>		+		
<i>Tintinnopsis japonica</i>				+
Copepoda	+	++	+	
Total	21	11	15	17

+ : <5%, ++ : 5~20%, +++ : 20~50%, ++++ : >50%.

出現 種類別로는 식물플랑크톤은 규조류가 15屬 28種, 황색편모조류가 1屬 1種으로 나타났으며, 동물플랑크톤은 섬모충류가 2屬 2種, 방사충류와 갑각류가 각각 1屬 1種씩 출현하였다.

계절별 출현종수는 봄에 21種으로 가장 많이 출현하였고, 겨울에 16種, 가을에 14種이었으며, 여름에는 11種으로 가장 적었다. 계절별 우점종으로는 봄에 *Distephanus speculus*, 여름에 *Nitzschia longissima*, 가을에 *Skeletonema costatum*, 겨울에 *Coscinodiscus perforatus*로 나타났으며, 年中 出現한 種은 *Nitzschia longissima*와 *Rhizosolenia alata*의 2種 이었다. 消化管內의 먹이생물중 일부는 부서져 있거나 소화가 진전되어져 있었으며 특히 동물성 플랑크톤은 본래의 형태를 찾기 어려울 정도였다.

2) 攝食活動의 變化

消化管 重量은 계절적으로 變化가 뚜렷한 年週期的이었다(Fig. 17).

1월에 2.4 g이던것이 서서히 증가하여 4월에는 3.1 g으로 최대에 달하였으며 6월이후 급격히 감소하여 8월에는 1.2 g으로 最低値를 보이다가 9월부터 다시 증가하였다. 또한 消化管 重量이 증가하는 1~4월에는 대부분의 개체가 소화관내에 먹이가 가득차 있었으며, 7~9월에는 消化管內에 內容物이 거의 없는 個體도 있었다.



4. 成體의 環境條件에 대한 耐性

1) 水溫 및 鹽分에 對한 耐性

水溫, 鹽分에 대한 코끼리조개 耐性試驗을 위하여 유리水槽에서 240시간 無給餌로 시험한 결과는 Tables 6~7 및 Figs. 18~19와 같다. 水溫別 經過日數에 따른 코끼리조개의 生存率을 보면(Table 6, Fig. 18) 水溫 5 ℃에서 15 ℃ 사이에서는 시험기간 10일동안 100% 生存하였으며, 水溫 20 ℃에서는 9일째에 7%의 斃死가 있을 뿐 모두 10일동안 살아 있었다. 水溫이 높은 23 ℃에서는 3日째부터 斃死가 시작되어 6日째 37%, 10日째에는 27%의 生存을 보였으며, 水溫 26 ℃ 이상에서는 24시간 이내에 全

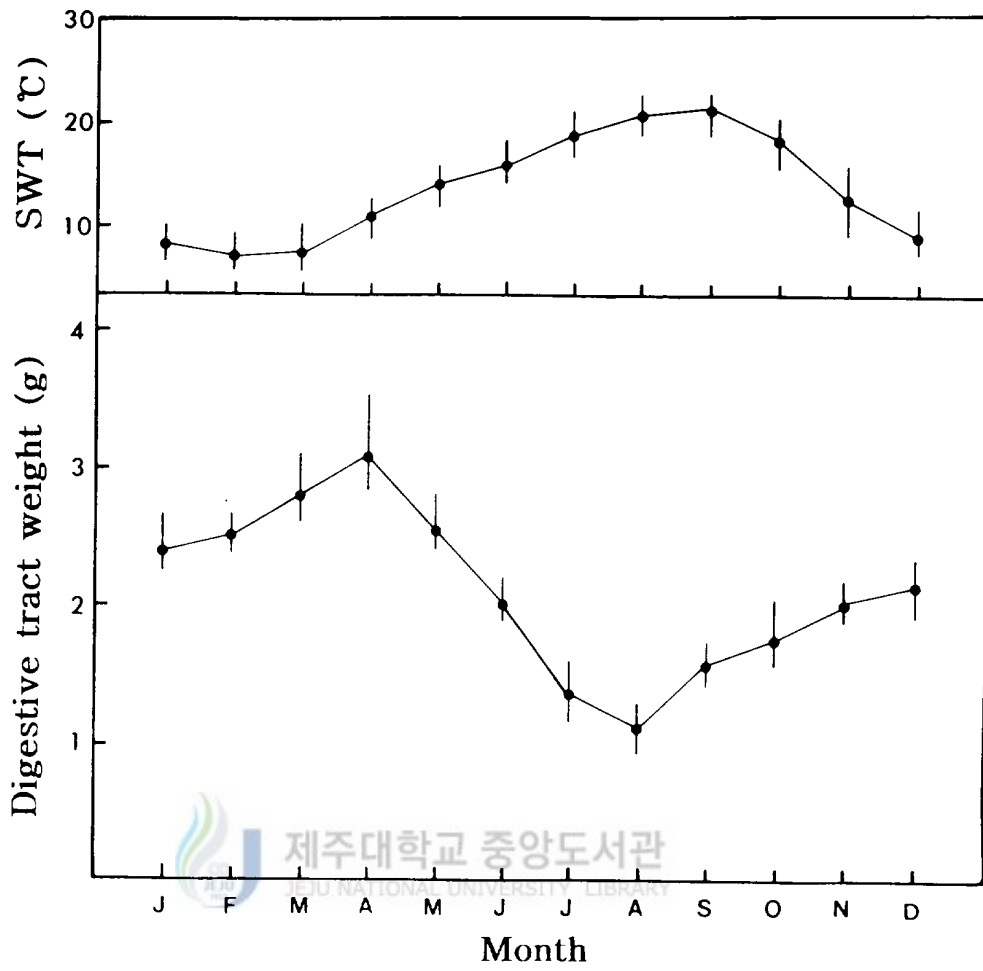


Fig. 17. Monthly change in the weight of digestive tract of *Panope japonica* in relation to sea water temperature (SWT).

Table 6. Survival rate of *Panope japonica* reared under various conditions of water temperature regimes in laboratory

Time (hr.)	Water temperature (°C)								
	0	2	5	10	15	20	23	26	28
Initial	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	100	100	100	100	100	100	100	100	0
12	100	100	100	100	100	100	100	77	0
24	100	100	100	100	100	100	100	0	0
48	77	100	100	100	100	100	100	0	0
120	0	73	100	100	100	100	70	0	0
240	0	57	100	100	100	93	27	0	0

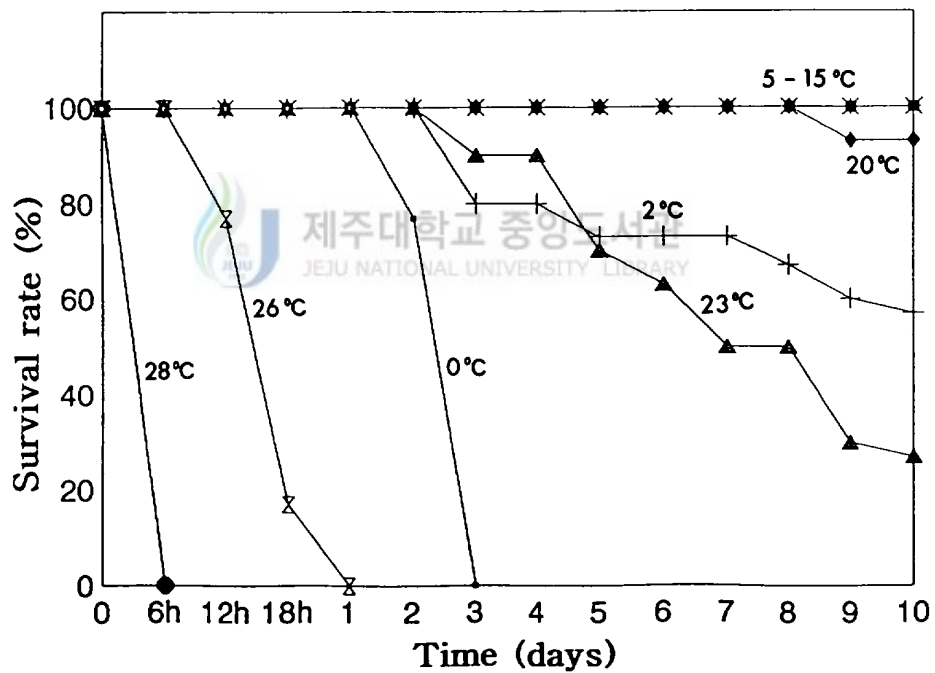


Fig. 18. Survival rate of *Panope japonica* in various water temperature regimes.

量 斃死하였다. 水溫이 낮은 2 ℃에서는 3日째에 20%가 斃死하였으며, 10日째에는 43%가 斃死한 57%의 生存을 나타내었고, 0 ℃에서는 3日만에 전량 斃死하였다.

鹽分濃度別 經過日數에 따른 코끼리조개의 生存率을 보면(Table 7, Fig. 19) 鹽分 25~35 ‰에서는 10日동안 全量 生存하였으며, 高鹽分인 40 ‰에서는 3日째 67%가 生存하였으나 5日째 全量 斃死하였고, 45 ‰에서는 18시간만에 전량 斃死하였다. 低鹽分인 20 ‰에서는 3日째 53%, 10日째 27%의 生存을 보였으나 15 ‰ 이하에서는 24시간 이내에 全量 斃死하였다.

코끼리조개의 水溫에 대한 經過時間別 半致死(LD₅₀)値는 Fig. 20에서와 같다. LD₅₀-24 hr.의 高溫에서 致死限界水溫은 25.0 ℃이고, LD₅₀-120 hr.의 高溫.低溫 致死限界値 範圍는 1.8~23.7 ℃이었으며, LD₅₀-240 hr.에서는 2.0~22.0 ℃ 범위로 나타나 低溫에 대한 耐性은 강하나 高溫에 대해서는 약한 것으로 나타났다.

鹽分耐性에 대한 經過時間別 半致死値는(Fig. 21), LD₅₀-24 hr.의 高鹽分 致死限界値는 42.5 ‰이고, 低鹽分 致死限界値는 16.4 ‰로 鹽分에 대한 耐性이 비교적 강한 것으로 나타났다. LD₅₀-120 hr.의 高.低鹽分 致死限界 範圍는 20.0~37.5 ‰이었으며, LD₅₀-240 hr.에서는 21.4~37.5 ‰ 범위로 나타나 LD₅₀-120 hr. 이후부터 低鹽分에 대한 耐性이 약한 것으로 나타났다.

나. 酸素消費量

코끼리조개의 水溫에 따른 酸素消費量을 살펴보면 Fig. 22와 같다. 水溫 5 ℃에서 時間當 酸素消費量은 5.75 ml/kg/hr.였으며, 水溫이 상승 할수록 酸素消費量은 서서히 증가하여 水溫 20 ℃에서는 10.46 ml/kg/hr.의 酸素를 消費하였으며, 水溫 25 ℃에서는 酸素消費量이 15.83 ml/kg/hr.로 급격히 증가하였다.

5. 生殖週期

1) 生殖巢 重量指數

코끼리조개의 産卵期를 알기위하여 生殖巢 重量指數(GSI)의 月變化를 조사하였

Table 7. Survival rate of *Panope japonica* reared under various conditions of salinity regimes in laboratory

Time (hr.)	Salinity (‰)							
	10	15	20	25	30	35	40	45
Initial	100	100	100	100	100	100	100	100
6	0	73	100	100	100	100	100	37
12	0	50	100	100	100	100	100	10
24	0	37	100	100	100	100	100	0
48	0	0	83	100	100	100	97	0
120	0	0	53	100	100	100	0	0
240	0	0	27	100	100	100	0	0

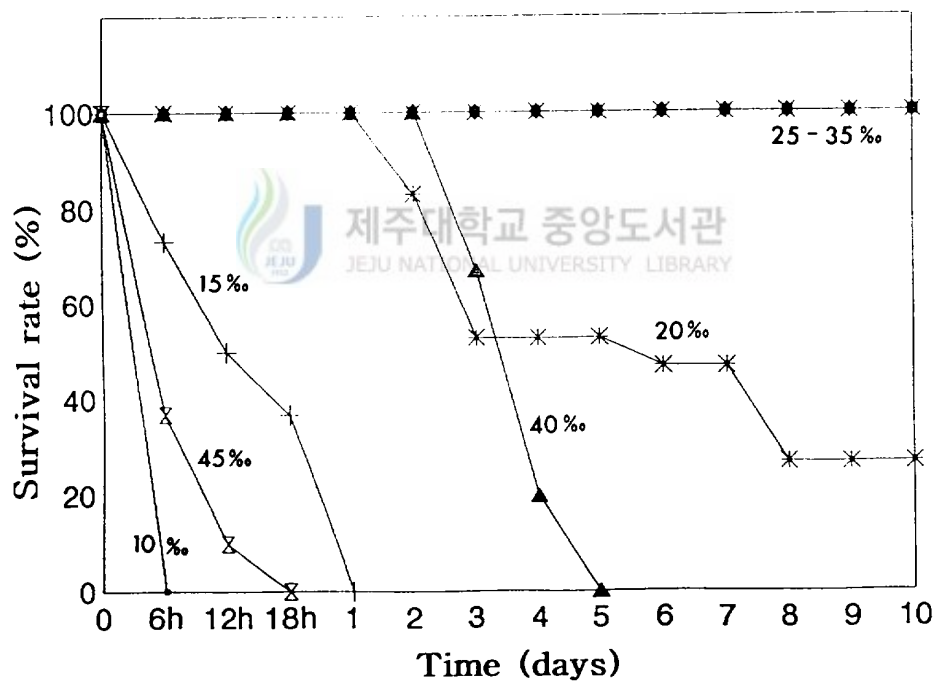


Fig. 19. Survival rate of *Panope japonica* in various salinity regimes.

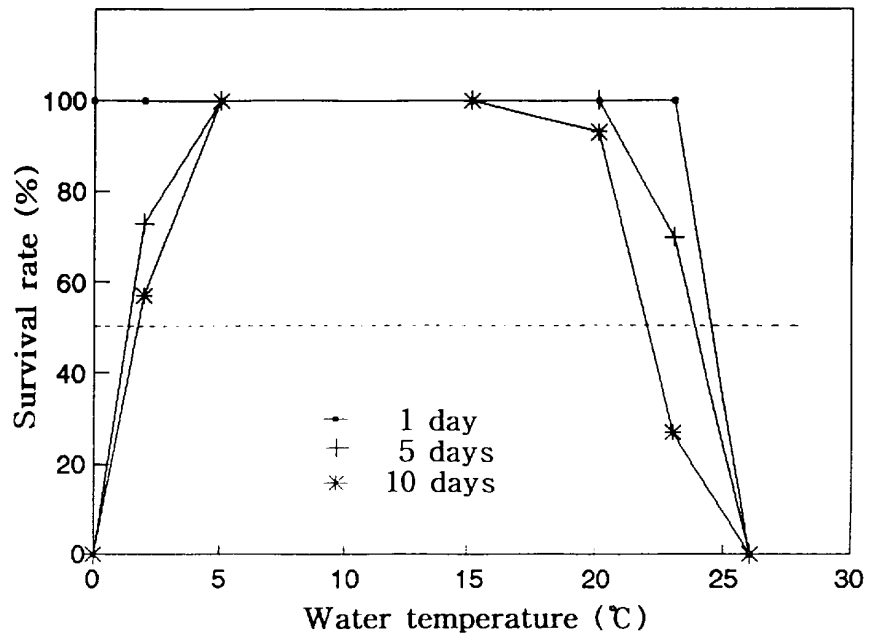


Fig. 20. Changes of LD₅₀ for water temperature tolerance according to the different periods of time.

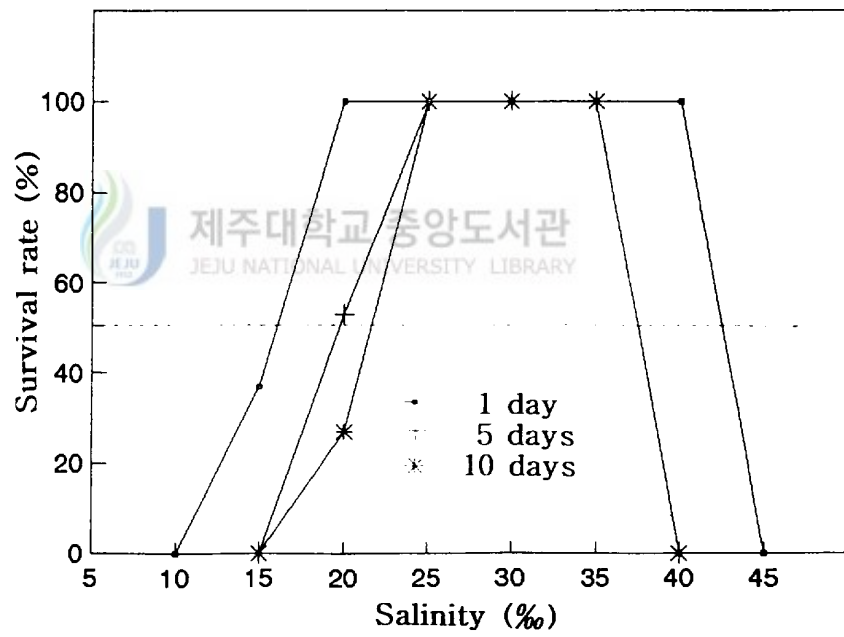


Fig. 21. Changes of LD₅₀ for salinity tolerance according to the different periods of time.

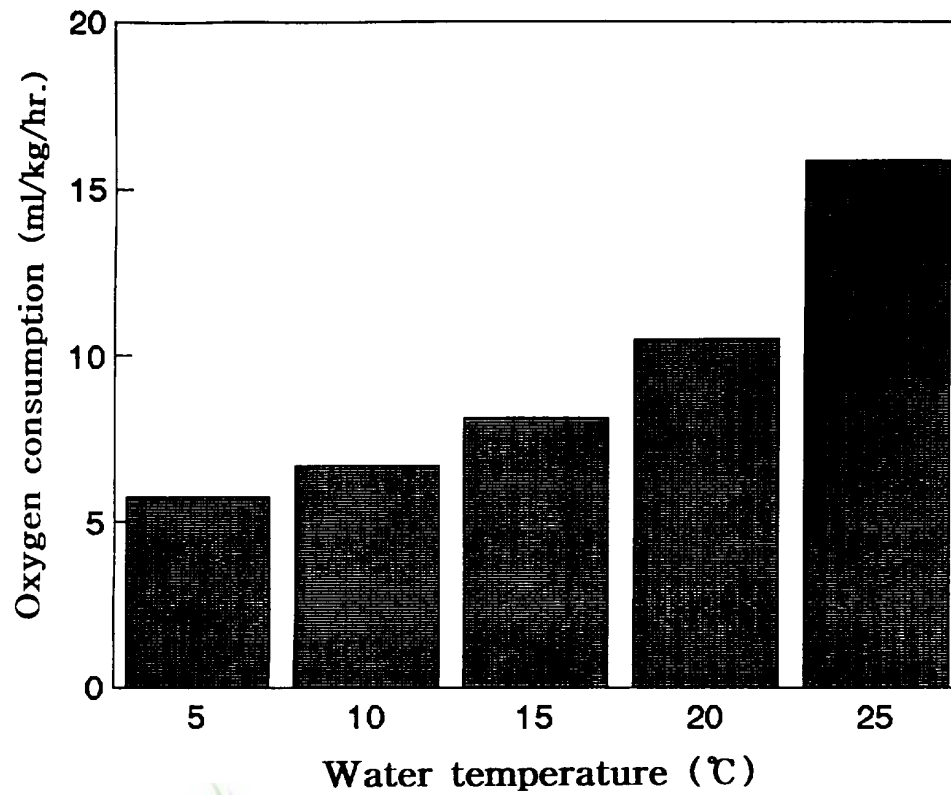


Fig. 22. Changes of oxygen consumption of *Panope japonica* according to various water temperature regimes.

다.(Fig. 23).

1992年 3월부터 8월까지와 1993年 1월부터 12월까지 2年間に 걸쳐 조사한 GSI의 月變化를 보면 암컷은 1992年 3월에 22.8이였으나 4월에는 28.2로 最高値를 나타내었고, 5월에 23.0으로 감소하기 시작하여 8월에는 8.1로 가장 낮았다. 1993年은 1월에 14.1이던 것이 漸次 증가하여 4월에는 26.9로 最高値를, 6월에 접어들면서 14.8로 급격히 감소되어 8월에는 6.8로 最低値였다.

수컷은 1992年 4월에는 27.2로 最高値였으며, 5월에 21.7로 감소하였고 8월에는 12.6으로 最低値를, 1993年 1월에 15.8이던 것이 4월에는 29.0으로 最高値였으나 그 이후 감소하여 8월에 9.4로 最低値였다. 암·수의 GSI의 월변화는 유사한 경향을 가지고 있다.

2) 卵徑의 月變化

生殖巢 발달에 따른 卵徑의 月變化를 알기 위하여 1~9月까지의 卵徑을 10 μm 간격으로 구분하여 相對的 出現頻度로 나타낸 결과는 Fig. 24와 같다.

12월부터 卵徑 30~50 μm 의 卵母細胞들이 다수 출현하기 시작하여 3월에는 60 μm 이상되는 난이 47.2%였고 4월에 들어서는 72.4%였으나 6월에는 36.1%, 7월에는 11.8%로 급격히 감소하였고, 8월부터 11월에는 卵徑 10~30 μm 의 卵母細胞들이 주로 분포하고 있다.



3) 生殖細胞 形成過程

(1) 卵子 形成

卵巢는 타원형의 많은 小囊들로 구성되어있으며, 이들 小囊의 生殖上皮에 卵徑 7.2 μm 전후의 卵原細胞들이 분열증식하고 있다. 이들 난원세포는 세포질이 빈약하나 핵내에 단일인이 분포하고 있다. 그리고 小囊들 사이의 간층직에는 eosin에 염색되는 초산성과립 세포들이 분포하고 있다(Fig. 25. A). 이들 난원세포들이 분열증식을 마치고 세포질이 충실해지면서 염기성을 띠는 난경 20 μm 전후의 초기 난모세포로 발달한다(Fig. 25. B). 초기 난모세포가 성장함에 따라 卵柄을 형성하여 생식상피상에 부

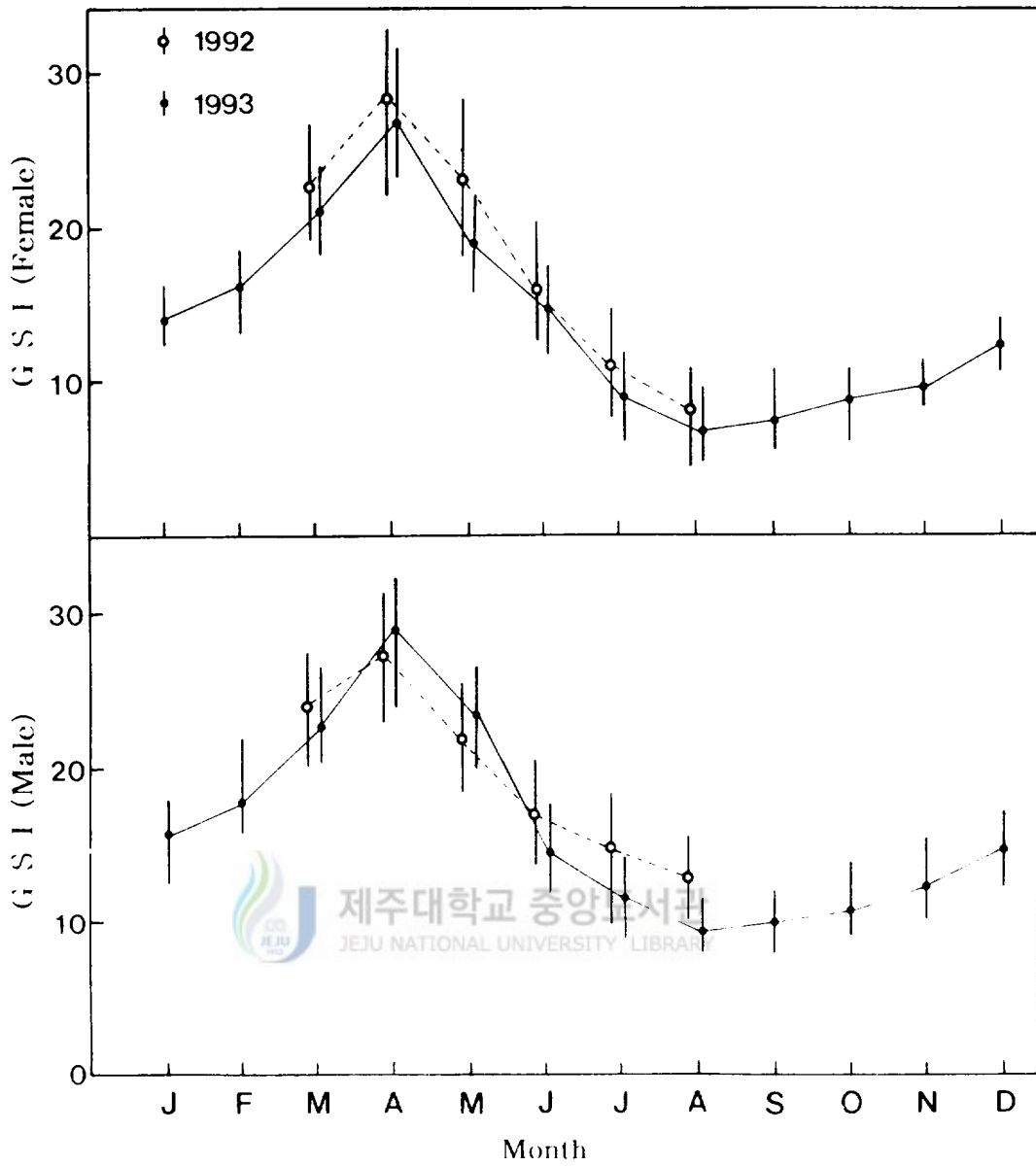


Fig. 23. Monthly changes of gonadosomatic index (GSI) of *Panope japonica*.

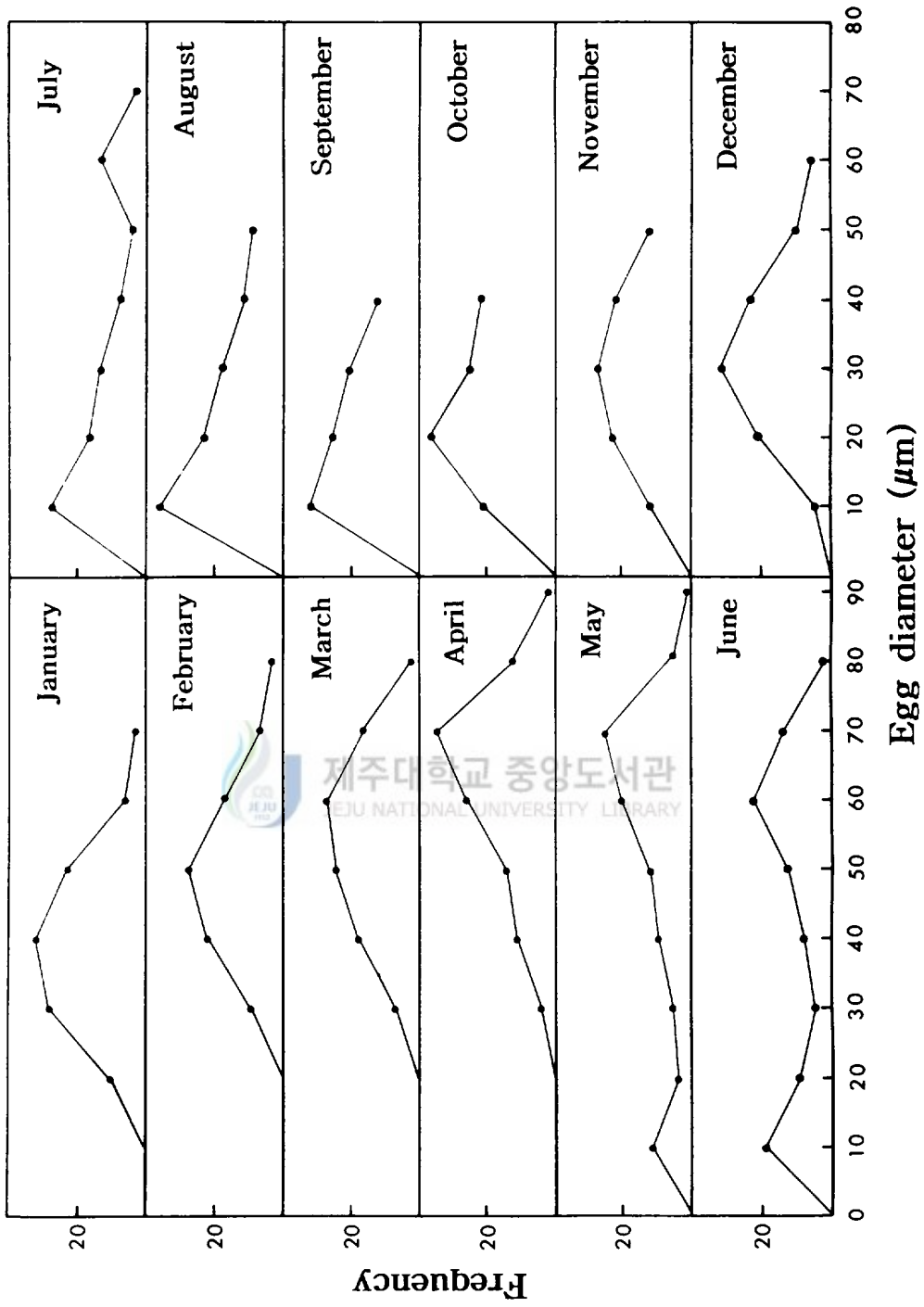


Fig. 24. Monthly changes in the egg diameter of *Panope japonica*.

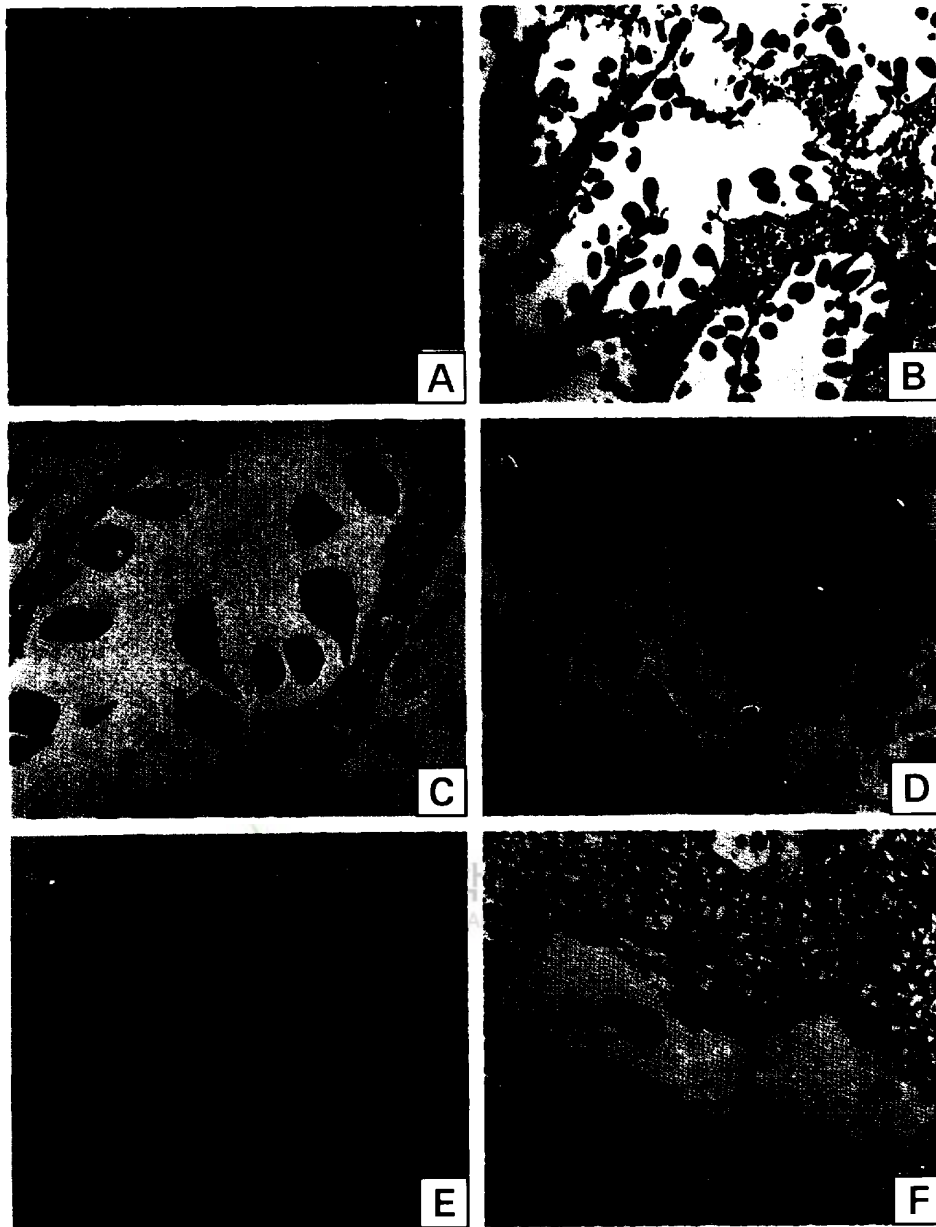


Fig. 25. Development of ovary of *Panope japonica* (X100). A: Multiplicative stage; B: Early growing ovary; C: Growing ovary; D: Mature ovary; E: Spent stage; F: Recovery stage.

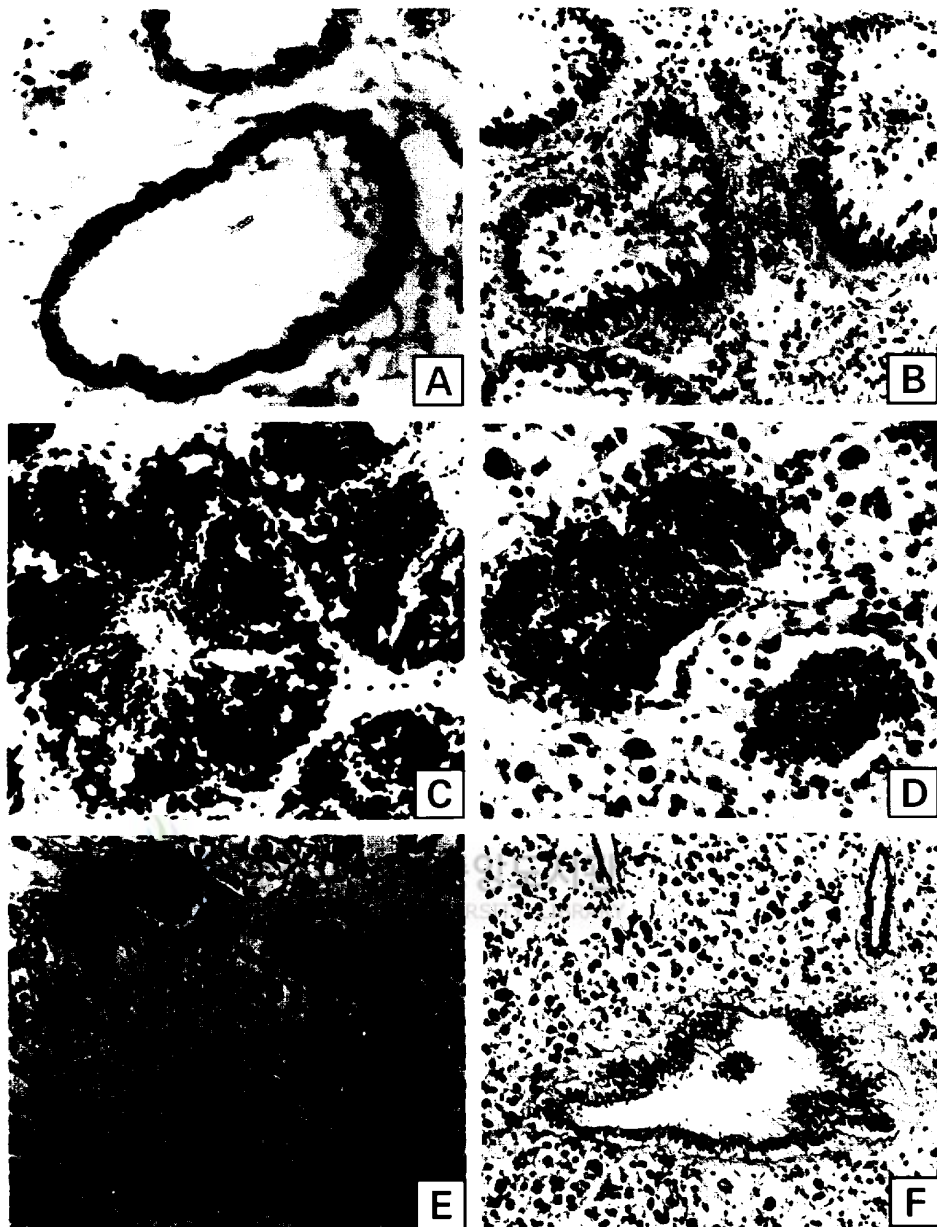


Fig. 26. Development of testis of *Panope japonica* (X100). A: Multiplicative stage; B: Growing testis; C: Mature testis; D: Spent stage; E: Degenerative and resting stage; F: Recovery stage.

착한채로 장경 40~45 μm , 단경 25~30 μm 전후의 성숙난모세포로 발달한다(Fig. 25. C). 卵柄을 형성한 성숙난모세포들이 小囊內腔으로 유리되면서 외막에 Jelly층이 형성된다. Jelly층이 형성된 완숙난모세포는 난경이 60 μm 내외이고 세포질에는 호산성 난황물질이 축적되며 배포는 동물극쪽으로 이동하고 있다(Fig. 25. D). 그후 방란기가 되면 小囊內腔에는 대부분의 완숙난모세포가 방란되고 Jelly 층이 잔존하여 방란흔적을 남기고 있다. 소낭내에는 미방출된 소수의 완숙난들이 분포하고 있다(Fig. 25. E). 방란후 휴지기 난소는 小囊內 소수의 퇴행난모 세포가 잔존하고 있으며, 소낭사이 간층질이 점차 두꺼워 지면서 생식상피가 재배치 되고 있다(Fig. 25. F).

(2) 精子 形成

精巢의 내부구조는 卵巢의 구조와 유사하게 타원형의 소낭들로 구성되어 있으며 이들 小囊의 생식상피상에 卵徑 6.0~7.0 μm 전후의 정원세포들이 분열증식한다(Fig. 26. A). 소낭들 사이의 간층적이 발달하고, 소낭상피상의 정원세포가 정모세포로 발달하면서 정모세포들이 小囊 內腔쪽으로 밀려 들고 있다(Fig. 26. B). 정소가 발달함에 따라 소낭이 부풀어지면서 生殖上皮는 얇아지고, 소낭내에는 上皮層에서 內腔쪽으로 정모세포, 정세포, 일부 변태된 정자들이 층상배열된다(Fig. 26. C). 완숙 및 방정기에 접어들면서 소낭내에는 변태된 정자무리들이 내강쪽으로 무리를 형성하고 있다(Fig. 26. D). 방정후 소낭사이에 간층적이 발달하면서 재배치되고 소낭내에는 정자무리들이 잔존하고 있다(Fig. 26. E). 휴지기 정소에는 정소소낭 상피가 재배치되어 있고 소수의 정자들이 小囊內腔에 남아있다(Fig. 26. F).

4) 生殖週期

생식소의 성숙에 따른 월별 生殖巢 重量指數와 생식세포 형성과정을 조직학적으로 조사한 결과 生殖週期를 分裂增殖期, 成長期, 成熟期, 放出期 그리고 回復期로 구분할 수 있었다(Fig. 27).

(1) 分裂增殖期

卵巢와 精巢의 小囊上皮를 따라 정원세포와 난원세포들이 분열증식하고 있으며, 일부 생식소의 성숙이 빠른 개체에서는 초기난모세포와 정모세포들이 출현하고 있다. 이 시기에는 육안적으로 암·수의 구별이 어렵다. 이러한 분열증식기를 가지는 개체는 6

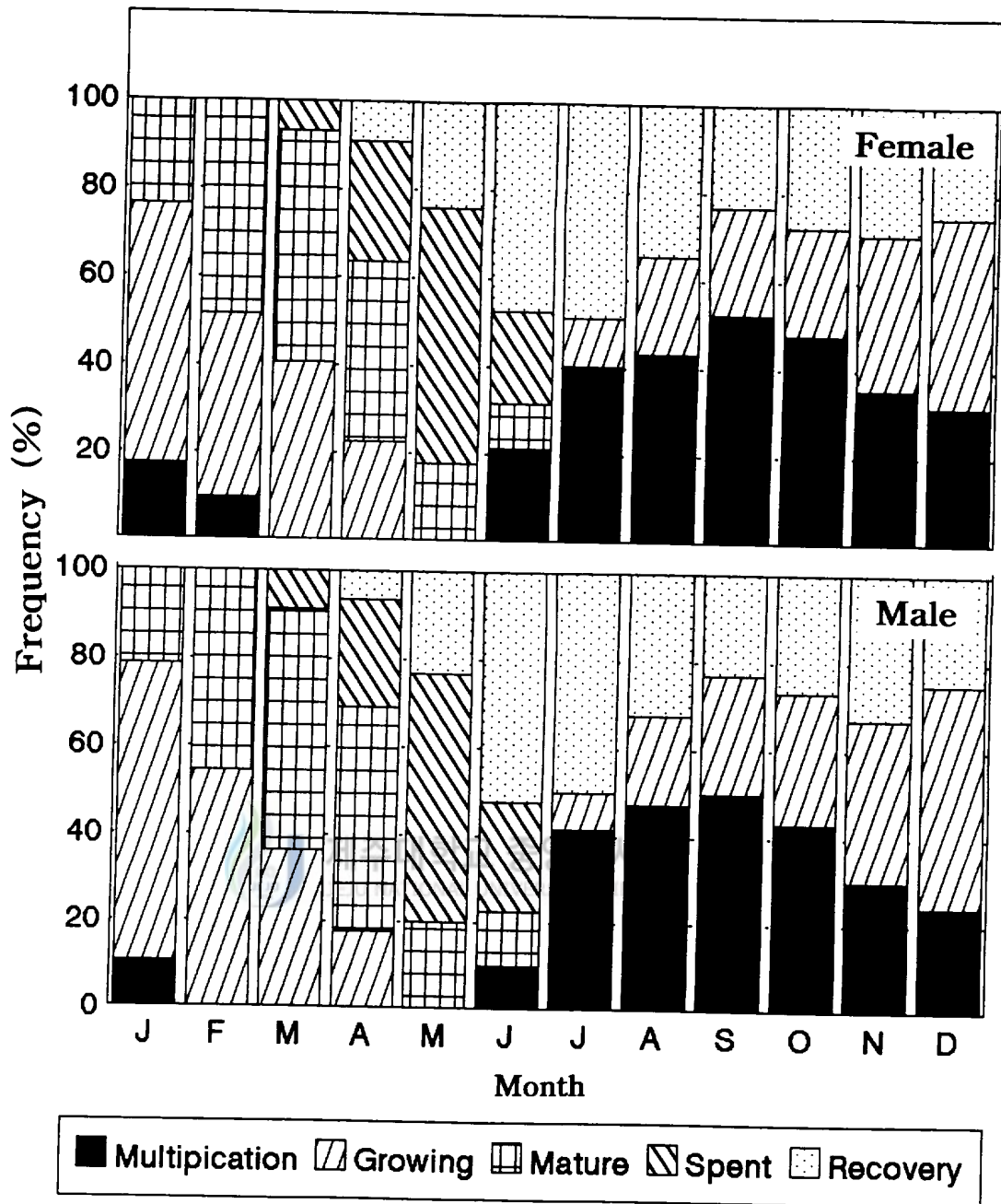


Fig. 27. Changes in percent proportion of each developmental phase by weight in the gonad of *Panope japonica*.

월에서 다음해 2월까지 분포하고 있으나 주로 8월에서 10월 사이에 출현하고 있다.

(2) 成長期

卵巢에서는 초기난모세포들이 성장하면서 卵柄을 형성하여 생식상피에 부착한채로 장경 40~45 μm , 단경 25~30 μm 로 성숙되고 있고, 精巢에서는 小囊上皮에서 內腔쪽으로 정모세포, 정세포 그리고 일부 변태된 정자들이 층상으로 배열되고 있다. 이러한 발달단계를 가지는 개체는 7월에서 다음해 4월까지 분포하고 있으나 주로 12월에서 3월에 걸쳐 출현하고 있다.

(3) 成熟期

卵巢의 卵柄을 형성한 난모세포가 小囊內腔으로 유리되면서 난모세포의 외막에 Jelly층을 형성하고 세포질에 난황물질이 축적된 卵徑 60 μm 전후의 성숙난모세포로 발달한다. 정소의 소낭내에는 변태된 정자들이 무리를 형성하고 있다. 이러한 성숙기 개체는 1월에서 6월까지 분포하고 있으나 주로 2월에서 4월에 걸쳐 출현하고 있다.

(4) 放出期

성숙난모세포와 정자무리들이 방란·방정되어 생식소가 위축되기 시작하고 卵巢 小囊과 精巢 小囊내에 미 방란·방정된 소수의 난모세포와 정자들이 잔존하고 있다. 이 시기는 3월에서 6월에 걸쳐 일어 나고 있으나 4월과 5월에 주로 나타나고 있다.

(5) 回復期

방란·방정후 생식소가 위축되고 小囊들 사이에 간층적이 발달하면서 小囊 생식상피가 재배치 되고있다. 회복기를 갖는 개체는 4월에서 12월에 걸쳐 분포하고 있으나 대부분 6월에서 8월에 출현하고 있다.

5) 抱卵數

成熟期の 産卵量을 알기 위하여 産卵時期인 4~6月中 완숙된 15個體를 대상으로 卵巢內의 抱卵數를 조사한 결과는 Fig. 28에서와 같다.

抱卵數는 殼長이 증가함에 따라 抱卵數도 증가하는 경향을 보여 殼長과 抱卵數의 관계식은 $NE = 38.1542 L - 198.3127 (r = 0.9921)$ 로 표시할 수 있었으며, 殼長 10 cm 일 때 抱卵數는 183×10^4 粒, 殼長 13 cm 일때는 298×10^4 粒을 抱卵하였다.

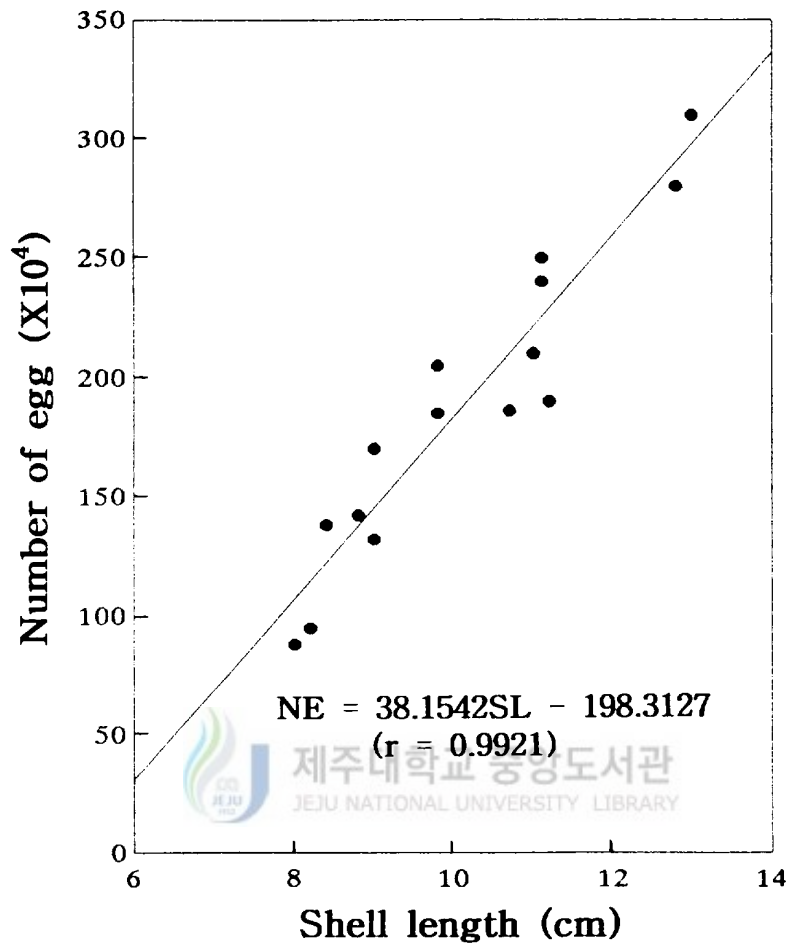


Fig. 28. Relationship between shell length (L) and number of eggs (NE) of *Panope japonica*.

6. 産卵誘發

코끼리조개의 産卵誘發을 위하여 水溫刺戟, 干出刺戟, 자외선 조사해수자극, NH_4OH 를 해수에 첨가하는 자극과 생식소에 주사하는 자극에 의한 산란유발과 生殖巢切開 등으로 얻은 난과 정자의 인공수정을 실시한 결과는 Tables 8~9와 같다.

水溫刺戟은 4月 13日에서 6月 5日까지 9回 실시하였는데 4월에는 거의 반응(5%)을 보이지 않다가 5월에는 5~25%의 반응을 나타내었고, 6월에는 수컷만 일부 반응(10%)하였다. 이중 5月 14日에 실시한 방법이 가장 양호하였으며, 그 결과를 보면 (Fig. 29) 水溫 14.4 °C로 飼育하던 母貝를 23.2 °C에서 30分間 刺戟한 후 14.4 °C로 下降시키고, 1시간뒤 다시 上昇시키는 刺戟을 1回 反復하고 2시간을 기다렸지만 방란방정이 이루어 지지 않았다. 그 후 2시간동안에 18 °C로 上昇시켰다가 14.4 °C의 자연수로 유지시키던 중 수컷 1마리가 방정하기 시작한뒤 間歇적으로 방란방정이 암컷 2마리, 수컷 3마리에서 反應을 보여 약 6萬粒의 受精卵을 얻을 수 있었다. 이외에도 5月 3日과 15日에 방란방정이 있었지만 암수의 방란방정이 시간적으로 차이가 있거나 방정만 하므로서 순조로운 受精卵을 얻을 수가 없었다.

간출자극과 자외선 조사해수자극에서는 방란·방정이 전혀 일어나지 않았다. 그러나 生殖巢를 切開(切開法)하여 얻은 알과 정자의 인공수정은 15.0~45.0%가 정상적으로 수정되었으며, 그 중 4月 15日에 인공수정 시킨 것에서 45.0%의 受精率을 나타내었다.

NH_4OH 용액을 해수에 첨가하는 刺戟의 경우 1/1000N~15/1000N 범위에서 자극하였는데 3/1000N이하에서는 反應을 보이지 않았으며, 5/1000N 이상에서 反應을 보이기 시작하여 8/1000N~10/1000N에서는 2~3시간이내에 암컷 1마리, 수컷 2마리가 방란·방정하여 약 2萬粒의 受精卵을 얻을 수 있었다.

NH_4OH 용액을 生殖巢에 注射하는 刺戟의 경우 1/100N~10/100N범위에서 刺戟하였는데 5/100N~7/100N에서 5~10%의 反應을 보였지만 정상적인 受精은 이루어 지지 않았다.

Table 8. Result of the spawning induction experiments with *Panope japonica* by various stimulation methods

Stimulation methods	Date	Process of stimulation	Number of experiment	Number of responses		Rate of response
				♀	♂	
Temperature (heating and cooling)	Apr. 13, 1993	10℃→17℃(1h*)→10℃	10	-	-	0
	Apr. 26	12.5℃→20℃(1h)→13℃	20	-	-	0
	Apr. 26	12.5℃→18℃(1h)→11℃→15℃	20	-	1	5.0
	May 3	13.1℃→5℃(1h)→12℃	20	-	-	0
	May 3	13.1℃→21.4℃(1h)→7℃(0.5h) →15℃(0.5h)→10.3℃→13.0℃	20	1	2	15.0
	May 14	14.4℃→23.2℃(1h)→17℃	20	-	-	0
	May 14	14.4℃→23.2℃(0.5h)→14.4℃ (1h)→23.2℃(0.5h)→14.4℃ →18.0℃→14.4℃	20	2	3	25.0
	May 15	14.5℃→5.6℃(2h)→13.2℃ →19℃→10℃→12.8℃	20	1	2	15.0
	June 5	18.3℃→23.0℃(0.5h)→18.3℃ →23.0℃(1h)→18.3℃	20	-	2	10.0
	Dried	Apr. 15, 1993	9.5℃→21.8℃(1h)→9.5℃	20	-	-
May 10		13.2℃→23.0℃(1h)→13.2℃	20	-	-	0
June 5		18.3℃→25.2℃(1h)→18.3℃	20	-	-	0
Openning gonad	Apr. 15, 1994	Incision of gonads	20	5	4	45.0
	May 10	"	20	3	3	30.0
	June 5	"	20	1	2	15.0
UV rays irradiation	May 7, 1995	243.7mWh/ℓ	10	-	-	0
	"	487.5 "	10	-	-	0
	"	609.4 "	10	-	-	0
	"	812.5 "	10	-	-	0
	May 8, **	609.4 "	10	-	-	0
	"	812.5 "	10	-	-	0

*: Time for stimulation

** : Dried (1hr.) before UV irradiation

Table 9. Results of spawning induction experiments with *Panope japonica* by NH₄OH stimulation in 1994

Stimulation method	Date	Process of stimulation	Number of experiment	Number of responses		Rate of response
				♀	♂	
Adding of NH ₄ OH solution	May 15	1/1000 N	20	-	-	0
	"	3/1000 N	20	-	-	0
	"	5/1000 N	20	-	1	5.0
	"	8/1000 N	20	1	2	15.0
	"	10/1000 N	20	1	2	15.0
Injection of NH ₄ OH solution	"	15/1000 N	20	-	2	10.0
	May 15	1/100 N	20	-	-	0
	"	3/100 N	20	-	-	0
	"	4/100 N	20	-	-	0
	May 16	5/100 N	20	-	1	5.0
"	7/100 N	20	1	1	10.0	
"	10/100 N	20	-	-	0	

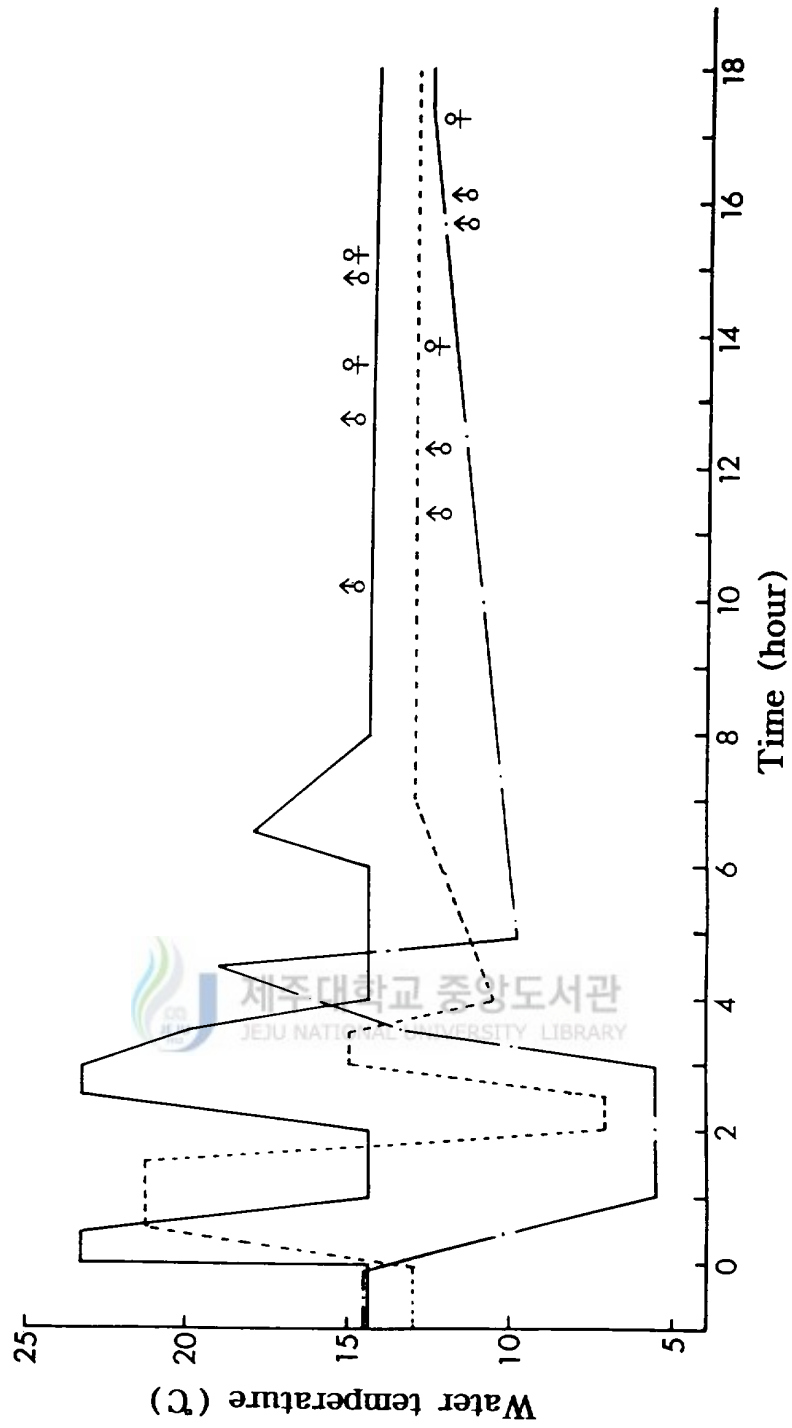


Fig. 29. Spawning of *Panope japonica* induced by the stimulation of water temperature change. ♀ : Egg discharging females; ♂ : Sperm discharging males.

7. 卵의 孵化率과 發生

1) 水溫과 孵化率

알의 수정과 수정란의 발생에 미치는 수온의 영향을 구명하기 위하여 5단계의 水溫(5, 8, 11, 14 °C 및 17 °C)에서 조사한 受精率, 孵化率은 Table 10 및 Fig. 30에서와 같다.

受精率은 水溫 11~17 °C 범위에서 74.5~89.2%로 높게 나타났으나 8 °C 이하에서는 40.5~68.3%로 저조하였다. 孵化率은 水溫 8~17 °C 범위에서 77.8~90.5%로 높게 나타났고, 5 °C에서는 50.1%로 비교적 낮았다.

2) 鹽分과 孵化率

알의 수정과 수정란의 발생에 미치는 염분농도의 영향을 구명하기 위하여 7단계의 염분농도(15, 20, 25, 30, 35, 40, % 및 45 %)에서 조사한 수정율, 부화율은 Table 11 및 Fig. 31에서와 같다.

鹽分濃도에 의한 卵의 受精率은 鹽分 25~40 % 범위에서 72.5~88.5%로 비교적 높았고, 15 %와 45 %에서는 受精이 이루어 지지 않았으며, 孵化率에서는 鹽分 30~35 % 범위에서 82.7~86.9%로 높게 나타났으나 25 %에서는 64.6%, 그 이외의 鹽分에서는 34.5% 이하로 저조하였다. 여기에서 水溫과 鹽分濃도에 의한 卵의 受精率 및 孵化率을 고려해 볼때 水溫은 11~14 °C, 鹽分濃도는 30~35 %가 최적조건이라 여겨진다.

3) 卵割 및 幼生の 變態

水溫 11 °C 內外 일때 코끼리조개의 卵 發生은 Table 12와 Figs. 32~33에 나타내었다. 알은 分離沈性卵이며, 受精卵은 球形으로 半徑은 70 μm이다(Fig. 32. A). 受精이 완료된 알은 수정막과 극엽을 형성하며, 수정 후 2시간이 지나면 제1차 卵割을 하여 2세포기로 되고(Fig. 32. B), 受精 후 4시간이 되면 4세포기(Fig. 32. C), 9시간이 경과하면 8세포기가 된다(Fig. 32. D). 受精 후 23시간이 경과하면 섬모가 생겨 회전

Table 10. Comparison of fertilization and hatching rates of *Panope japonica* in various water temperature regimes

Temperature (°C)	Number of eggs spawned	Fertilization		Hatching	
		Number of eggs	Rate (%)	Number of larvae	Rate (%)
5	10,000	4,050	40.5	2,030	50.1
8	10,000	6,830	68.3	5,760	84.3
11	10,000	8,760	87.6	7,840	89.5
14	10,000	8,920	89.2	7,730	86.6
17	10,000	7,450	74.5	5,790	77.7

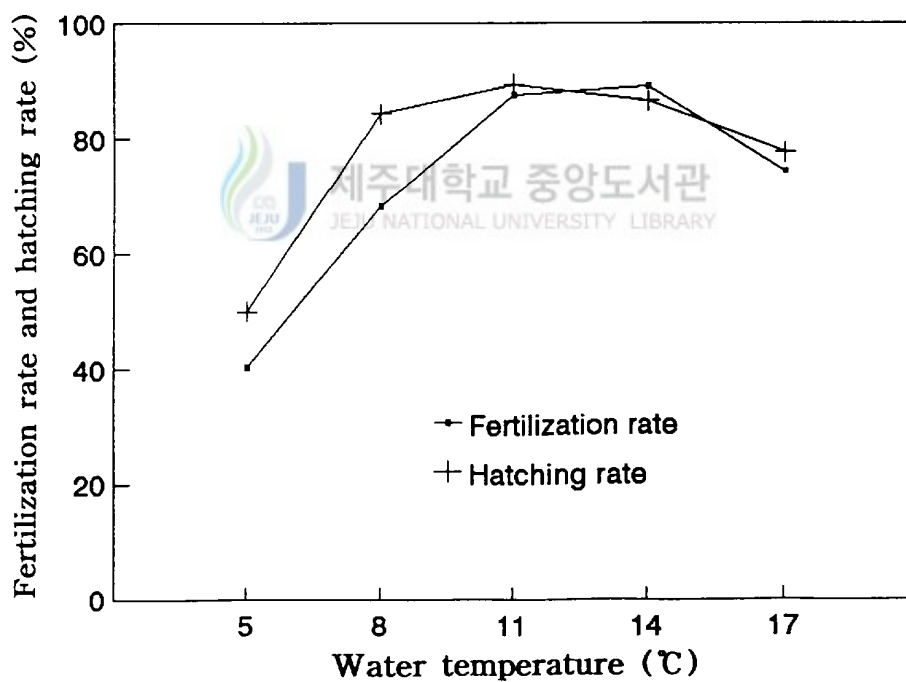


Fig. 30. Changes of fertilization rate and hatching rate of *Panope japonica* in various water temperature regimes.

Table 11. Comparison of fertilization and hatching rates of *Panope japonica* in various salinity regimes

Salinity (%)	Number of eggs spawned	Fertilization		Hatching	
		Number of eggs	Rate (%)	Number of larvae	Rate (%)
15	10,000	0	0	0	0
20	10,000	5,420	54.2	1,870	34.5
25	10,000	7,250	72.5	4,680	64.6
30	10,000	8,720	87.2	7,580	86.9
35	10,000	8,850	88.5	7,320	82.7
40	10,000	4,540	45.4	1,440	31.7
45	10,000	0	0	0	0

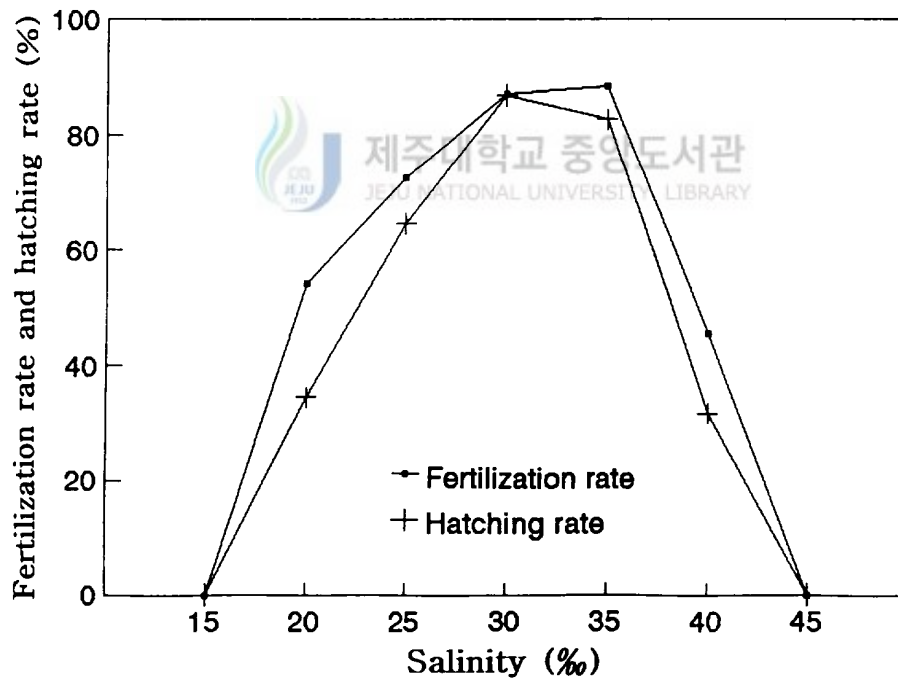


Fig. 31. Changes of fertilization rate and hatching rate of *Panope japonica* in various salinity regimes.

Table 12. Development of *Panope japonica* under water temperature of 11 °C

Stages	Elapsed time after fertilization	Size
Fertilized egg	0	Egg diameter: 70 μm
2 cells	2 hr.	
4 cells	4 hr.	
8 cells	9 hr.	
16 cells	15 hr.	
Blastula	23 hr.	
Trochophore	2 day	
D-shaped larva	3 day	110 x 90 μm
Umbo stage	23 day	160 x 143 μm
Full-grown stage	36 day	205 x 185 μm

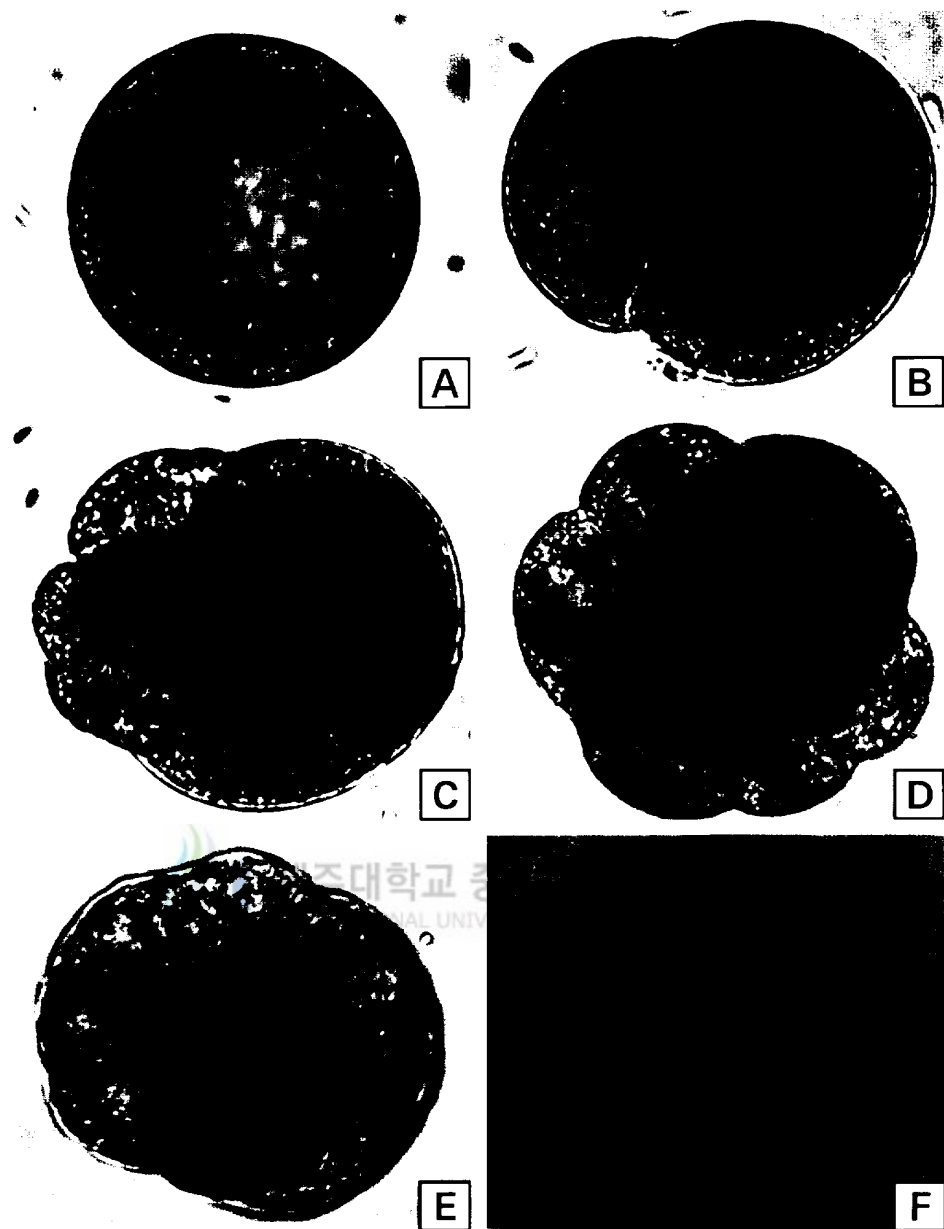


Fig. 32. Early development of the egg of *Panope japonica* (X100).
 A: Fertilized egg (egg diameter: 70 μm); B: Two-cell stage;
 C: Four-cell stage; D: Eight-cell stage; E: Blastula stage;
 F: Trochophore larvae.

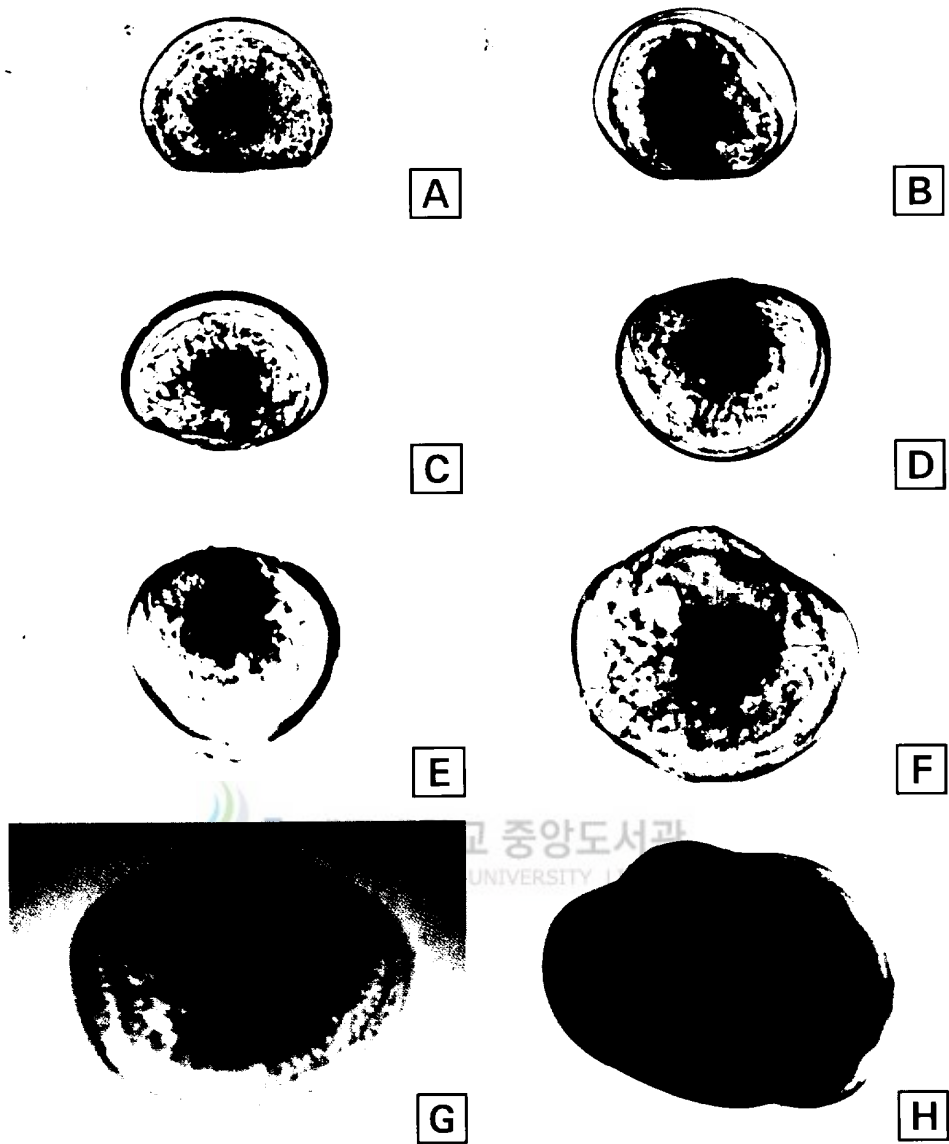


Fig. 33. Development of the larvae of *Panope japonica* (X100). A: D-shaped larvae (shell length: 110 μm); B: Late D-shaped larvae; C: Early umbo stage larvae; D: Umbo stage larvae (shell length: 160 μm); E: Early full-grown stage larvae; F: Full-grown stage larvae (shell length: 205 μm); G: Early attached young spat (shell length: 320 μm); H: Attached young spat (shell length: 390 μm).

Table 13. Relationships between water temperature and required time (hours) to each developmental stage after fertilization

Stages	Water temperature			
	8 °C	11 °C	14 °C	17 °C
8 cells	21.2	8.7	5.4	4.3
Blastula	46.0	22.2	18.7	12.3
Trochophore	87.3	42.4	33.8	23.6
D-shaped larva	122.6	70.4	62.4	42.7

운동을 시작하는 포배기에 이르며(Fig. 32. E), 受精 후 2일이 지나면 나선상의 상하 운동을 반복하는 담륜자幼生(trochophore larva)으로 부화한다(Fig. 32. F). 이후 幼生은 면반의 발달과 함께 패각이 형성되고, 3일째에는 殼長 110 μm 의 D상幼生으로 되며(Fig. 33. A), 殼長 130 μm 정도되면 각의 연변부가 둥글게 되면서 D상의 직선부분에서 殼頂形成이 시작된다(Fig. 33. C). 殼長 160 μm 에서는 殼頂부가 더욱 커지며(Fig. 33. D), 受精後 36일째(孵化後 34日)에 殼長 205 μm 로 성장하여 성숙자패가 되면서 벨리저 후기의 저서생활로 이행하게 된다(Fig. 33. F). 이때까지의 浮游生活期間은 34~36日 정도이다.

水溫別 初期發生速度를 파악하기 위하여 受精卵부터 D상 幼生까지 외부형태를 관찰하여 水溫別 各 發生段階에 이르기까지 所要時間을 Table 13에 나타냈다. 各 水溫別 發生速度는 현저한 차이를 보였으며 8세포, 포배기, 담륜자기 및 D상 유생기까지 4단계로 구분하여 各 發生段階別 所要時間(t: hour)과 水溫(w: °C)과의 關係는 Fig. 34와 같으며, 關係식을 구하면 다음과 같다.

$$\text{8세포기} \quad : 1/t = 0.0209 w - 0.1167 \quad (r = 0.9967)$$

$$\text{포배기} \quad : 1/t = 0.0055 w - 0.0192 \quad (r = 0.9825)$$

$$\text{담륜자기} \quad : 1/t = 0.0034 w - 0.0155 \quad (r = 0.9907)$$

$$\text{D상 유생기} \quad : 1/t = 0.0014 w - 0.0023 \quad (r = 0.9843)$$

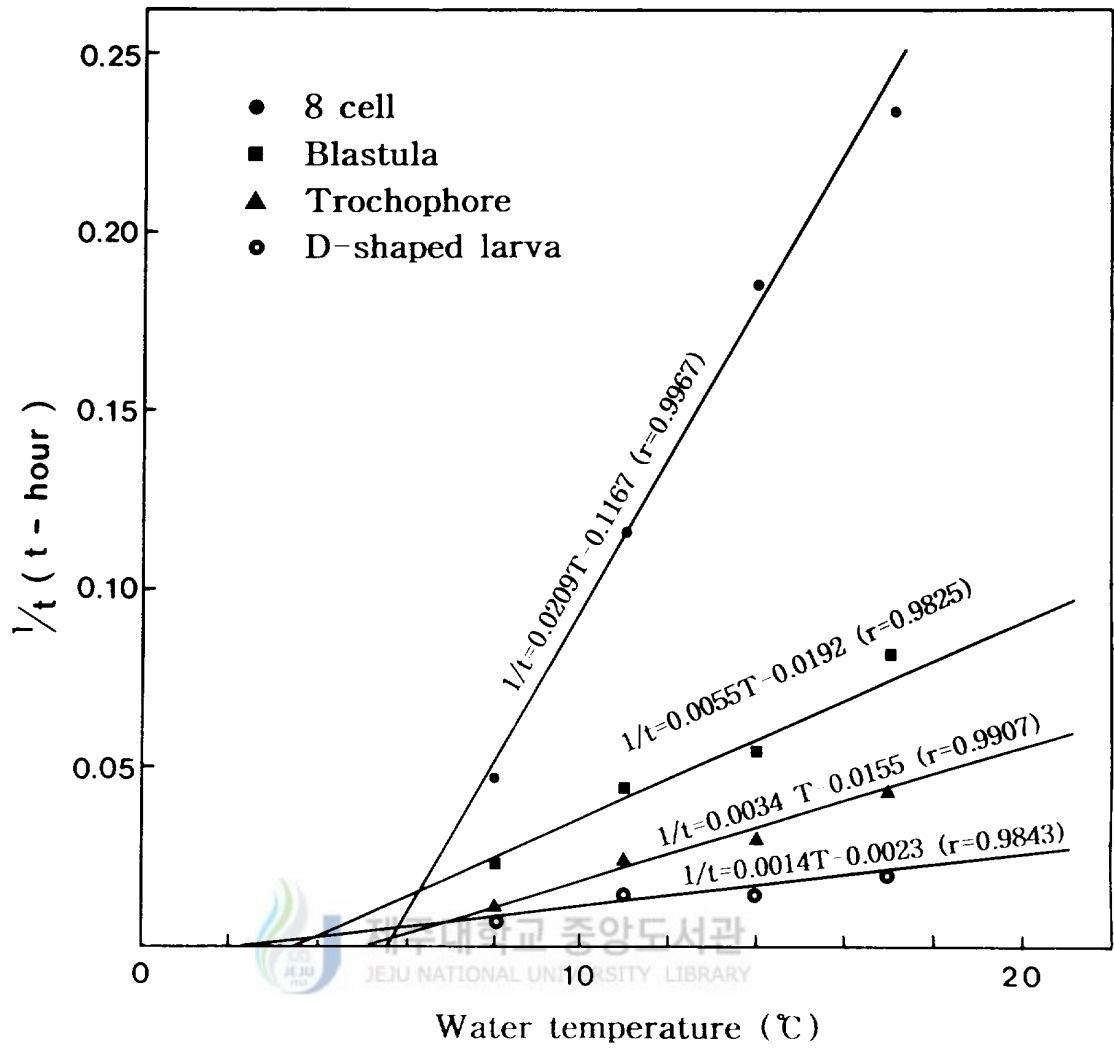


Fig. 34. Relationship between water temperature and required time to each developmental stage of *Panope japonica*.

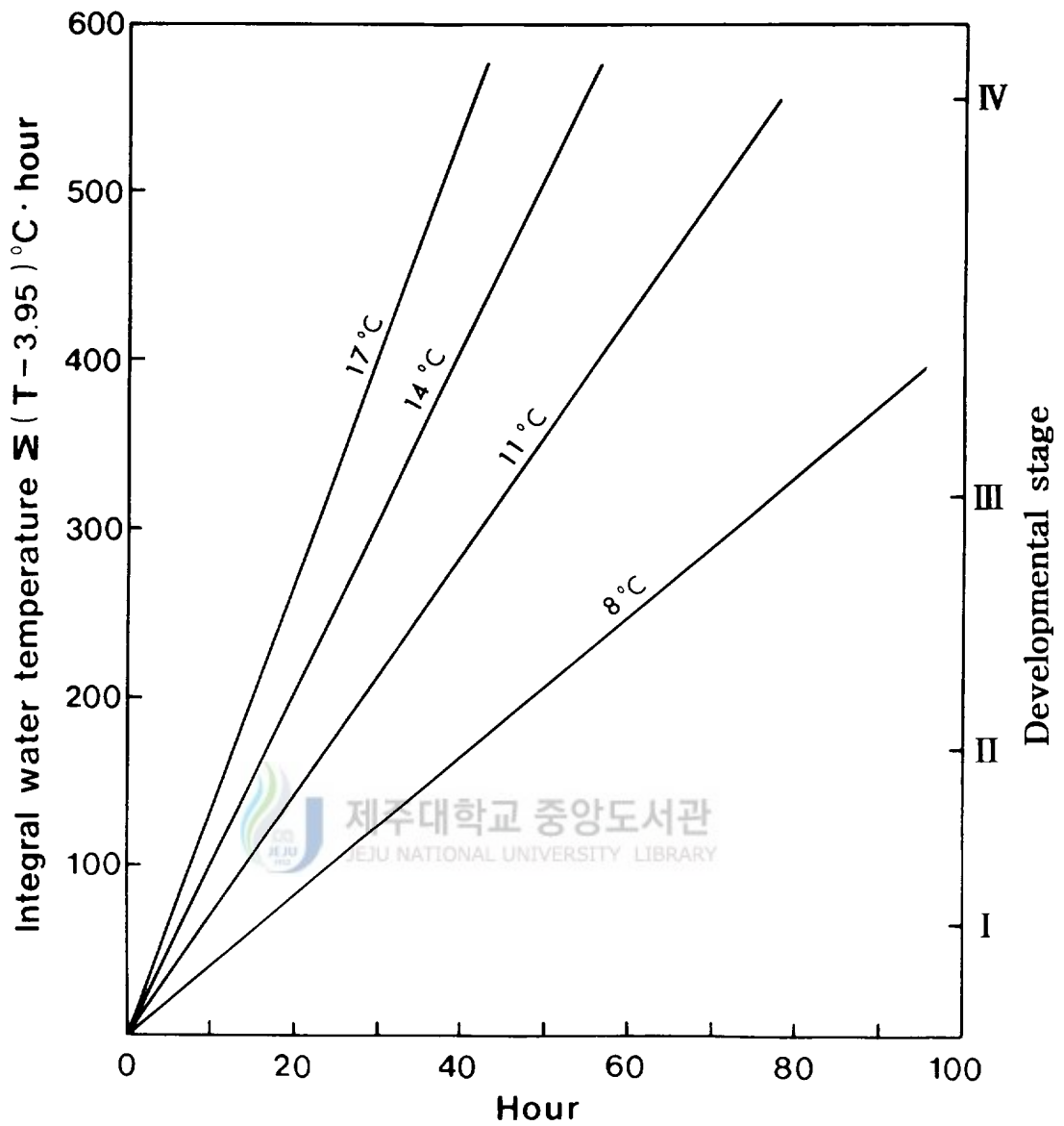


Fig. 35. Relationship between required time to each developmental stage and integral water temperature. I: 8 cell; II: Blastula; III: Trochophore; IV: D-shaped larva.

Table 14. Elapsed days from D-shaped larva to the full-grown stage in various temperature regimes

Temperature (°C)	Elapsed day				Full-grown stage
	D-shaped larva		Umbo-stage		
	Early stage	Later stage	Early stage	Later stage	
8	5	14	19	27	45
11	3	9	15	23	36
14	3	6	10	17	30
17	2	4	6	10	-



이 관계식에 의해 卵發生이 進展되지 않는 生物學的 基礎水溫의 평균은 3.82 °C였으며, 水溫別 各 發生段階에 이르기 까지의 소요되는 시간에서 生物學的 基礎水溫을 公제한 水溫의 時間的 積算値로부터 얻은 發生段階와 水溫別 積算溫度를 Fig. 35에 나타내었으며, 이것으로 幼生飼育 水溫에 따른 卵發生速度를 알 수 있다.

코끼리조개의 D상 幼生の 성숙자패까지의 水溫에 따른 발생속도에 대해서는 Table 14에서 보는 바와 같다. D상 幼生이 출현하는데는 水溫이 높을수록 소요기간이 짧아져, 8 °C에서는 受精 후 5日(부화 후 3日)이 소요되는 반면 17 °C에서는 2日이 소요되었다. 成熟幼生(full-grown stage)으로 變態하는데는 8 °C에서 受精 후 45日(부화 후 43日)이 소요되었고 11~14 °C에서는 30~36日이 所要되었으며, 17 °C에서는 成熟仔貝期까지 도달하지 못하고 全量 斃死되었다.

8. 幼生飼育

1) 水溫

飼育水 1 ml當 1個體의 密度로 收容한 코끼리조개 幼生의 水溫에 따른 殼長의 成長은 Fig. 36에서 보는바와 같다. 水溫 17 °C에서 成長이 가장 빨라 부화 후 3日째에는 殼長이 122.5 μm였고, 부화 7日째에는 142.2 μm, 13日째에는 164.5 μm로 成長하였으나 그 이후에 全量 斃死하였다. 水溫 14 °C에서는 부화 3日째에 118.2 μm에서 15日째에 159.5 μm로 成長하였으며, 21日째에는 173.5 μm로 成長하였다. 水溫 11 °C에서는 부화 후 3日째 114.5 μm, 15日째에 150.1 μm, 21日째에는 160.3 μm로 成長하였으며, 水溫 8 °C에서 飼育한 코끼리조개 幼生은 부화 후 3日째에 103.3 μm, 15日째에 130.2 μm, 21日째에는 140.2 μm으로 현저히 낮은 성장을 하였다.

飼育期間中の 각 水溫에 따른 殼長의 成長率(specific growth rate: K) 및 日間成長量은 Table 15 및 Fig. 37에서 보는 바와 같다.

水溫 17 °C에서의 各장의 成長率은 2.63~3.76(平均 3.11)의 範圍이고, 이 때의 各장의 日間成長量은 4.10~4.60 μm(平均 4.28 μm)의 範圍로서 가장 높았으며, 水溫 14 °C의 成長率은 1.29~3.27(평균 2.27)이고 日間成長量은 2.18~3.85 μm(평균 3.17 μm)로서 初期成長은 빠른편이었다. 11 °C에서는 成長率이 1.03~2.61(平均 1.88)로 日間成長量은 1.63~3.03 μm(平均 2.51 μm)였으며, 8 °C에서의 成長率이 1.30~2.51(平均 1.76)로 日間成長量은 1.78~2.60 μm(平均 2.09 μm)의 범위에 불과하여 全飼育期間中 가장 낮은 成長을 나타내었다.

코끼리조개 幼生의 殼長 成長을 8~11 °C, 11~14 °C, 14~17 °C, 8~17 °C의 4個 溫度區間別로 受精 후 經過日數에 따른 溫度反應係數를 조사한 결과는 Table 16에서 보는 바와 같다.

全飼育期間中の 殼長 成長에 미치는 溫度反應係數는 11~14 °C에서 1.9434로 가장 높았고, 다음이 8~11 °C로 1.9183이었으며, 14~17 °C에서는 1.3320으로 가장 낮았다. 飼育日數에 따른 溫度反應係數가 가장 높은 시기는 8~11 °C에서 부화후 17日째에 2.8307, 11~14 °C에서는 11日째에 2.8877, 14~17 °C에서는 7日째에 1.5920, 8~17 °C

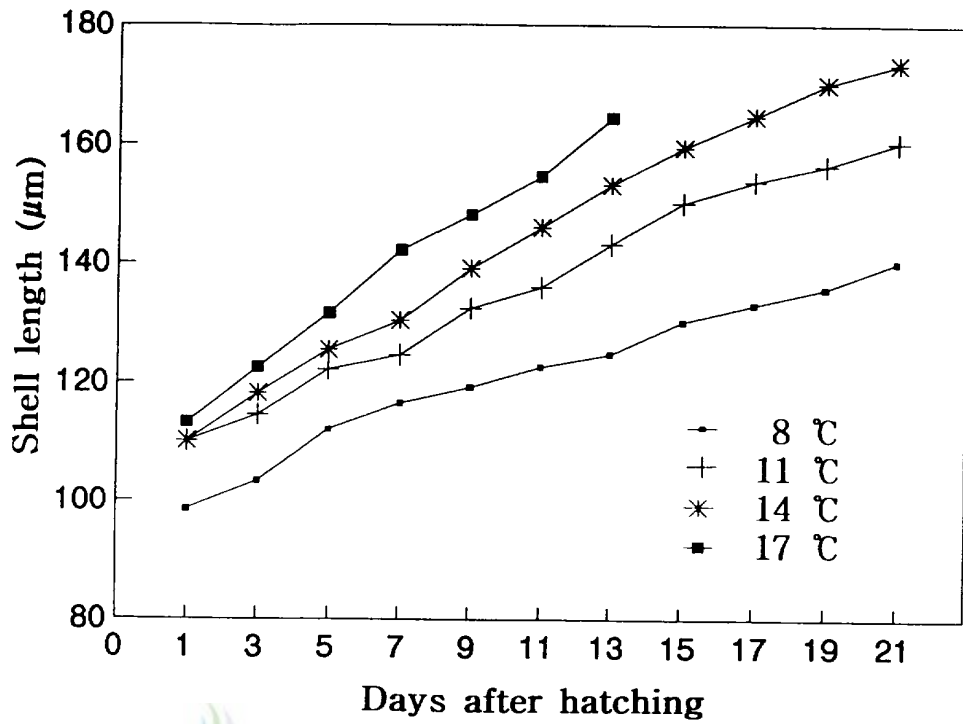


Fig. 36. Comparison of shell length growth of *Panope japonica* larvae reared in various water temperature regimes.

Table 15. Daily increment and specific growth rate of shell length of *Panope japonica* larvae reared in various water temperature regimes

Water Temperature (°C)	Rearing periods	Days of reared	Shell length (μm)		Specific growth rate (K)	Daily increment (μm/day)
			Initial	Final		
8	1 ~ 5	4	98.5	108.9	2.51	2.60
	5 ~ 9	4	108.9	119.2	2.26	2.58
	9 ~ 13	4	119.2	126.3	1.45	1.78
	13 ~ 17	4	126.3	133.1	1.31	1.70
	17 ~ 21	4	133.1	140.2	1.30	1.78
	1 ~ 21	20	98.5	140.2 ^a	1.76	2.09
11	1 ~ 5	4	110.1	122.2	2.61	3.03
	5 ~ 9	4	122.2	132.4	2.00	2.55
	9 ~ 13	4	132.4	143.2	1.96	2.70
	13 ~ 17	4	143.2	153.8	1.79	2.65
	17 ~ 21	4	153.8	160.3	1.03	1.63
	1 ~ 21	20	110.1	160.3 ^{ab}	1.88	2.51
14	1 ~ 5	4	110.1	125.5	3.27	3.85
	5 ~ 9	4	125.5	140.1	2.75	3.65
	9 ~ 13	4	140.1	153.2	2.23	3.28
	13 ~ 17	4	153.2	164.8	1.82	2.90
	17 ~ 21	4	164.8	173.5	1.29	2.18
	1 ~ 21	20	110.1	173.5 ^b	2.27	3.17
17	1 ~ 5	4	113.2	131.6	3.76	4.60
	5 ~ 9	4	131.6	148.1	2.95	4.13
	9 ~ 13	4	148.1	164.5	2.63	4.10
	1 ~ 13	12	113.2	164.5	3.11	4.28

Values in same columns having the different superscripts are significantly different (P<0.05).

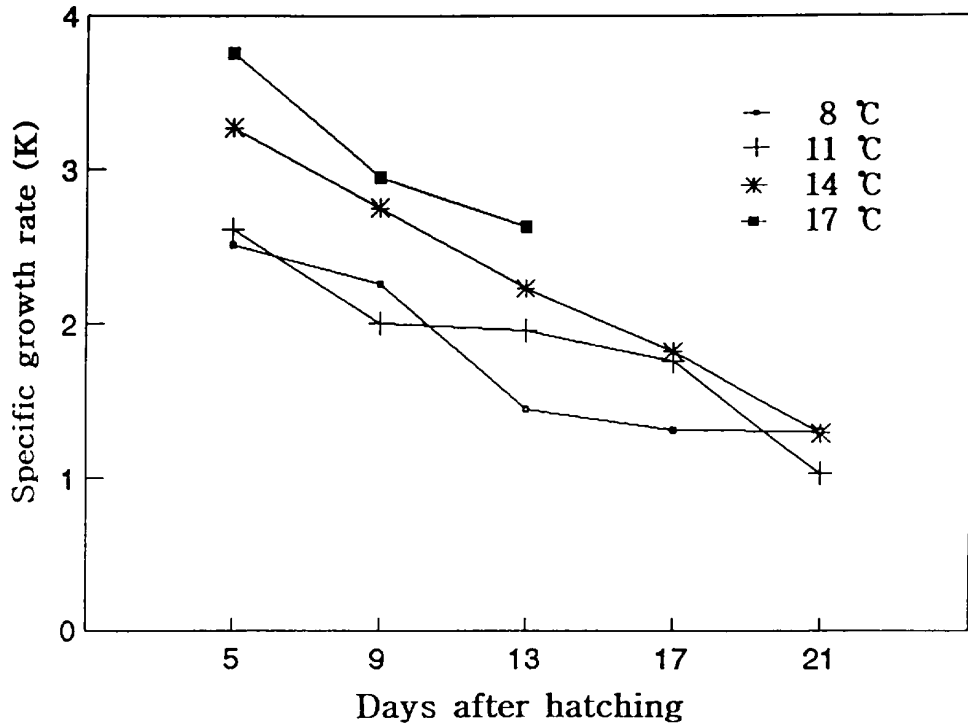


Fig. 37. Variation of specific growth rate of shell length of *Panope japonica* larvae reared in various water temperature regimes.



Table 16. Effect of temperature reaction rate (Q_{10}) on rearing days of *Panope japonica* larvae

Rearing period	Days of rearing	Q_{10}			
		8~11°C	11~14°C	14~17°C	8~17°C
1 ~ 5	4	1.1389	2.1185	1.5920	1.5060
5 ~ 9	4	0.6657	2.8877	1.2634	1.3441
9 ~ 13	4	2.7305	1.5369	1.1408	1.6171
13 ~ 17	4	2.8307	1.0569	-	-
17 ~ 21	4	0.4606	2.1160	-	-
1 ~ 21	20	1.9183	1.9432	1.3320	1.6765

는 15日째에 1.6171로 溫度區間別로 뚜렷하지는 않았다.

부화 후 21日째까지의 飼育期間中 各 水溫에 따른 幼生의 生存率은 Fig. 38에서 보는 바와 같이 水溫 14 ℃에서 가장 높은 16.2%였고, 다음은 水溫 11 ℃로서 11.5%였으며, 17 ℃에서는 15日째 9.6%로 급격한 감모를 보이다가 17日째에 全量 斃死하였다. 8 ℃에서는 부화후 5日째까지 68.2%로 生存率이 비교적 높았으나 13日 이후부터는 다른 水溫條件에 비하여 훨씬 낮은 生存率을 보였다.

飼育期間中の 水溫에 따른 日間生存率과 日間斃死率의 變化는 Table 17 및 Fig. 39에서 보는 바와 같다. 水溫 8 ℃에서의 日間生存率은 0.8749, 日間斃死率은 0.1251이었으며, 最大日間生存率은 5日째 0.9087, 最大日間斃死率은 21日째에 0.1497이었다. 11 ℃에서의 日間生存率은 0.8975, 日間斃死率은 0.1025이고, 최대日間生存率은 13日째에 0.9054, 最大日間斃死率은 17日째에 0.0981로 비교적 낮았다. 14 ℃의 日間生存率은 0.9130으로 가장 높았고, 日間斃死率은 0.0870으로 가장 낮았으며, 最大日間生存率은 21日째에 0.9316, 最大日間斃死率은 13日째에 0.1184이었다. 17 ℃에서는 飼育期間中에 全量 斃死하였기 때문에 生存期間 동안의 日間生存率은 0.8226으로 가장 낮았고, 日間斃死率은 0.1774로 가장 높았다.

2) 먹이생물

코끼리조개 부유기幼生의 먹이생물로 *Chaetoceros calcitrans*, *Pavlova lutheri*, *Isochrysis galbana* 3種의 單獨供給 試驗區와 *Ch. calcitrans* + *P. lutheri*, *I. galbana* + *P. lutheri*, *I. galbana* + *Ch. calcitrans*의 2種을 混合한 3가지의 混合試驗區에서 殼長의 成長결과는 Fig. 40에서 보는바와 같다.

코끼리조개 부유기幼生의 먹이종류에 따른 成長은 부화로부터 21日間에 걸쳐 *I. galbana* + *Ch. calcitrans*를 混合공급한 시험구가 가장 빨라서 부화 후 13日째에는 164.5 μm , 21日째에는 185.2 μm 로 成長하였다. 그 다음으로는 *I. galbana* + *P. lutheri*의 混合區와 *I. galbana*의 單獨區가 21日째에 각각 180.8 μm , 178.9 μm 였으며, *Ch. calcitrans* + *P. lutheri*의 混合區는 165.8 μm 로 다른 混合區에 비하여 훨씬 成長이 낮았고, *Ch. calcitrans*의 單獨區는 160.3 μm 로 成長이 가장 저조하였다.

飼育期間中の 각 먹이에 따른 殼長의 成長率과 日間成長量은 Table 18에서 보는

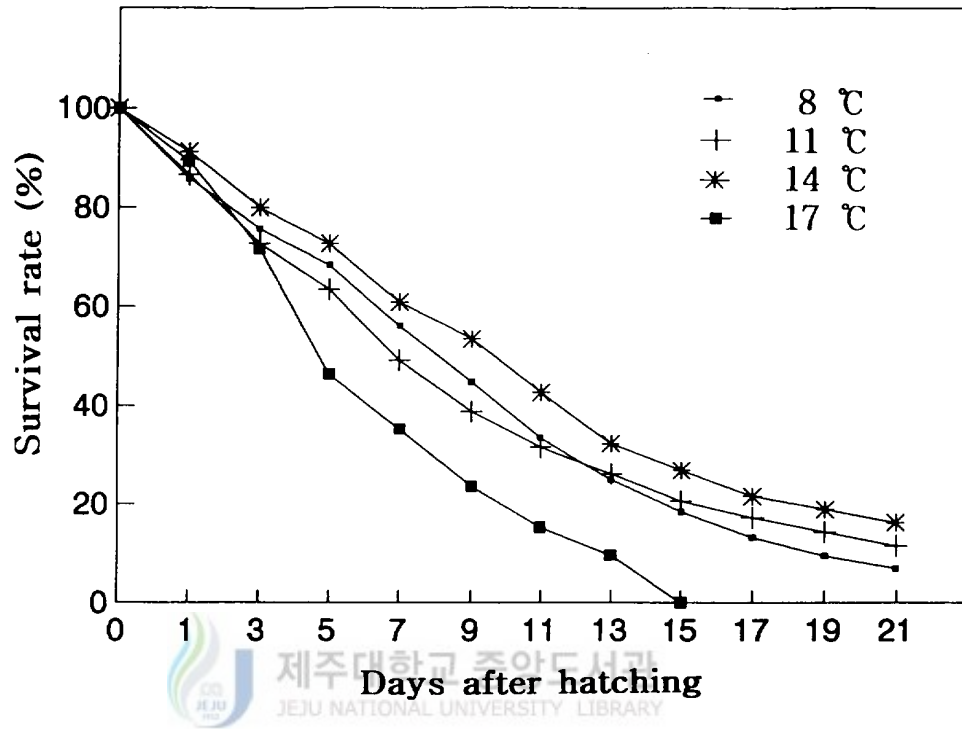


Fig. 38. Comparison of survival rate of *Panope japonica* larvae reared in various water temperature regimes.

Table 17. Survival rate and mortality of *Panope japonica* larvae reared in various water temperature regimes

Water Temperature (°C)	Rearing period	Days of rearing	Number of larvae		Daily survival rate	Daily death rate	Survival rate (%)
			Initial	Final			
8	1 ~ 5	4	50,000	34,100	0.9087	0.0913	68.2
	5 ~ 9	4	34,100	22,350	0.8998	0.1002	44.7
	9 ~ 13	4	22,350	12,450	0.8640	0.1360	24.9
	13 ~ 17	4	12,450	6,600	0.8533	0.1467	13.2
	17 ~ 21	4	6,600	3,450	0.8503	0.1497	6.9 ^a
	1 ~ 21	20	50,000	3,450	0.8749	0.1251	
11	1 ~ 5	4	50,000	31,650	0.8920	0.1080	63.3
	5 ~ 9	4	31,650	19,350	0.8843	0.1157	38.7
	9 ~ 13	4	19,350	13,000	0.9054	0.0946	26.0
	13 ~ 17	4	13,000	8,600	0.9019	0.0981	17.2
	17 ~ 21	4	8,600	5,750	0.9043	0.0957	11.5 ^{ab}
	1 ~ 21	20	50,000	5,750	0.8975	0.1025	
14	1 ~ 5	4	50,000	36,250	0.9227	0.0773	72.5
	5 ~ 9	4	36,250	26,650	0.9260	0.0740	53.3
	9 ~ 13	4	26,650	16,100	0.8816	0.1184	32.2
	13 ~ 17	4	16,100	10,750	0.9039	0.0961	21.5
	17 ~ 21	4	10,750	8,100	0.9316	0.0684	16.2 ^b
	1 ~ 21	20	50,000	8,100	0.9130	0.0870	
17	1 ~ 5	4	50,000	23,150	0.8249	0.1751	46.3
	5 ~ 9	4	23,150	11,750	0.8441	0.1559	23.5
	9 ~ 13	4	11,750	4,800	0.7995	0.2005	9.6
	13 ~ 15	-	4,800	0	-	-	0
	1 ~ 13	12	50,000	4,800	0.8226	0.1774	

Values in same columns having the different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

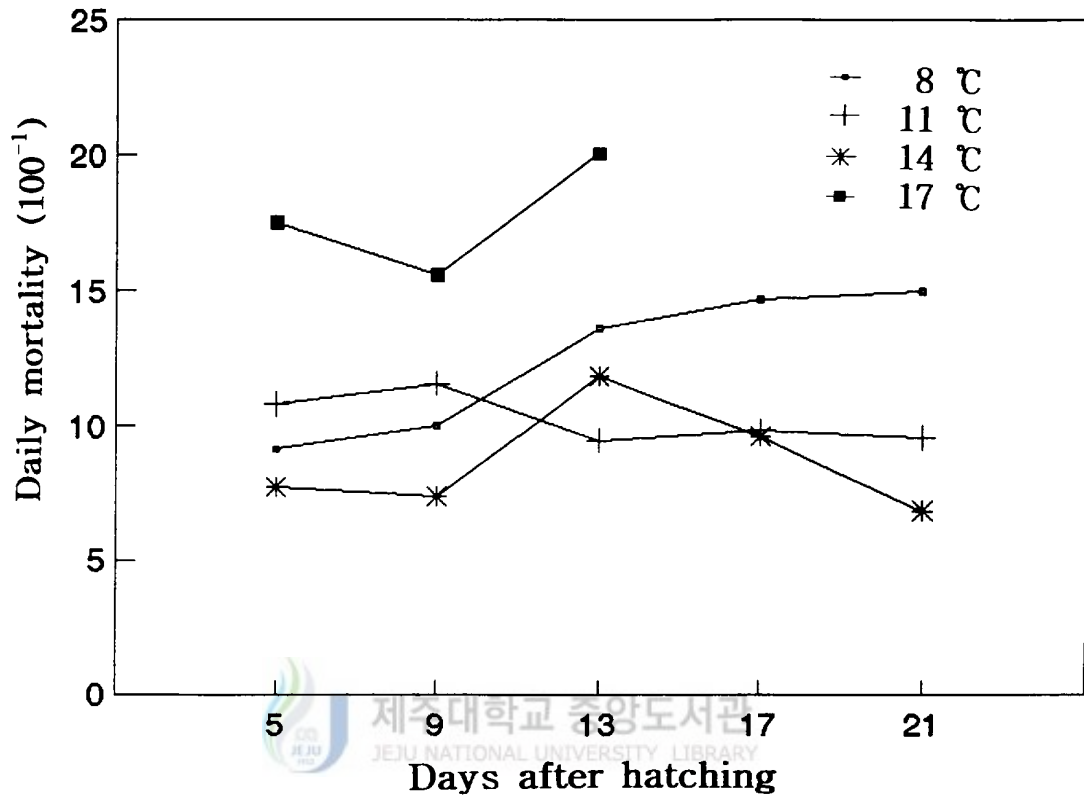


Fig. 39. Variation of daily mortality of *Panope japonica* larvae in various water temperature regimes.

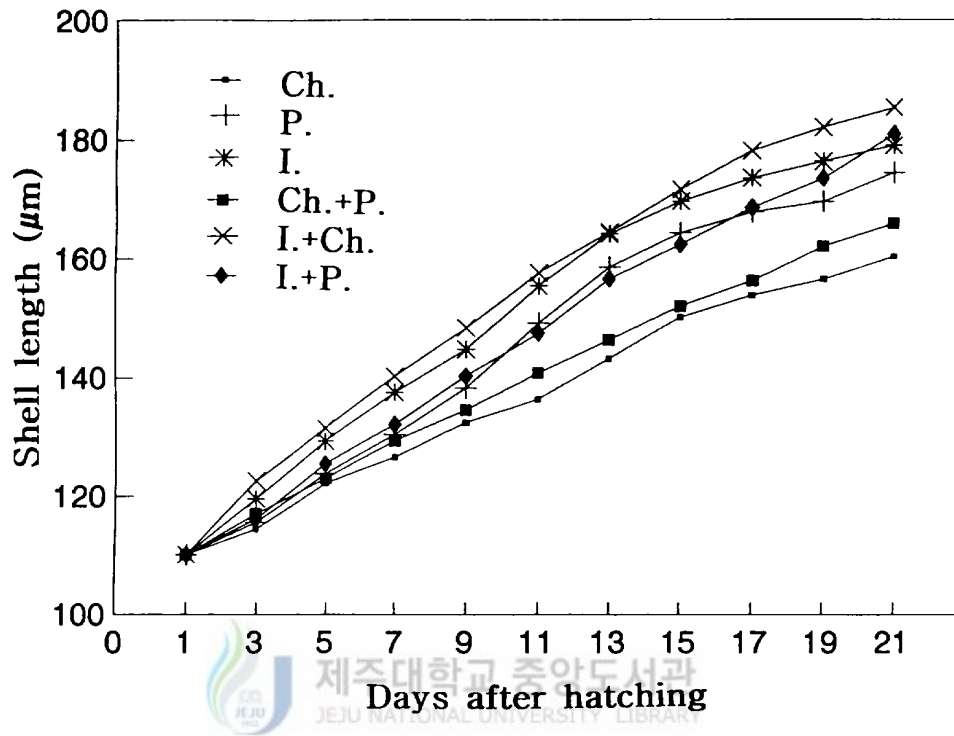


Fig. 40. Comparison of shell length growth of *Panope japonica* larvae reared by various phytoplankton feeds. Ch.: *Chaetoceros calcitrans*; P.: *Pavlova lutheri*; I.: *Isochrysis galbana*.

바와 같다.

飼育期間中 成長率은 *I. galbana*의 單獨區와 이를 混合한 混合區에서는 2.43~2.60으로 높은 반면, *Ch. calcitrans*의 單獨區와 *Ch. calcitrans* + *P. lutheri*의 混合區는 1.88~2.05로 저조하였으며, 飼育시기별 最大成長率은 全試驗區에서 5日째에 최대였다. 日間成長量에서도 *I. galbana* + *P. lutheri*와 *I. galbana* + *Ch. calcitrans*의 混合區에서 3.54~3.76 $\mu\text{m}/\text{day}$ 로 가장 높았으며, *Ch. calcitrans* + *P. lutheri*의 混合區와 *Ch. calcitrans*의 單獨區에서 각각 2.79 $\mu\text{m}/\text{day}$, 2.51 $\mu\text{m}/\text{day}$ 로 가장 저조하였다. 飼育시기별 最大日間成長量은 *I. galbana*와 *P. lutheri*의 單獨區를 제외하고는 모두 5日째에 최대였다.

먹이에 따른 幼生の 生存率은 Fig. 41에서와 같이 5日째까지는 *Ch. calcitrans*의 單獨區를 제외하고는 모두 60% 이상인 61.5~73.3%범위였다. 21日째에는 *I. galbana* + *Ch. calcitrans*의 混合區가 24.2%로 가장 높았고, *I. galbana*의 單獨區는 20.5%, *I. galbana* + *Ch. calcitrans*의 混合區와 *P. lutheri*의 單獨區에서 각각 16.2%, 15.6%였으며, *Ch. calcitrans*의 單獨區와 *Ch. calcitrans* + *P. lutheri*의 混合區는 각각 11.5%, 9.8%로 가장 저조한 生存率을 보였다.

飼育期間中 먹이생물에 따른 日間生存率과 日間斃死率의 變化는 Table 19 및 Fig. 42와 같이 日間生存率은 *I. galbana* + *Ch. calcitrans*의 混合區에서 0.9316으로 가장 높았고, 다음은 *I. galbana*의 單獨區와 *I. galbana* + *Ch. calcitrans*의 混合區順이며, *Ch. calcitrans* + *P. lutheri*의 混合區는 0.8904로서 가장 낮았다. 日間斃死率은 *Ch. calcitrans* + *P. lutheri*의 混合區에서 0.1096으로 가장 높았으며 *I. galbana* + *Ch. calcitrans*의 混合區는 0.0648로 가장 낮았다.

3) 收容密度

사육수 1 ml當 1, 3, 5, 8個體 및 10個體씩을 收容하여 飼育한 밀도시험에서 幼生の 成長은 Fig. 43에서 보는 바와 같다.

幼生은 부화후 9日째까지의 平均殼長은 全試驗區에서 138.5~147.7 μm 로 別차이가 없었으나 13日째부터 成長차가 나타나기 시작하여 21日째에는 1個體구에서 188.9 μm 로 가장 빠른 成長을 보였고, 3個體區에서는 176.5 μm , 5個體區에서는 181.2 μm 이었

Table 18. Daily increment and specific growth rate of shell length of *Panope japonica* larvae fed by various food organisms

Food organism	Rearing period	Days of rearing	Shell length (μm)		Specific growth rate (K)	Daily increment ($\mu\text{m}/\text{day}$)
			Initial	Final		
<i>Chaetoceros calcitrans</i>	1 ~ 5	4	110.1	122.2	2.61	3.03
	5 ~ 9	4	122.2	132.4	2.00	2.55
	9 ~ 13	4	132.4	143.2	1.96	2.70
	13 ~ 17	4	143.2	153.8	1.79	2.65
	17 ~ 21	4	153.8	160.3	1.03	1.63
	1 ~ 21	20	110.1	160.3 ^a	1.88	2.51
<i>Pavlova lutheri</i>	1 ~ 5	4	110.1	125.8	3.33	3.93
	5 ~ 9	4	125.8	141.2	2.89	3.85
	9 ~ 13	4	141.2	158.6	2.91	4.35
	13 ~ 17	4	158.6	167.8	1.41	2.30
	17 ~ 21	4	167.8	174.4	0.96	1.65
	1 ~ 21	20	110.1	174.4 ^{ab}	2.30	3.22
<i>Isochrysis galbana</i>	1 ~ 5	4	110.1	129.3	4.02	4.80
	5 ~ 9	4	129.3	144.7	2.81	3.85
	9 ~ 13	4	144.7	164.2	3.16	4.88
	13 ~ 17	4	164.2	173.5	1.38	2.33
	17 ~ 21	4	173.5	178.9	0.77	1.80
	1 ~ 21	20	110.1	178.9 ^{bc}	2.43	3.44

Table 18. (Continued)

Food organism	Rearing period	Days of rearing	Shell length (μm)		Specific growth rate (K)	Daily increment ($\mu\text{m}/\text{day}$)
			Initial	Final		
<i>Chaetoceros calcitrans</i> + <i>Pavlova lutheri</i>	1 ~ 5	4	110.1	123.0	2.77	3.23
	5 ~ 9	4	123.0	134.5	2.23	2.89
	9 ~ 13	4	134.5	146.3	2.10	2.95
	13 ~ 17	4	146.3	156.2	1.64	2.48
	17 ~ 21	4	156.2	165.8	1.49	2.40
	1 ~ 21	20	110.1	165.8 ^a	2.05	2.79
<i>Isochrysis galbana</i> + <i>Chaetoceros calcitrans</i>	1 ~ 5	4	110.1	131.5	4.44	5.35
	5 ~ 9	4	131.5	148.3	3.01	4.20
	9 ~ 13	4	148.3	164.5	2.59	4.05
	13 ~ 17	4	164.5	178.0	1.97	3.38
	17 ~ 21	4	178.0	185.2	0.99	1.80
	1 ~ 21	20	110.1	185.2 ^c	2.60	3.76
<i>Isochrysis galbana</i> + <i>Pavlova lutheri</i>	1 ~ 5	4	110.1	125.5	3.27	3.85
	5 ~ 9	4	125.5	140.2	2.77	3.68
	9 ~ 13	4	140.2	156.6	2.77	4.10
	13 ~ 17	4	156.6	168.5	1.83	2.98
	17 ~ 21	4	168.5	180.8	1.76	3.08
	1 ~ 21	20	110.1	180.8 ^{bc}	2.48	3.54

Values in same columns having the different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

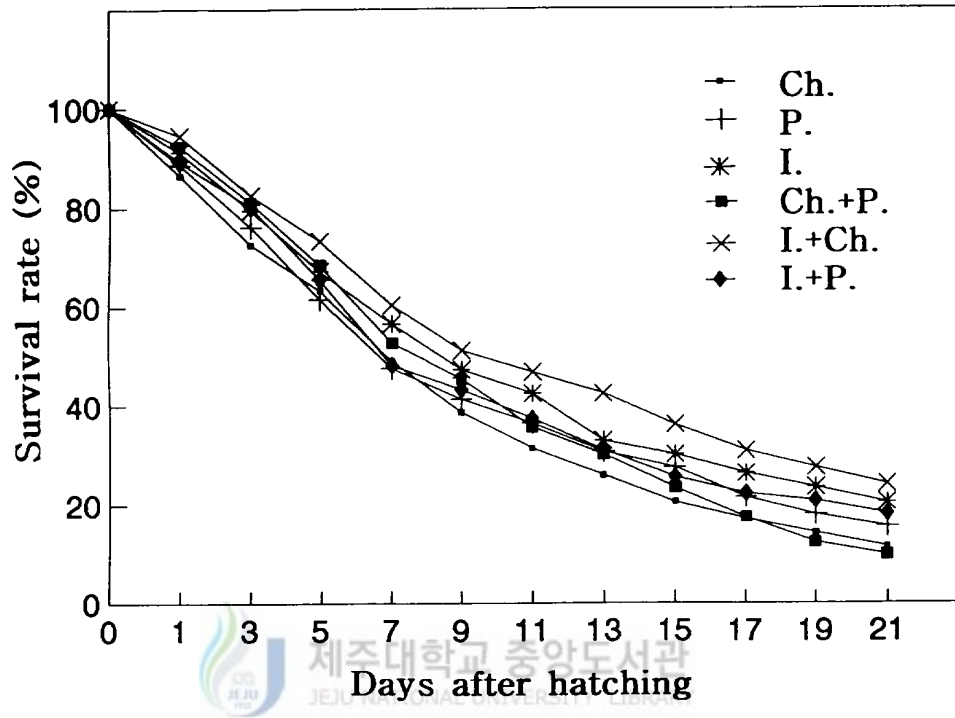


Fig. 41. Comparison of survival rate of *Panope japonica* larvae reared by various food organisms. Ch.: *Chaetoceros calcitrans*; P.: *Pavlova lutheri*; I.: *Isochrysis galbana*.

Table 19. Survival rate and mortality of *Panope japonica* larvae rearing by various food organisms

Food organism	Rearig period	Days of rearing	Number of larvae		Daily survival rate	Daily death rate	Survival rate (%)
			Initial	Final			
<i>Chaetoceros calcitrans</i>	1 ~ 5	4	10,000	5,630	0.8662	0.1338	56.7
	5 ~ 9	4	5,630	3,670	0.8985	0.1015	36.7
	9 ~ 13	4	3,670	2,300	0.8898	0.1102	23.0
	15 ~ 17	4	2,300	1,620	0.9161	0.0839	16.2
	17 ~ 21	4	1,620	1,150	0.9179	0.0821	11.5 ^{ab}
	1 ~ 21	20	10,000	1,150	0.8975	0.1025	
<i>Pavlova lutheri</i>	1 ~ 5	4	10,000	6,150	0.8856	0.1144	61.5
	5 ~ 9	4	6,150	4,130	0.9053	0.0947	41.3
	9 ~ 13	4	4,130	3,080	0.9293	0.0707	30.8
	13 ~ 17	4	3,080	2,150	0.9140	0.0860	21.5
	17 ~ 21	4	2,150	1,560	0.9229	0.0771	15.6 ^{bc}
	1 ~ 21	20	10,000	1,560	0.9113	0.0887	
<i>Isochrysis galbana</i>	1 ~ 5	4	10,000	6,720	0.9058	0.0946	67.2
	5 ~ 9	4	6,720	4,730	0.9159	0.0841	47.3
	9 ~ 13	4	4,730	3,300	0.9139	0.0861	33.0
	13 ~ 17	4	3,300	2,640	0.9457	0.0543	26.4
	17 ~ 21	4	2,640	2,050	0.9388	0.0612	20.5 ^{cd}
	1 ~ 21	20	10,000	2,050	0.9239	0.0761	

Table 19. (Continued)

Food organism	Rearig period	Days of rearing	Number of larvae		Daily survival rate	Daily death rate	Survival rate (%)
			Initial	Final			
<i>Chaetoceros calcitrans</i> + <i>Pavlova lutheri</i>	1 ~ 5	4	10,000	6,850	0.9097	0.0903	68.5
	5 ~ 9	4	6,850	4,540	0.9023	0.0977	45.4
	9 ~ 13	4	4,540	3,020	0.9031	0.0969	30.2
	15 ~ 17	4	3,020	1,750	0.8725	0.1275	17.5
	17 ~ 21	4	1,750	980	0.8650	0.1350	9.8 ^a
	1 ~ 21	20	10,000	980	0.8904	0.1096	
<i>Isochrysis galbana</i> + <i>Chaetoceros calcitrans</i>	1 ~ 5	4	10,000	7,330	0.9252	0.0748	73.3
	5 ~ 9	4	7,330	5,120	0.9142	0.0858	51.2
	9 ~ 13	4	5,120	4,250	0.9545	0.0455	42.5
	13 ~ 17	4	4,250	3,100	0.9241	0.0759	31.0
	17 ~ 21	4	3,100	2,420	0.9400	0.0600	24.2 ^d
	1 ~ 21	20	10,000	2,420	0.9316	0.0648	
<i>Isochrysis galbana</i> + <i>Pavlova lutheri</i>	1 ~ 5	4	10,000	6,550	0.8996	0.1004	65.5
	5 ~ 9	4	6,550	4,330	0.9017	0.0983	43.3
	9 ~ 13	4	4,330	3,110	0.9206	0.0794	31.1
	13 ~ 17	4	3,110	2,030	0.8989	0.1011	20.3
	17 ~ 21	4	2,030	1,620	0.9452	0.0548	16.2 ^{bc}
	1 ~ 21	20	10,000	1,620	0.9130	0.0870	

Values in same columns having the different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

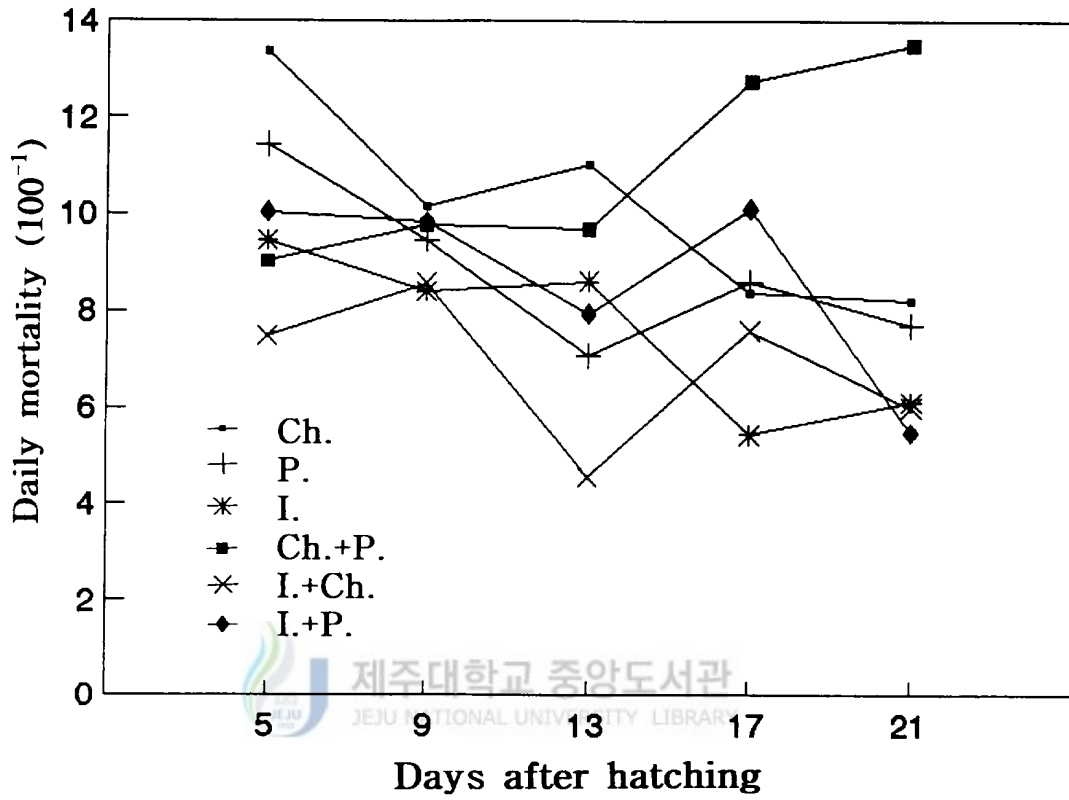


Fig. 42. Variation of daily mortality of *Panope japonica* larvae reared by food organisms. Ch.: *Chaetoceros calcitrans*; P.: *Pavlova lutheri*; I.: *Isochrysis galbana*.

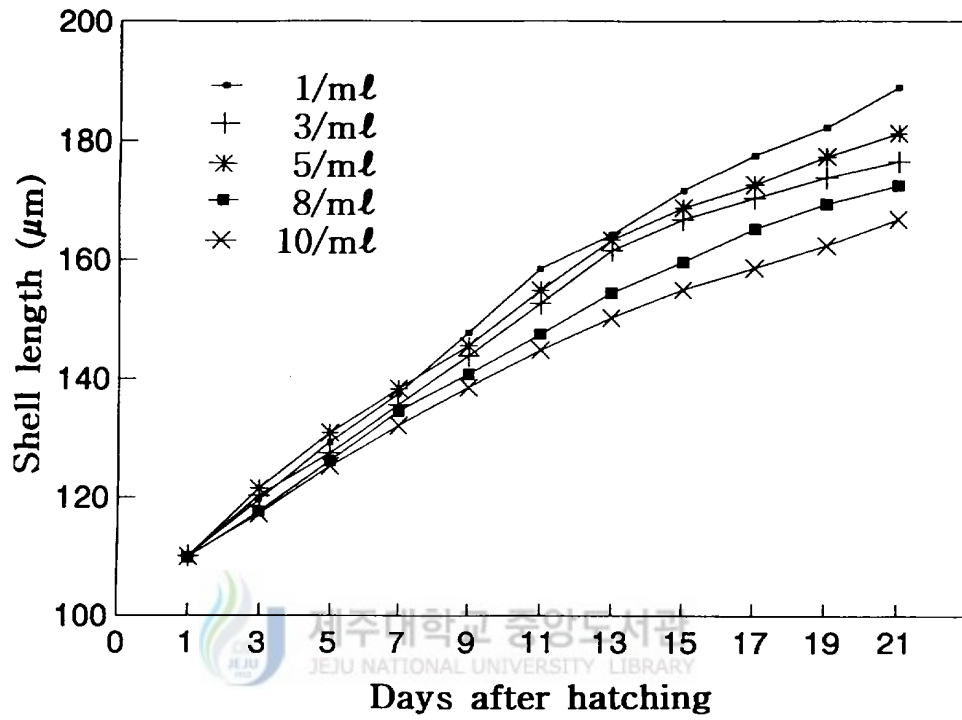


Fig. 43. Comparison of shell length growth of *Panope japonica* larvae reared in various density conditions.

으며 그리고 8個體區와 10個體區에서는 각각 172.5 μm , 166.8 μm 로 저조한 成長을 보였다.

飼育期間中の 密度에 따른 般長의 成長率 및 日間成長量은 Table 20에서 보는 바와 같다.

密度 5個體 이하에서의 平均成長率은 2.36~2.70으로 높았고, 8個體區와 10個體區에서는 2.08~2.26으로 낮았으며 飼育時期別 最大成長率은 全試驗區에서 5日째 가장 높았다. 日間成長量에서도 5個體 이하에서 日間 3.32~3.95 μm 로 높았으며 最大日間成長量은 3個體區를 제외하고는 모두 5日째 가장 높았다.

生存率(Fig. 44)에 있어서 5日째까지는 72.1~80.3%로 큰차이가 없었으나 7日째부터 성장차가 뚜렷하여 21日째에는 1個體區에서 41.5%로 가장 높은 生存率을 보였고, 3個體區는 25.2%, 5個體區는 17.6%의 순이었으며, 10個體區에서는 5.4%로 가장 저조한 生存率을 나타내었다.

이것을 토대로하여 21일 사육후의 飼育密度別 幼生の 생존곡선을 구하여 보면(Fig. 45) $Y = -38.832x^2 + 442.672x + 471.522$ 와 같은 식으로 나타낼 수 있으며, 密度 5個體區에서 가장 많은 양을 생산할 수 있는 것으로 나타나 幼生の 最大生産을 위해서는 5個體 내외로 飼育하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

4) 通氣方法



코끼리조개의 幼生은 水溫 11 $^{\circ}\text{C}$ 일때 受精 후 3日이 경과되면 D상 幼生이 되고 이때부터 飼育水槽의 저층으로 점차 沈下하게 된다. 飼育水槽의 저면에는 幼生の 死體, 排泄物 그리고 攝取되지 않은 먹이생물등으로 細菌과 원생동물이 증식되고 수질이 악화되기 때문에 코끼리조개 幼生の 成長 및 生存에 큰영향을 미친다. 幼生飼育時 수조내의 공기공급 방법에 따라 上向噴射, 下向噴射 및 上向가두리식 등 3가지로 나누어서(Fig. 2) 비교飼育한 결과는 Fig. 46과 같다.

飼育試驗區別 般長 成長은 下向噴射式이 부화 후 13日째 158.2 μm , 21日째에는 177.3 μm 로 가장 成長이 양호하였으며, 다음으로는 上向가두리식으로 13日째 147.4 μm , 21日째에는 169.4 μm 로 成長하였고, 上向噴射式은 부화 후 13日째 145.4 μm , 21日째에는 164.1 μm 로 가장 저조하였다.

Table 20. Daily increment and specific growth rate of shell length of *Panope japonica* larvae reared in various density

Rearing density	Rearing period	Days of rearing	Shell length (μm)		Specific growth rate (K)	Daily increment ($\mu\text{m}/\text{day}$)
			Initial	Final		
1 (ind./ml)	1 ~ 5	4	110.1	129.3	4.02	4.80
	5 ~ 9	4	129.3	147.7	3.33	4.60
	9 ~ 13	4	147.7	164.2	2.65	4.13
	13 ~ 17	4	164.2	177.5	1.95	3.33
	17 ~ 21	4	177.5	188.9	1.56	2.85
	1 ~ 21	20	110.1	188.9 ^c	2.70	3.95
3 (inds./ml)	1 ~ 5	4	110.1	127.5	3.67	4.35
	5 ~ 9	4	127.5	143.8	3.01	4.08
	9 ~ 13	4	143.8	161.5	2.90	4.43
	13 ~ 17	4	161.5	170.4	1.34	2.23
	17 ~ 21	4	170.4	176.5	0.88	1.50
	1 ~ 21	20	110.1	176.5 ^{ab}	2.36	3.32
5 (inds./ml)	1 ~ 5	4	110.1	130.9	4.33	5.23
	5 ~ 9	4	130.9	145.5	2.64	3.65
	9 ~ 13	4	145.5	163.3	2.89	4.45
	13 ~ 17	4	163.3	172.6	1.38	2.33
	17 ~ 21	4	172.6	181.2	1.22	2.15
	1 ~ 21	20	110.0	181.2 ^{bc}	2.50	3.56
8 (inds./ml)	1 ~ 5	4	109.8	126.2	3.48	4.10
	5 ~ 9	4	126.2	140.7	2.72	3.63
	9 ~ 13	4	140.7	154.4	2.32	3.43
	13 ~ 17	4	154.4	165.2	1.69	2.70
	17 ~ 21	4	165.2	172.5	1.08	1.83
	1 ~ 21	20	109.8	172.5 ^{ab}	2.26	3.16
10 (inds./ml)	1 ~ 5	4	110.0	125.3	3.26	3.83
	5 ~ 9	4	125.3	138.5	2.50	3.30
	9 ~ 13	4	138.5	150.2	2.03	2.93
	13 ~ 17	4	150.2	158.6	1.36	2.10
	17 ~ 21	4	158.6	166.8	1.26	2.05
	1 ~ 21	20	110.0	166.8 ^a	2.08	2.84

Values in same columns having the different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

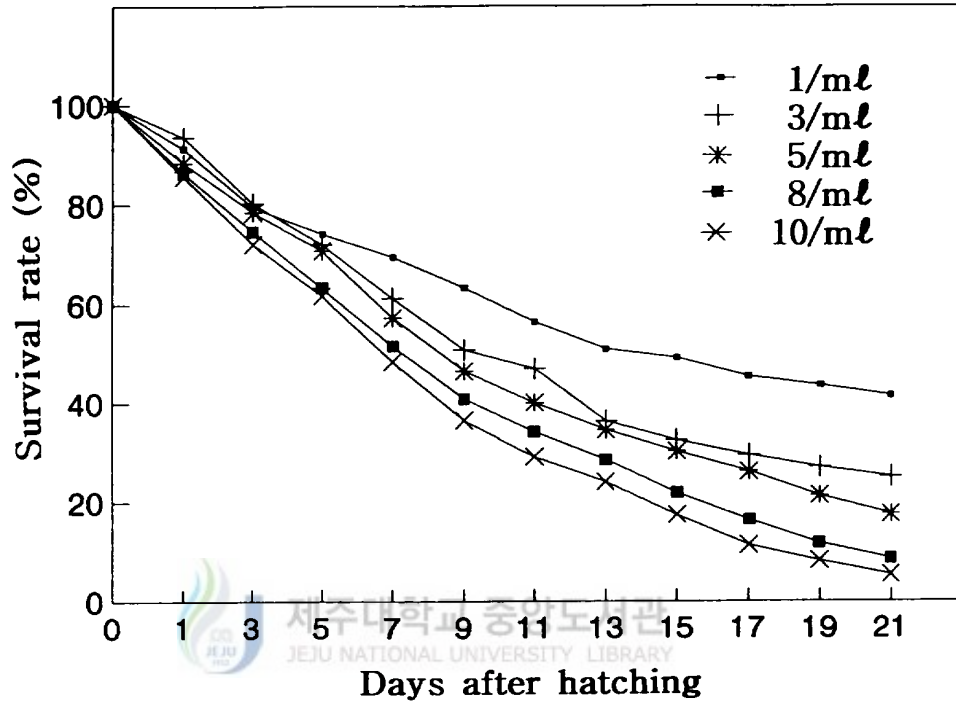


Fig. 44. Comparison of survival rate of *Panope japonica* larvae reared in various density conditions.

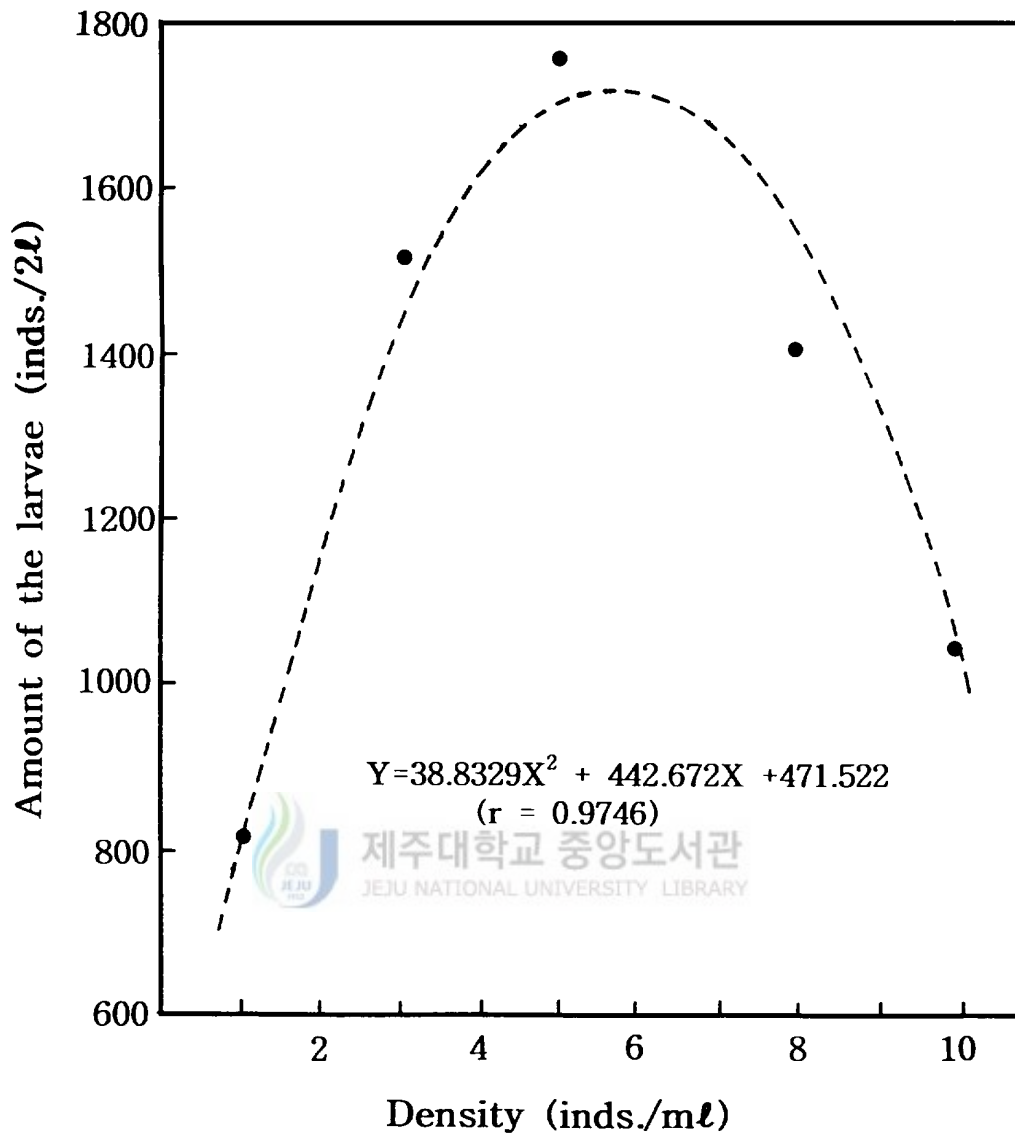


Fig. 45. Amount of the larvae reared for 21 days according to different density conditions.

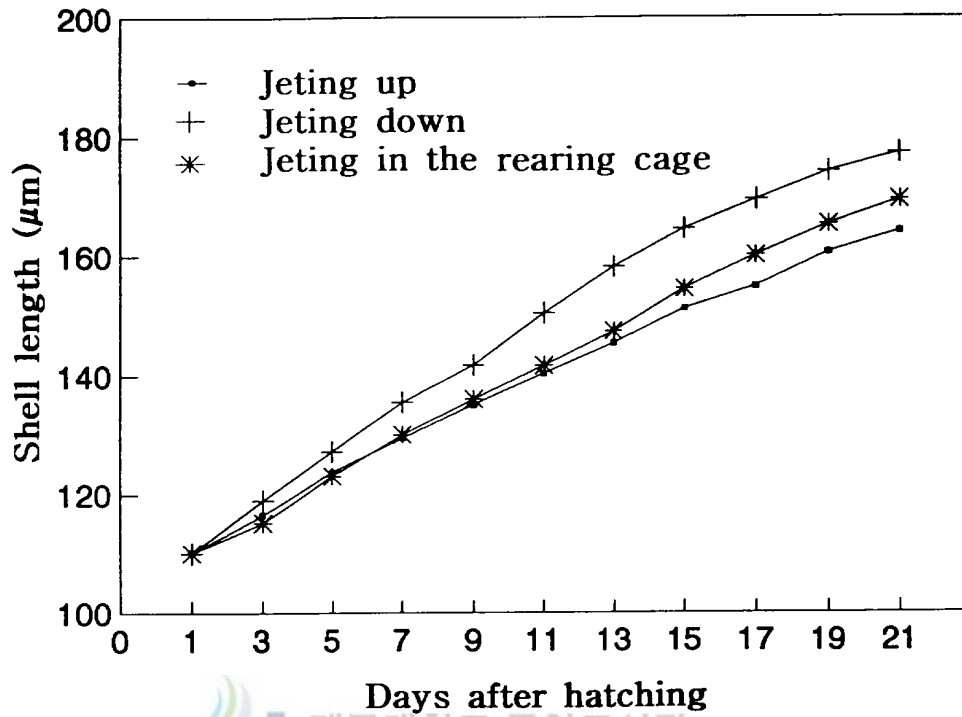


Fig. 46. Comparison of shell length growth of *Panope japonica* larvae reared by various methods of air supply (see Fig. 2 for detail).

또한 飼育期間中の 通氣方法에 따른 生存率은 Fig. 47에서와 같이 부화 후 5日째까지는 通氣方法에 따른 生存率 차가 적었으나 그 이후부터는 뚜렷하여 23日까지의 生存率은 下向噴射式이 18.9%로 가장 좋았으며 上向가두리식은 10.5%, 上向噴射式은 6.8%순 이었다.

9. 浮游幼生の 附着과 成長

코끼리조개의 浮游幼生은 成長에 따라 운동기관은 면반으로 부유생활을 하며 성장함에 따라 유영생활을 마치고 족사선에서 족사를 분비하여 고형물에 일시적으로 부착한 후 발이 발달하면서 저서생활로 移行하게 된다. 成熟期 幼生을 대상으로 附着試驗을 실시한 결과는 Table 21과 같다.

4月 15日 採卵한 幼生에 대해 부화후 33日째에 採苗資材로 염화비닐판, 합성그물 및 모래를 사용하여 採苗器 투입후 10日째 부착시험한 결과, 모래를 깔아 놓은 水槽에서 36.50%로 가장 양호하였으나 염화비닐판과 합성그물은 3.20~6.56%로 낮았다. 또한 염화비닐판의 설치방법별 부착율은 垂直式(3.72%)보다 水平式(6.56%)이 양호하였다. 채묘기까지의 자폐는 각장 240~260 μm 에서 대부분이 침착하고, 각장 270~300 μm 에서는 모든 개체가 부착하게 된다(Fig. 32. G).

3種의 채묘기질에 부착한 仔貝의 附着基質에 따른 成長과 生存率을 비교한 결과는 Table 22와 같다.

5月 30日부터 7月 12日까지 43日間の 飼育에서 모래에 부착한 稚貝의 殼長과 殼高는 1.76 mm와 0.97 mm였고, 日間成長量은 0.33 mm로 염화비닐판과 합성섬유에 비해 成長이 다소 빨랐으며, 生存率은 11.2%로 가장 높았다. 염화비닐판에서 水平 및 垂直採苗의 日間成長量과 生存率은 水平採苗한 것이 각각 0.032 mm, 9.6%로 垂直採苗의 0.027 mm, 7.5%에 비하여 훨씬 좋은 것으로 나타났다.

稚貝의 대부분은 부착기질에 부착하는데 부착한 稚貝는 이동이 가능하지만 移動에 의해 부착기에서 탈락하는 일은 거의 없었으며, 殼長 390 μm 정도에서는 점질이 약한 족사로 부착하고 이동은 거의 볼 수 없었다(Fig. 32. H).

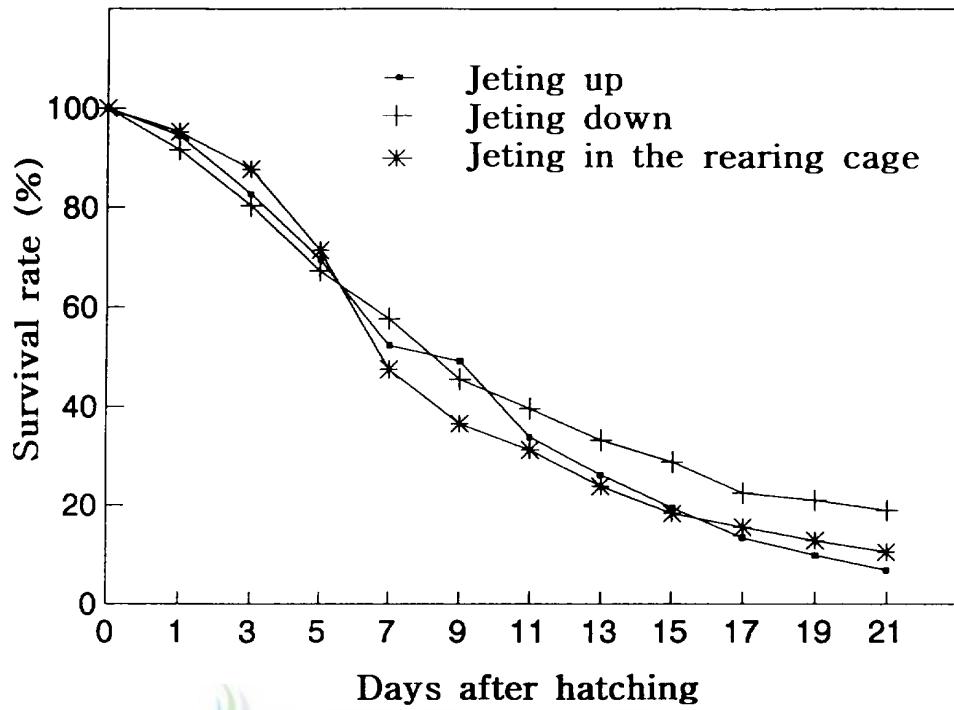


Fig. 47. Comparison of survival rate of *Panope japonica* larvae reared by various methods of air supply (see Fig. 2 for detail).

Table 21. Settling rate of *Panope japonica* larvae on the various collectors

Collectors	Hanging method of collectors	Tank capacity (ℓ)	Larvae			Settling			Mean shell length (mm)
			Number of larvae (inds.) (A)	Number of collectors (B)	Number of settling (inds.) (C)	Number of settling/collector (C/B)	Rate of settling (%) (C/A)		
Polyvinyl plate	Horizontal	500	50,000	90	3,280	36.4	6.56	0.30	
	Vertical	500	50,000	90	1,860	20.7	3.72	0.30	
Synthetic fiber net	-	500	50,000	10	1,650	16.5	3.20	0.29	
Sand bottom	-	500	50,000	-	18,250	-	36.50	0.32	

Table 22. Growth and survival rate of *Panope japonica* spat on the various collectors during 43 days after settlement (May 30 to July 12, 1994)

Collectors	Hanging method of collectors	Days of rearing	Initial (mm)		Final (mm)		Daily increment (mm/day)		Survival rate (%)
			Shell length	Shell height	Shell length	Shell height	Shell length	Shell height	
Polyvinyl plate	Horizontal	43	0.30	0.22	1.68	0.92	0.032	0.016	9.6
	Vertical	43	0.30	0.22	1.45	0.78	0.027	0.013	7.5
Synthetic fiber net	-	43	0.29	0.22	1.24	0.66	0.022	0.010	3.6
Sand bottom	-	43	0.32	0.23	1.76	0.97	0.033	0.017	11.2

한편 모래에 부착한稚貝가潛入할 때까지의經過日數에 따른成長과生存率을 보면 Table 23 및 Fig. 48에서와 같이沈着 후 11日째에는平均殼長 531 μm ,日間成長量 19.86 μm 였지만 32日째에는平均殼長 1161 μm 로 부착이 계속되었고,日間成長量은 35.28 μm 로 현저한成長하였다. 46日째는平均殼長 1910 μm ,日間成長量 62.29 μm 로 급격한成長하였고, 부착한稚貝의潛入은 39일째부터 시작되었다. 이 때의 최소크기는殼長 1500 μm 였고,殼長 1900 μm 가 되면 대부분이 모래속으로潛入을 완료하였다.

生存率은附着 후 4日째에 64.5%, 11日째에 48.6%로 절반 이상이斃死되었으나 그 후斃死量이 감소하여飼育終了時인 모래속으로 잠입하는 시기에는 10.4%의生存率을 보였다.

Table 23. Growth and survival rates of *Panope japonica* spat until infiltration after settlement on sand bottom

Date	Cumulative days of rearing	Shell length (μm) Range	Mean	Daily increment ($\mu\text{m}/\text{day}$)	Survival rate (%)	Days of fertilization	Attachment or infiltration state
May 30, 1994	0	284 ~ 356	320	-	100	45	Floating and sedimentation
June 3	4	308 ~ 445	392	18.00	64.5	49	Sedimentation
June 10	11	430 ~ 642	531	19.86	48.6	56	"
June 17	18	618 ~ 826	714	26.14	25.4	63	"
June 24	25	808 ~ 1,060	914	28.57	18.2	70	"
July 1	32	1,050 ~ 1,340	1,161	35.28	14.6	77	"
July 8	39	1,250 ~ 1,682	1,474	44.71	11.8	84	Sedimentation and infiltration
July 15	46	1,650 ~ 2,130	1,910	62.29	10.4	91	Infiltration

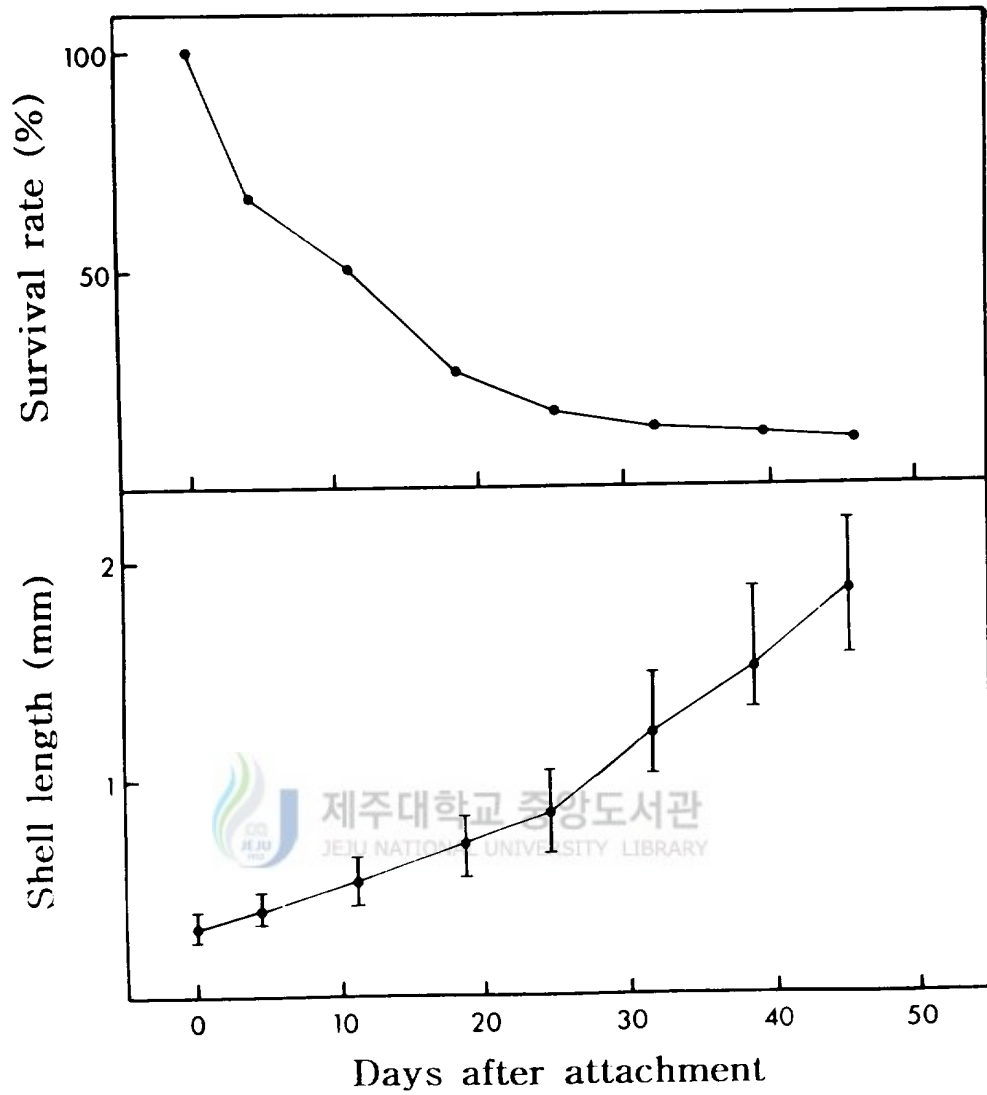


Fig. 48. Comparison of growth and survival rate of *Panope japonica* juveniles for 46 days of rearing.

IV. 考 察

生物에 影響을 미치는 環境要因으로는 水溫(Choi와 koh, 1990; 金 等, 1991), 鹽分(Lim 등, 1991), 溶存酸素(Sanders, 1968; Hong, 1987), 底質(Duineveld 등, 1991) 등 여러가지가 있다. 이 중 水溫의 경우는 代謝活動과 成長에 많은 影響을 미치게 되는 이 조사해역의 水溫은 5.6~17.5 °C인 점으로 보아 지역적인 수온범위 내에서 코끼리조개 사육의 生存과 生産性에 직접적인 큰 影響이 없는 것으로 보인다.

鹽分의 경우 全 期間을 통하여 32.27~34.22 ‰로서 表層은 계절적인 변동이 있었으나 코끼리조개가 서식하는 底層은 32.16~33.93 ‰의 안정적인 분포를 보이므로서 하구역에 주로 서식하는 우럭(*Mya arenaria*)의 平均鹽分 31.55 ‰(Ayers, 1956)보다 비교적 高鹽分域에 서식하는 것으로 나타났다.

海水域의 溶存酸素는 大氣中 酸素의 물 표면을 통한 용해, 조류 등에 의한 광합성, 동물의 호흡작용 등에 의해 변동한다. 일반적으로 해수 중의 溶存酸素는 수심에 따라 차이가 있으나 본 해역에서는 全 水層이 5~7 ml/l로 큰 變化는 없었으며 코끼리조개 서식에 적합한 환경이었다. 또한 동해안 연안은 외해와 접해 있어 파도의 影響을 많이 받으며 對流現狀이 잘 일어나는 곳으로 溶存酸素의 확산이 빠를 뿐만 아니라 營養鹽類에서도 비교적 安定상태를 보이고 있으며, 金 等(1991)이 東海岸 金鎭해역에서 조사한 결과와 유사한 濃度를 보였다.

모래속에서 潛入生活을 하는 조개류는 저질의 성상에 따라 분포가 좌우되며 種에 따라 固有의 粒度를 선택한다(秋山, 1988). 해역에 있어서의 粒度分布는 層別로 차이를 보이지 않았으며, 코끼리조개의 주 서식지의 底質은 3.0~4.0φ(0.125~0.062 mm)범위의 미세사질이 46.5~50.9%를 차지하는 미세한 모래층으로 북방대합(*Spisula sachalinensis*)의 2.0~3.0φ 내외(Sasaki, 1989)보다 세립질이며, Silt 또는 Clay상태(Goshima, 1982)에 서식하는 우럭(*Mya arenaria*)보다는 底質粒度가 큰것으로 나타났다.

潛水觀察에 의한 코끼리조개의 生活方式은 殼長 5 cm 이하의 小形貝는 대부분 底

質 5~10 cm층에 潛入하였고, 5~8 cm 크기는 5~20 cm 깊이, 10 cm 이상은 15~30 cm 깊이에 潛入하므로서 크기가 클수록 깊은 곳에 서식하는 것으로 나타났다. 한편 現場調査시 7月에서 9月까지 水溫이 16 °C 이상에서는 이들 대부분이 水管部를 수축시켜 底質속으로 潛入시키고 활동을 중지하는 반면, 水溫이 9~14 °C 범위인 4月에서 6月까지는 水管部를 底質위로 길게 뻗어 섭식활동을 활발히 하는 것으로 관찰되었다. 코끼리조개를 모래위로 노출시켰을 때 스스로 再 潛入을 하지 못하는 것으로 보아 稚貝단계에 한번 潛入한 이후에는 수평적으로 이동하지 못하고 한곳에서 계속 정착하는 것으로 생각된다.

二枚貝類는 入水管을 통하여 외투강내에 들어온 해수중에서 아가미 표면에 密生한 섬모와 점액에 의해서 미소한 생물이나 유기물입자를 여과해서 섭식하는 濾過攝食性 種類이다. 二枚貝類中에는 해저 表面 또는 底質中에 堆積한 유기물을 흡입하여 먹는 堆積物食者가 있지만 코끼리조개는 모래속에 묻혀 살면서 수관을 해지면 상부로 내어 플랑크톤을 포함하여 현탁물질중 유기물을 섭취하는 여과섭식자에 속한다.

柳(1960, 1962)는 동죽과 백합의 消化管 內容物 調査에서 비교적 단순한 형태의 플랑크톤이 식이되며, 그 크기는 긴것은 1 mm 이하, 둥근형은 지름 320 μm 이하라고 하였으며, Sasaki (1987)와 北海道水産試驗場(1963)은 북방대합의 消化管에서 출현한 종류는 규조류외에 有機物 粒子, 海綿類 骨片, 동물성플랑크톤 殼의 破片이나 棘, 二枚貝類의 浮游幼生이 출현하였다고 보고하였다. 본 조사에서 優占種으로 출현하는 種들은 *Coscinodiscus*, *Nitzschia*, *Skeletonema* 屬으로 柳(1960, 1962)의 보고와 類似하였으며, 內容物 出現種으로는 규조류가 87.9%로 대부분을 이루고 있으며 그의 동물성 플랑크톤이 출현하였으나 消化管内 먹이생물중 消化가 상당히 進展되어 형태 구분을 할수 없는 것도 나타나고 있어 이에 대한 계속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 여겨진다.

섭식활동의 變化에서 消化管 重量은 겨울부터 봄에 걸쳐 증가하였고 여름에는 가장 낮은 경향을 보였다. 이것은 生殖巢重量指數 變化에서와 같은 경향을 보이고 있으며, 동해안의 水溫 年變化와는 역상적인 年週期性을 보이고 있는데 그 원인으로는 여름철 고수온에서 生理活性이 활발하여 소화능력이 높고 겨울철에는 生理活性의 저하로 인한 소화능력이 낮기 때문(이, 1994)으로 推定된다.

濱本와 大林(1985)은 香川縣地先에서 飼育하던 코끼리조개는 水溫 21.6~23.4 °C에서 10日間 生存率이 45~75%라고 하였으며, 金 等(1991)은 강원연안에서 코끼리조개의 서식지 水溫이 7~16 °C 내외인 寒海性 貝類라 하였다.

본 연구에서는 水溫 5~20 °C 범위에서 10日동안 거의 100% 生存하였으나 23 °C 이상부터는 斃死가 급증하여 10日동안의 半致死溫度(LD₅₀-240 hr.)는 2.0~22.0 °C 범위로서 低溫에는 강한편이나 高溫에는 약한편을 보이고 있다.

복방대합은 低鹽分에 대한 耐性이 비교적 강하여 海水농도 20.1~33.5 ‰에서 20日동안 斃死가 없었다(安永, 1980). 그러나 코끼리조개는 鹽分 25~30 ‰에서는 10日동안 全量 生存하였으나 20 ‰에서는 10日째 30%만이 生存하였으며, 10日동안의 半致死 鹽分濃度 (LD₅₀-240 hr.)는 21.4~37.5 ‰로서 복방대합(安永, 1980)에 비하여 低鹽分에 약한편이었다. 이는 복방대합의 서식수심이 5~15 m로 연안수역에서 서식하지만 코끼리조개는 20~30 m 수역인 비교적 외해역에 서식하기 때문으로 생각된다.

酸素消費量은 일정온도 내에서 水溫에 비례하며(Gradner와 Leatham, 1914), 尾崎(1979)에 의하면 어떤 온도 이상이 되면 酸素消費量이 극대에 달하고 그 이후는 열장에, 열마취를 가져와 酸素消費는 급격히 감소하며 죽는다고 보고하고 있다. 코끼리조개는 寒海性으로 高水溫에 약한편이 있어 여름철 관리에 주의를 요하며, 특히 高水溫時 酸素消費量이 급증하여 水溫 15 °C에서는 8.12 ml/kg/hr.이던 것이 25 °C에서는 15.83 ml/kg/hr.로 급증하였다. 위의 결과로서 다른 種과의 溶存酸素消費 관련성을 비교 해보면, 코끼리조개의 산소소비는 활동성인 붕장어의 84.24 ml/kg/hr.(魏와 張, 1976) 보다는 크게 낮으나 기수성인 남방재첩의 3.0 ml/kg/hr.(Sung, 1972) 보다는 3배의 酸素가 요구되며, 피조개의 11.13 ml/kg/hr.(魏와 張, 1976)와는 비슷하였다.

코끼리조개의 産卵期에 관하여 濱本와 大林(1985)은 日本 備讚瀬戶 鹽飽諸島海域에서는 11월부터 産卵期라 하였고, 金 等(1991)은 강원도 옥계면 금진리 沿岸에서는 1~4월로 推定된다고 보고하였다.

본 연구에서는 코끼리조개의 産卵期를 알기 위하여 1992年~1993年에 걸쳐 生殖巢 重量指數를 조사한 결과 2月에는 암컷이 16.3, 수컷이 18.0이었으나 4月에는 암컷 26.9~28.2, 수컷 27.5~29.0으로 가장 높았으며, 6월 이후 암·수의 GSI는 급격히 감소하였다. 이 때의 卵徑變化는 12월부터 卵徑 30~50 μm의 卵母細胞가 다수 출현하기 시

작하여 3월에는 60 μm 이상의 卵이 대부분이었으나 7월 이후에는 完熟卵이 거의 관찰되지 않은점으로 미루어 보아 강원도 인구지선에 서식하는 코끼리조개의 産卵期는 3월부터 6월까지이며 主産卵期는 4월하순부터 5月中旬까지로 推定되어 濱本와 大林(1985)과 金等(1991)의 보고와 큰 차이를 나타내고 있는데 이는 緯度的인 差異와 棲息場의 먹이 및 생활환경적 요인이 다른데 기인하며, 추후 海域間의 産卵期 究明등 기초적인 생태연구가 시행되어야 할것으로 생각된다.

한편 코끼리조개의 生殖巢는 큰 구형으로 발달되어 있으며, 암컷은 乳白色이고 수컷은 옅은 갈색을 띠어 육안으로 識別이 可能(濱本와 大林, 1985; 金等, 1991)하다고 하였으나, 본 연구에서는 암·수의 生殖巢를 구분하여 현미경으로 관찰한 결과, 육안적인 관찰과는 상이한 것들이 나타나 코끼리조개 生殖巢의 암·수구별은 현미경적인 관찰을 통하지 않고서는 判別이 어려웠다.

월별 卵徑組成은 12월부터 生殖巢가 발달하여 3월에는 卵徑 60 μm 이상의 卵이 47.2%로 나타나고 4월에는 72.4%로 年中 最大를 보이다가 7월에 갑자기 11.8%로 감소하였다.

생식소발달에 따른 생식주기는 分裂增殖期(8~10月), 成長期(12~3月), 成熟期(2~4月), 放出期(4~5月), 回復期(6~8月)로 구분할 수 있다. 이상에서 生殖巢 重量指數, 卵徑組成 및 生殖週期를 종합할 때 코끼리조개의 산란기는 3~6월로 추정되며, 주산란기는 4월하순에서 5월중순으로 여겨진다. 貝類의 生殖巢 발달에 관여하는 營養細胞에 대해서는 북방대합(高橋와 高野, 1970; 高橋와 山本, 1970), 남방재첩(李와 鄭, 1980) 및 참담치(柳等, 1993 b) 등에서 보고된 바 있다. 코끼리조개의 경우도 eosin에 강하게 염색되는 호산성과립세포들이 退化 및 休止期 末期에 最大로 增殖하였다가 生殖巢 發達과 더불어 점차 그 數와 量이 減少되는 것으로 보아 營養細胞로 生殖巢 발달에 관여하는 것으로 생각된다.

二枚貝類의 産卵誘發 方法으로는 溫度刺戟(Loosanoff와 Davis, 1950; Kanno, 1962), 干出刺戟(柳等, 1993 b), 전기자극(Kanno, 1962) 등의 物理的 刺戟과 NH_4OH 처리, H_2O_2 처리, Na_4Cl 등에 의한 化學的 刺戟(Sagara, 1958; Iwata, 1971; 崔, 1975; Lee, 1976; Gibbons and Castagna, 1984; Crawford, 1986), 紫外線照射海水法(菊地와 浮, 1974; Lee와 Lee, 1981), 신경절현탁액자극(Morse 등, 1977; Matsutani와 Nomura,

1982; Osada 등, 1992; Michaelidis, 1993)등이 試圖되고 있다.

溫度刺戟은 總 9回 실시하여 암컷 3회, 수컷 5회의 방란·방정이 있었으며, 그중 가장 양호한 것은 水溫 14.4 ℃의 자연수에서 飼育하던 코끼리조개를 23.2 ℃로 상승시켰다가 14.4 ℃로 하강시킨 후 1시간뒤 다시 水溫上昇을 2回 반복하여 약 6萬粒의 受精卵을 얻을 수 있었다. 이로써 溫度刺戟에 의한 貝類의 産卵誘發에서 단일자극 보다는 反復刺戟이 효과가 있으며 溫度變化 폭의 크기에 따라 産卵誘發率이 좌우된다 (Kanno, 1962)는 보고와 잘 일치하고 있다. 한편 간출자극과 자외선 조사해수에 의한 자극은 거의 반응을 보이지 않으므로 실효성이 없는 것으로 나타났다.

코끼리조개와 生態적으로 유사한 왕우럭조개의 産卵誘發에 대하여는 일본에서 1980年 11月 14日에 防府産 어미로부터 干出刺戟 및 溫度刺戟에 의해 19마리중 암컷 2마리가 産卵하고 수컷은 反應이 없어 開腹하여 受精시킨 보고가 있으며(山口縣內海水産試驗場, 1981), 그의 대부분은 生殖巢切開에 의해 採卵 受精 시키고 있다(山口縣內海水産試驗場, 1982; 高見, 1983 a, b). 일반적으로 二枚貝의 受精은 自然産이나 人工刺戟에 의한 것이나 거의 대부분이 卵核胞(germinal vesicle)가 소실된 후에 정상적인 발생이 이루어 지는 것으로 알려지고 있으나(Loosanoff, 1954) 卵核胞의 有無에 관계없이 受精이 용이한 종도 있다(Allen, 1953; Dube, 1988; Clotteau와 Dube, 1993).

濱本와 大林(1985)은 코끼리조개의 生殖巢를 절개하여 왕우럭조개와 같은 방법으로 人工受精을 시도하였지만 부유유생을 얻지 못했다고 보고하였으나 본 연구에서는 生殖巢切開하여 15.0~45.0%의 높은 反應을 보여 濱本와 大林(1985)의 보고와 대조적이었는데 이는 卵의 成熟도가 충분하지 못할 경우 방란방정의 誘導效果가 좋지 못하므로 産卵時期, 卵摘出 및 受精方法 등에 의한 差異에서 오는 것으로 여겨지며, 卵이 完熟하면 인위적인 生殖巢 摘出로도 受精을 誘導할 수 있었다.

NH₄OH용액을 해수에 첨가하는 刺戟에서 木下 等(1943)은 큰가리비에 NaOH 나 NH₄OH의 영향으로 해수의 pH를 높이고 溫度를 상승시켜 産卵이 誘發되었다 하였고, Sagara (1958)는 동족에 NH₄OH 첨가의 경우 8/1000N 이하에서 방란방정이 일어난다고 보고하였으며, 본 연구에서는 8/1000N~10/1000N에서 가장 좋은 反應을 나타내어 Sagara (1958)와 같은 결과를 보였지만 키조개(鄭 等, 1986)에서는 이 刺戟으로 産卵誘發 效果를 보지 못하였다고 보고하여 종에 따라 相異함을 알 수 있다.

NH₄OH용액을 生殖巢에 注射하는 刺戟에서 崔(1975)는 大합과 加무락을 대상으로 産卵誘發을 시도하였는데 大합에서는 4/100N, 加무락에서는 3/100N에서 가장 좋은 결과를 얻었다고 하였으며, 본 연구에서는 5/100N~7/100N에서 좋은 反應을 보여 崔(1975)가 보고한 大합, 加무락 보다 높은 濃度에서 反應을 하였고, 鄭 等(1986)이 키조개를 대상으로 시험한 보고와는 유사한 경향을 가졌다.

이상의 결과에서 자극법에 의한 産卵誘發은 溫度刺戟法이 가장 양호하였으나 전체적으로 볼 때 母貝의 生殖소를 인위적으로 절개하여 人工受精시킨 것이 가장 좋은 성적을 보이므로서 코끼리조개의 산란유발은 生殖巢를 절개하여 人工受精시키는 것이 효과적이라 생각된다. 그러나 코끼리조개의 生殖巢는 貝殼과 외투막으로 덮혀있어 熟度判定에 어려움이 있으므로 모패활력과 산란시기를 정확히 판단하여야 하며, 보다 效率的인 産卵誘發 方法이 강구되어야 한다. 金후 Matsutani와 Nomura (1982)에 의해 가리비 産卵에 대한 신경전달물질 Serotonin (5-hydroxytryptamine)의 效果가 국제적으로 認定되고 있으므로 코끼리조개에 대해서도 신경전달물질을 이용한 産卵誘發法을 검토해 볼 필요가 있다고 생각된다.

寒海性 품종인 북방대합(*Spisula solidissima*)의 精子和 卵은 水溫에 대한 耐性이 강하여 6~20 °C 범위에서는 80% 이상의 受精率을 보였고, 水溫이 높을수록 胚의 발달이 促進되었다(Clotteau와 Dube, 1993).

코끼리조개의 卵은 水溫 11~17 °C 범위에서 受精率은 74.5~89.2% 였으나 8 °C 이하에서는 40.5~68.3%로 낮았고, 孵化率은 8~14 °C 범위에서 80% 이상을 보여 북방대합(Clotteau와 Dube, 1993) 보다는 水溫範圍가 협소한 것으로 나타났으며, 코끼리조개의 경우 水溫이 10~15 °C가 되는 3~5월이 産卵期인점을 감안할 때 어미의 실내飼育 및 産卵誘發時에는 자연상태하의 수온조건에서 실시하는 것이 效果的이라 판단된다.

Clotteau와 Dube (1993)는 북방대합(*Spisula solidissima*) 飼育을 위한 受精의 최적 화시험에서 鹽分도 20~35 ‰ 범위에서는 受精率은 80% 이상 이었으나 20~35 ‰ 이상과 이하의 鹽分에서는 급격히 감소하므로서 受精時 鹽分度의 급격한 變化에 민감함을 알 수 있었다. Imai 등(1953)은 북방대합(*Mactra sachalinensis*)의 난은 鹽分 27.1~32.5 ‰에서는 정상적으로 발생했지만, 13 ‰ 이하 또는 37.9 ‰이상에서는 發生

은 진전되지 못했다고 보고하고 있다.

코끼리조개의 卵은 鹽分 25~40 % 범위에서 受精率은 72.8~88.5%였으나 15 %와 45 %에서는 受精이 이루어지지 않았고, 孵化率은 鹽分 30~35 %에서 80% 이상으로 높게 나타나므로 Imai 등(1953)의 보고와는 유사하였으나 Clotteau와 Dube (1993)의 보고 보다는 高鹽性인 것으로 나타났다.

코끼리조개의 受精卵은 크기가 70 μm 정도로 대합류(*Meretrix lamarckii*)와 맛조개(*Solen strictus*)의 80~90 μm (田中, 1982)에 비해 적었으나 바지락(元, 1994)과는 비슷한 크기였다. 코끼리조개의 初期發生은 대부분의 二枚貝類와 비슷한 과정을 거치면서 受精 후 3日째에 D상으로 변태하였는데 이때의 크기는 110 μm 로서 대합류(*Meretrix lamarckii*)의 121 μm (田中, 1982) 보다는 적었지만 왕우럭조개(龜山, 1966)와 참굴(閔, 1994)보다는 큰것으로 판단된다.

龜山(1966)에 의하면 왕우럭조개의 浮游幼生 成長은 受精 후 15日째 D상에서 殼頂이 조금 팽출하여 136.3 μm 의 殼頂期(umbo stage)로 되고, 37日째에는 평균殼長 234 μm 의 成熟期(full-grown stage)幼生으로 된다고 보고하므로 성숙 幼生期까지의 소요일수가 本種과 비슷하였다.

코끼리조개를 水溫區別로 나누어 飼育한 결과 初期發生의 生物學的 零度는 3.82 $^{\circ}\text{C}$ 였는데 이러한 점으로 보아 코끼리조개의 幼生은 低水溫에는 耐性이 강하지만 高水溫에 약한 種이라고 생각된다. 한편 卵發生速度에 대한 관계식과 生物學的 零度を 이용하여 8세포기, 포배기, 担輪자기, D상 幼生期에 대한 각각의 積算水溫을 파악함으로써 현장에서의 種苗生産時 예정 發生時刻을 산출할 수 있어 種苗生産의 基礎資料로 이용할 수 있다고 생각된다.

코끼리조개의 水溫에 따른 幼生の 變態速度에서 受精 후 成熟 幼生으로 變態하는 데는 8 $^{\circ}\text{C}$ 에서 45日, 11~14 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 30~36日이 소요되었고, 17 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 成熟期가 되기 前에 斃死되므로 幼生の 浮游期間은 水溫의 영향을 크게 받는것(Kennedy 등, 1974; Beaumont와 Budd, 1982; Kinoshita, 1989)으로 나타나 幼生飼育에 있어 세심한 주의가 요망된다.

貝類의 人工種苗生産에 있어 幼生期の 成長에 미치는 중요한 環境要因으로 水溫, 먹이생물, 幼生 收容密度 및 照度 등을 들수 있으나 그중에서도 水溫은 成長을 支配

하는 가장 중요한 要因이며, 水溫에 따라 먹이생물의 섭취량이 달라지고 幼生의 成長에도 큰 영향을 미친다(Loosanoff, 1951; Walne, 1974). 본 연구에서 水溫이 높을수록 幼生의 成長은 빨랐으나 水溫 17℃에서는 15일까지만 生存하고 그 이후는 全量 斃死되어 高水溫에 의한 幼生飼育은 어려움이 있는것으로 여겨지며, 水溫 11℃, 14℃에서는 최종 殼長成長이 160.3 μm, 173.5 μm로 成長하였고, 水溫 8℃에서는 140.2 μm밖에 成長되지 못하였다. 殼長의 成長率과 日間成長量에서도 水溫이 높을수록 높았다.

殼長 成長에 미치는 溫度反應係數(Q₁₀)를 살펴보면 全 飼育期間中 Q₁₀의 값은 11~14℃에서 1.9434로 가장 높았으므로 이 구간의 溫度에서 成長에 가장 有效하게 反應한다고 할 수 있으며, 특히 飼育일수에 따른 Q₁₀의 값은 11日째에 2.8877로 현저히 높아 이 水溫에서 代謝活動이 가장 왕성한 시기가 아닌가 생각된다.

貝類種苗生産 過程中 重要 관리사항의 하나는 幼生의 生存率을 파악하는 것이다. 受精 후 23日째까지의 生存率은 成長이 가장 좋았던 11~14℃에서 11.5~16.2%로 성적이 좋았고, 8℃에서는 6.9%, 17℃에서는 17日째 全量 斃死하였으며, 日間生存率은 11~14℃에서 0.9064 이상으로 높았고, 日間斃死率은 8℃와 17℃에서 0.1144 이상으로 높게 나타나 成長과 生存率을 고려해 볼때 水溫 11~14℃에서 飼育하는 것이 가장 좋을 것으로 판단된다.

貝類는 식물성부유생물을 濾過攝食하므로 人工種苗生産을 위해서는 식물성부유생물의 확보가 가장 중요하며(Epifanio, 1979), 二枚貝類의 먹이로는 *Chaetoceros calcitrans*, *Pavlova lutheri*, *Isochrysis galbana*가 많이 이용되고 있다(Sukenik와 Wahnnon, 1991; Delaunay 등, 1992; Marty 등, 1992). 이러한 단세포 식물성浮游生物은 細胞內에 함유된 營養價値에 따라 幼生의 成長, 變態 및 生存에 큰 영향을 미치게 된다(Holland, 1978; O'Connor 등, 1992).

Crassostrea gigas 나 *C. rhizophorae* 등은 *Isochrysis galbana*를 먹이로 사용했을 경우 양호한 결과를 얻었으며(Helm과 Laing, 1987), 深山와 鳥羽(1990)은 8種의 먹이생물을 이용해서 바지락(*Ruditapes philippinarum*)浮游幼生 飼育實驗을 한 결과 *P. lutheri*, *C. ceratosporum*, *I. galbana* 등의 먹이생물을 공급할 경우 양호한 生存率과 成長을 얻었고, *C. calcitrans*, *C. gracilis*, *I. aff galbana*, 및 *Chlorella sp.* 등의 먹이생

물은 좋지 못한 결과를 보였다고 하였으며, Enright 등(1986)은 貝類의 幼生飼育時 *P. lutheri* 및 *I. galbana*는 초기먹이로서 우수한 먹이라고 보고하고 있다.

본 연구에 있어서 3種의 먹이생물을 21日間 飼育한 결과 單獨먹이만을 공급하였을 때의 成長은 *I. galbana*, *P. lutheri* 및 *Ch. calcitrans* 순으로 각각 178.9 μm , 174.4 μm , 160.3 μm 였으며, 生存率에서도 같은 양상으로 각각 20.5%, 15.6% 및 11.5%의 生存率을 보여 Enright 등(1986)의 보고와 유사하였다.

또한 혼합공급한 실험구에서의 成長은 *I. galbana* + *Ch. calcitrans* 에서 185.2 μm 로 가장 좋았고, 다음은 *I. galbana* + *P. lutheri*, *Ch. calcitrans* + *P. lutheri*의 순으로 각각 180.8 μm , 165.8 μm 였으며, 生存率에서는 *I. galbana* + *P. lutheri*에서 24.2%로 가장 높았고, *Ch. calcitrans* + *I. galbana*, *Ch. calcitrans* + *P. lutheri*는 각각 16.2%, 9.8%의 生存率을 보였다. 이에 대해 Helm and Laing(1987)은 *Isochrysis* 및 *Chaetoceros*의 먹이공급에 따른 幼生の 成長에 관한 연구비교에서 單一種 보다 2種을 混合하여 공급한 경우가 양호한 결과를 얻었으며, 식물성플랑크톤을 混合해서 공급하면 하나의 식물성플랑크톤을 공급하는 것보다 成長이 더 빠르다(Davis와 Guillard, 1958; Epifanio, 1979)고 하였다. 柳 等(1993 a, b)은 피조개 및 참담치 幼生の 먹이로 單獨區보다는 *Ch. calcitrans* + *I. galbana*를 混合 공급하거나 *I. galbana* + *P. lutheri*를 混合供給, 또는 3가지를 混合供給하는 것이 먹이효율이 좋다고 보고한 것과 잘 일치한다. 그러나 *Ch. calcitrans* + *P. lutheri*를 混合하여 공급한 것은 單獨으로 공급할 때 보다 오히려 성적이 좋지 못하였는데 이는 混合供給時 2종이 서로 억제하는 分泌物을 放出하기 때문이 아닌가 생각된다.

種苗의 大量生産을 위해서는 幼生の 密度를 높이는 것이 경제적이지만 어느 한계 이상으로 높아지면 幼生間의 잦은 충돌로 인해 충격을 주어 成長率이 떨어지거나 그 결과로 인해 變態速度가 느려지게 되며, 幼生の 과다한 배설물 축적으로 수질이 악화되어 疾病에 걸려 斃死하기 쉽다(柳 等 1993 b). 그러므로 貝類의 種苗生産에 있어 적정 收容密度를 정하는 것은 대단히 중요한 일이다.

Dos Santos와 Nascimento (1985)는 人工種苗生産에 있어 受精卵의 發生과 孵化된 幼生の 生存은 鹽分 및 水溫과 같은 환경요인 뿐만 아니라 난의 收容密度에 따라 크게 영향을 받으며, 最適 收容密度는 飼育수 1 ml當 10~40個體라 보고한 바 있다. 그

러나 Breese와 Malouf (1975)는 참굴 幼生을 크기별로 收容密度를 달리하여 연구한 결과, 受精 후 1~6日째(殼長 75~120 μm)에는 사육수 1 ml當 10個體, 7~14日째(殼長 130~200 μm)에는 5~10個體 그리고 14日 후 부착단계(殼長 200~300 μm)에는 5個體가 적당하다고 보고하였다.

본 연구에서는 코끼리조개 幼生の 密度를 1 ml當 1, 3, 5, 8 및 10個體로 하여 조사한 결과(Table 20), 受精 후 11日째까지는 平均 殼長 138.5~147.7 μm 로 密度別 큰 차이는 볼 수 없었으나 13日째부터 成長差가 나타나기 시작하여 實驗終了時(受精 후 23日째)에는 사육수 1 ml當 1個體區에서 188.9 μm , 5個體區에서 181.2 μm , 8個體區에서 172.5 μm 로 증가한 반면 10個體區에서는 166.8 μm 에 불과하였다. 實驗終了時의 生存率은 사육수 1 ml當 1個體區에서 41.5%, 3個體區에서 25.2%, 5個體區에서는 17.6%를 나타내었으나 高密度인 10個體區의 경우는 5.4%로 生存率은 저조하였다.

Helm와 Millican (1977)은 참굴 *C. gigas*의 부유유생 사육에서 사육수 1 ml當 1個體에서 5個體로 幼生の 密度가 증가하게 되면 D상 幼生の 경우에는 成長이 16% 감소하는 반면 이 보다 컸던 경우에는 60%의 감소경향을 보였다고 하여 生存率은 飼育密度에 큰 영향을 받는다. 그러나 適正 飼育密度를 구명하기 위해서는 飼育終了時 가장 많은 量의 幼生을 얻을 수 있어야 하므로 實驗終了時의 생존곡선(Fig. 45)을 구하여 보면, 밀도 5個體區에서 가장 많은 量을 생산할 수 있는 것으로 나타나 코끼리조개 幼生飼育에 있어 적정 飼育密度는 사육수 1 ml當 5個體 내외로 飼育하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

피조개, 새꼬막, 바지락 등 대부분의 二枚貝類 浮游幼生은 殼頂期에 游力이 강한 반면 왕우럭조개의 浮游幼生은 游力이 약하여 基部에 層을 이루는 경향이 있으며, 通氣가 미치지 못하는 부분에서는 침전하고 大量斃死하는 현상이 나타나므로(山口縣內海水産試驗場, 1982; 高見, 1983 a), 幼生飼育時 水槽底面을 漏斗狀으로하여 중앙부에 幼生을 浮上시킬 수 있는 强制造上昇流管을 설치한 强制浮游飼育水槽를 이용하여 좋은 成績을 얻은 바 있다(高見, 1983 b). 코끼리조개 幼生도 D상시기가 되면 飼育水槽 저층으로 침하하게 되며, 飼育水槽의 底面에는 幼生の 死體, 排泄物 등으로 細菌이 발생하거나 수질이 酸化되므로 코끼리조개 幼生の 成長 및 生存에 큰 영향을 미친다.

본 연구에서는 幼生の 沈下를 억제하기 위하여 공기공급 방법에 따라 上向噴射, 下向噴射 및 上向가두리식 등 3가지로 나누어 飼育試驗한 결과 成長과 生存率 모두 下向噴射式이 177.3 μm , 18.9%로 가장 양호하였으며, 다음으로는 上向가두리식으로 169.4 μm , 10.5%, 上向噴射式은 164.1 μm , 6.8%로 가장 저조하였다. 이상으로 볼 때 上向噴射式은 底層水質의 영향이 그대로 미치게 되어 生存率이 낮지만 下向噴射방식은 침하된 幼生을 浮上시키므로 底層水質의 영향이 적고 浮游性 먹이 섭취가 용이하므로 生存率을 높일수가 있었다.

한편 이 방식은 에어가 강한 경우 畸形發生이 높으므로 세심한 주의가 필요하며, 上向가두리식은 底層의 영향을 받지않는데도 불구하고 生存率이 좋지 못하고 飼育施設이 복잡하여 非效率的이라 여겨진다. 따라서 앞으로 高見(1983 b)방식이나 下向噴射式을 개량한 새로운 방식의 飼育方法이 개발된다면 코끼리조개幼生の 生存을 한층 높일수 있을것으로 사료된다.

稚貝期에 附着性을 갖는 二枚貝는 採苗, 中間育成이 용이하고 種苗生産 技術도 상당히 진전되어 있지만 왕우럭조개는 稚貝期에 附着性이 없거나 附着性을 가지고 있어도 약한 부착력 때문에 幼生飼育이 가능하여도 이것을 방류 가능한 種苗까지 飼育은 어렵다고 한다(溝上와 屈田, 1971 b).

코끼리조개의 成熟幼生은 면반에 의해 활발히 유영하다가 殼長 250 μm 에서는 모든 個體가 침착하게 되며, 殼長 300 μm 가 되면 점질이 악한 죽사로 부착하게 된다. 채묘는 모래질이 36.50%로 가장 양호하였으나 염화비닐판이나 합성섬유그물에서는 3.20~6.56%로 비교적 저조하였다. 또한 염화비닐판은 水平採苗가 垂直採苗 보다 採苗率이 2배 정도 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 幼生飼育에서도 언급한 바와 같이 幼生이 底層에 밀집분포하고 있기 때문으로 생각된다.

코끼리조개의 稚貝는 採苗基質에 따라 成長과 生存率에 차이가 있었으며, 採苗 후 43日間 飼育에서 모래에 부착한 稚貝의 日間成長量은 33 μm 와 11.2%의 生存率로 가장 양호하였다. 합성그물은 日間成長量 22 μm , 生存率 3.6%로 매우 저조하였다.

溝上와 屈田(1971 b)에 의하면 왕우럭조개는 附着力이 약하여 부착된 稚貝는 수중의 가벼운 流動에서는 탈락이 없지만 에어나 물의 流動이 조금만 강하여도 脫落이 쉽게 이루어진다고 보고하여 모래에 부착한 稚貝는 비교적 안정적인 成長을 할 수

있으나 열화비닐판과 합성그물에 부착한稚貝는 왕우럭조개와 같이 부착력이 약하므로 飼育途中에 脫落이 많았기 때문에 生存率이 낮은 것으로 推定된다.

코끼리조개 치패의 潛入은 침착 후 39日째인 각장 1500 μm 부터 잠입하기 시작하여 46日째인 각장 1900 μm 가 되면 거의 대부분이 모래 속으로 잠입하므로서 溝上와 屈田(1971 a)가 보고한 왕우럭조개의 잠입치패 최소각장은 1.6mm이며, 각장 1.8mm에서는 전 개체가 모두 모래에 잠입한다고 보고한 것과 유사한 경향을 가졌다.



V. 要 約

코끼리조개(*Panope japonica* A. Adams)의 人工種苗 生産을 위하여 강원도 양양군 인구연안에 서식하는 코끼리조개를 대상으로 어미의 生態, 産卵週期, 産卵誘發 그리고 人工 수정란을 이용하여 發生과 孵化, 幼生飼育, 採苗 및 稚貝飼育 等 번식생물학적 연구를 실시하였다.

生殖巢 重量指數(GSI)는 암컷은 10월부터 증가하기 시작하여 4월에 28.2로 최고치를 보인후, 6월부터 급격히 하락하여 8월에 8.1로 최저치였으며, 수컷은 4월에 27.2로 최고치에 달하였고, 8월에 최저치였다. 生殖週期는 分裂增殖期(8~10月), 成長期(12~3月), 成熟期(2~4月), 放出期(4~5月), 回復期(6~8月)로 구분할수 있다.

코끼리조개의 消化管内에서 관찰된 먹이생물의 종류는 총 20屬 33種으로 식물 플랑크톤이 87.9%를 차지하였다. 계절별 총 出現種類는 봄에 21種, 여름에 11種이었으며, 연중 출현하는 種은 *Nitzschia longissima*와 *Rizosolenia alata*의 2種이었다.

모패의 각종 산란유발 자극에 대한 반응은 간출자극과 자외선 조사해수자극에서는 전혀 반응이 없었으나, 온도자극에서는 5월에 15.0~25.0%, 6월에 5%의 반응을 보였다. NH₄OH 용액의 해수첨가 자극에서는 8/1000N~10/1000N에서 15.0%의 反應率을, 그리고 NH₄OH 용액을 생식소에 주사하는 자극은 5/100N~7/100N에서 5.0~10.0%의 反應率을 보였다. 그러나 절개하여 人工수정한 경우는 15.0~45.0%로 가장 높게 반응하였다.

水溫에 따른 受精率은 水溫 11~17 °C 범위에서 74.2~89.2%였고, 孵化率은 水溫 8~14 °C에서 84.3~90.5%로 가장 높았다. 鹽分濃度에 따른 受精率은 鹽分 25~40 ‰ 범위에서 72.5~88.5%, 孵化率은 鹽分 30~35 ‰에서 82.7~86.9%였다.

卵은 分離沈性卵으로 放卵直後 알의 모양은 타원형이지만, 수정란은 직경 70 μm의 구형으로 된다. 수정란의 발생은 11 °C에서 4시간후 4세포기로 되고, 2일이 지나면 담륜자(trochophore larva) 유생, 3일째에는 D상유생, 23일째에는 각정기, 36일째에는 成熟仔貝로 되었다.

水溫(w)에 따른 각 단계별 소요시간(t)의 관계를 보면,

$$\text{8세포} \quad : 1/t = 0.0209 w - 0.1167 \quad (r = 0.9967)$$

$$\text{포배기} \quad : 1/t = 0.0055 w - 0.0192 \quad (r = 0.9825)$$

$$\text{담륜자 유생기} : 1/t = 0.0034 w - 0.0155 \quad (r = 0.9907)$$

$$\text{D상 유생기} \quad : 1/t = 0.0014 w - 0.0023 \quad (r = 0.9843)$$
로 표시 되었으며, 이 식

에서 산출된 코끼리조개의 生物學的 영도는 3.82℃였다.

水溫 8, 11, 14 및 17 ℃조건에서 부화유생의 성장과 생존율은 14 ℃에서 21일째에 殼長 173.5 μm, 生存率 16.2%로써 가장 양호하였다.

먹이생물로서 *Chaetoceros calcitrans*, *Pavlova lutheri* 및 *Isochrysis galbana*를 각각 單獨 또는 混合으로 供給하여 孵化 후 21일까지의 각 시험구별 유생의 성장과 생존율은 *I. galbana* + *Ch. calcitrans*를 混合 供給한 것이 殼長 185.2 μm, 生存율은 24.2%로 가장 양호하였다. 시험기간중 가장 저조한 결과는 성장에서는 *Ch. calcitrans*를 단독으로 供給하였을 때 殼長 160.3 μm였고, 생존율은 *Ch. calcitrans* + *P. lutheri*를 혼합供給한 區에서 9.8%였다.

유생의 收容密度(1~10개체/ml)는 5個體/ml 以下에서는 수용밀도가 낮을수록 성장과 생존율은 높았지만, 사육밀도별 생존곡선에서 구한 최대생산은 5個體/ml에서 였다.

3가지 air 供給方法에 따른 유생사육 결과에서 孵化 후 21일째까지 유생의 각장의 성장과 생존율은 下向噴射式이 177.3 μm, 18.9%로 가장 좋았으며, 上向가두리식 169.4 μm, 10.5%, 上向噴射式 164.1 μm, 6.8%의 순이었다.

채묘기 종류별 부유유생의 부착율은 모래바닥에서 36.50%, 염화비닐과 합성섬유 그물은 3.20~6.56%로 저조하였다. 採苗 후 43日間の 成長試驗에서 모래에 부착한 稚貝의 日間 殼長의 성장량과 생존율은 각각 33 μm, 11.2%였으며, 합성그물은 22 μm, 3.6%였다.

VI. 参 考 文 献

- Allen, R. D. (1953): Fertilization and artificial activation in the egg of the surf clam *Spisula solidissima*. Biol. Bull., 105, 213~239.
- Ayers, J. C. (1956): Population dynamics of the marine clam, *Mya arenaria*. Limnol. Oceanogr., 1, 26~34.
- Beaumont, A. R. and M. D. Budd (1982): Delayed growth of mussel (*Mytilus edulis*) and scallop (*Pecten maximus*) veligers at low temperature. Mar. Biol., 71, 97~100.
- Breese, W. P. and R. E. Malouf (1975): Hatchery manual for the Pacific oyster. Oregon State University Sea Grant College Program Publ. No. ORESU-H-75-002. Oreg. State Univ., Corvallis, 22pp.
- Choi, H. G. (1991): Chemical composition of Korean geoduck (*Panope japonica* A. Adams) and changes in their composition during frozen storage. Department of Food Science Graduate School, Kangnung Nat'l Univ., 1~60.
- Choi, J. W. and C. H. Koh (1990): Distribution pattern of polychaete worms on the continental shelf and slope of the East Sea (South western Sea of Japan), Korea. J. Oceanol. Soc. Korea 25 (1), 36~48.
- Clotteau, G. and F. Dube (1993): Optimization of fertilization parameters for rearing surf clams (*Spisula solidissima*). Aquaculture 114, 339~353.
- Crawford, C. M. (1986): Spawning induction, and larval and juvenile rearing of the Giant clam, *Tridacna gigas*. Aquaculture 58, 281~295.
- Davis, H. C. and V. R. Guillard (1958): Relative value of ten genera of microorganisms as foods for oyster and clam larvae. Fish. Bull., U.S. 136 (58), 293~304.
- Delaunay, F., Y. Marty, J. Moal and J. F. Samain (1992): Growth and lipid class

- composition of *Pecten maximus* (L.) larvae grown under hatchery conditions. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 163, 209~219.
- Dos Santos, A. E. and I. A. Nascimento (1985): Influence of gamete density, salinity and temperature on the normal embryonic development of the mangrove oyster *Crassostrea rhizophorae* Guilding. Aquaculture 47, 335~352.
- Dube, F. (1988): The relationships between early ionic events, the pattern of protein synthesis, and oocyte activation in the surf clam, *Spisula solidissima*. Develop. Biol., 126, 233~241.
- Duineveld, G. C., A. Kunitzer, U. Niermann and J. S. Gray (1991): The macrobenthos of the North sea. Netherlands J. Sea Res. 28 (1/2), 53~65.
- Duncan, D. B. (1955): Multiple-range and multiple F tests. Biometrics 11, 1~42.
- Enright, C. T., G. F. Newkirk and J. D. Castell (1986): Comparison of phytoplankton as diets for juvenile *Ostrea edulis* L. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 96, 1~13.
- Epifanio, C. E. (1979): Growth in bivalve molluscs, nutritional effects of two or more species of algae in diets fed to the American oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin) and the hard clam *Mercenaria mercenaria* (L.). Aquaculture 18, 1~12.
- Galehouse, J. S. (1971): Sedimentation analysis. In (Carver, R. E., ed.) Procedures in Sedimentary Petrology. Wiley-Interscience, 69~94.
- Gibbons, M. and M. Castagna (1984): Serotonin as an inducer of spawning in six bivalve species. Aquaculture 40, 189~191.
- Goshima, S. (1982): Population dynamic of the soft clam, *Mya arenaria* L., with species reference to its life history pattern. Pub. Amakusa Mar. Biol. Lab, 6, 119~165.
- Gradner, J. A. and C. Leetham (1914): On the respiratory exchange in fresh water fish. J. Biochem. 8, 374.

- Habe, T. (1955): Fauna of Akkeshi Bay XXI. Pelecypoda and Scaphopoda. Pub. Akkeshi Mar. Biol. Station, 4, 20~27.
- Helm, M. M. and P. E. Millican (1977): Experiment in the hatchery rearing of Pacific oyster larvae (*Crassostrea gigas* Thunberg). Aquaculture 11, 1~12.
- Helm, M. M. and I. Laing. (1987): Preliminary observations on the nutritional value of 'Tahiti *Isochrysis*' to bivalve larvae. Aquaculture 62, 281~288.
- Holland, D. L.(1978): Lipid reserves and energy metabolism in the larvae of benthic marine invertebrates. 85~123.
- Hong J. S. (1987): Summer oxygen deficiency and benthic biomass in the Chinhae Bay System, Korea. J. Oceanol. Soc. Korea 22 (4), 246~256.
- Imai, T. *et al.* (1953): Tank breeding of the Japanese surf clam, *Macrta sachalinensis* Schrenck., Rep. Inst. Agr. Res. Tohoku Univ., 87, 121~131.
- Ingram, R. L. (1971): Sieve Analysis. In (Carver, R. E., ed.) Procedures in Sedimentary Petrology. Wiley-Interscience, 49~67.
- Iwata, K. S. (1971): Spawning of *Mytilus edulis*, Acid-inhibition of spawning by KCl. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 17 (2), 91~93.
- Jeong, I. H. (1990): Chemical composition in muscle of Korean geoduck, *Panope japonica* A. Adams. J. Donghae Coast. Res., 1, 30~42.
- Kanno, H. (1962): Artificial discharge of reproductive substance of mollusca caused by repeated stimulation of temperature. Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab., 20, 114~120
- Kennedy, V. S., W. H. Roosenburg, M. Castagna and J. A. Mihursky (1974): Temperature time relationships for survival of embryos and larvae of *Mulinia lateralis* (Mollusca: Bivalvia). Mar. Biol., 24, 137~145.
- Kinoshita, C. (1989): Thermal tolerance of eggs and larvae of Japanese surf clam, *Pseudocardium sachalinensis* (Schrenck), Suisanzoshoku, 37 (1), 9~14.
- Lee, J. J. (1976): Ecological studies for the culture of the clam, *Gomphia*

- veneriformis*. I. Studies on the spawning season, artificial fertilization and egg development. Bull. Mar. Biol. St. Jeju Nat'l. Univ., 1, 11~20.
- Lee, J. J. and J. Y. Lee (1981): The effect of irradiated seawater with ultraviolet rays on inducing spawning of some cultivated shells. Bull. Mar. Resour. Res. Inst. Jeju Nat'l. Univ., 5, 9~15.
- Lim, H. S., J. G. Je, J. W. Choi and J. H. Lee (1991): Distribution pattern of macrozoobenthos at Yoja Bay in Summer. Ocean Res. Korea. 13 (2), 31~45.
- Loosanoff, V. L. (1951): Culturing phytoplankton on a large scale. Ecology, 32, 748~750.
- Loosanoff, V. L. (1954): New advances in the study of bivalve larvae. Amer. Sci., 42 (4), 607~624.
- Loosanoff, V. L. and H. C. Davis (1950): Conditioning *V. mercenaria* for spawning in winter and breeding its larvae in the laboratory. Biol. Bull. 98, 60~65.
- Marty, Y., F. Delaunay, Y. Marty, J. Moal and J. F. Samain (1992): Change in the fatty acid composition of *Pecten maximus* (L.) during larval development. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 163, 221~234.
- Matsutani, T. and T. Nomura (1982): Induction of spawning by serotonin in the scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay). Mar. Biol. Letters 3, 353~358.
- Michaelidis, M. (1993): The effect of 5-hydroxytryptamine on glycolysis in the perfused ventricle of the freshwater bivalve *Anodonta cygnea*: evidence for phosphorylation/dephosphorylation control of phosphofructokinase. J. Exp. Biol. 180, 15~25.
- Morse, D. E., H. Duncan, H. Hooker and A. Morse (1977): Hydrogen peroxide induces spawning in molluscs, with activation of prostaglandin endoperoxide synthetase. Science 196, 298~300.
- O'Connor, W. A., J. A. Nell and J. A. Diemar (1992): The evaluation of twelve algal species as food for juvenile Sydney rock oysters *Saccostrea*

- commercialis*. Aquaculture 108, 277~283.
- Osada, M., K. Mori and T. Nomura (1992): *In vitro* effects of estrogen and serotonin on release of eggs from the ovary of the scallop. Nippon Suisan Gakkaishi. 58 (2), 223~227.
- Round, F. E., R. M. Crawford and D. G. Mann (1992): The Diatoms. Cambridge University, 747pp.
- Sagara, J. (1958): Artificial discharge of reproductive elements of certain bivalves caused by treatment of seawater and by injection with NH₄OH. Bull. Japanese Soc. Sci. Fish., 23 (9), 505~510.
- Sanders, H. (1968): Marine benthic diversity: A comparative study. American Naturalist 102 (925), 243~282.
- Sasaki, K. (1987): Life cycle in adult stage of the sakhalin surf clam in Sendai Bay. Nippon Suisan Gakkaishi. 53 (11). 1959~1963.
- Sasaki, K. (1989): Characteristics of the bottom sediments inhabited by the surf clam *Spisula sachalinensis* in Sendai Bay. Nippon Suisan Gakkaishi. 55 (7), 1127~1131.
- Strickland, J. D. and T. R. Parsons (1972): A Practical Handbook of Seawater Analysis. Bull. Fish. Rec. Bd. Can., 167~310.
- Sukenik, A. and R. Wahnnon (1991): Biochemical quality of marine unicellular algae with special emphasis on lipid composition. Aquaculture 97, 61~72.
- Sung, W. I (1972): The effects of temperature and salinity on the oxygen consumption of excised gill tissue of *Corbicula fluminea* (Müller). Pub. Mar. Lab. Pusan Fish. Coll. 5, 37~43.
- Walne, P. R. (1974): Shellfish Culture. In (Harden Jones, F. R., ed.). Sea Fisheries Research. Elek, London, 379~398.
- 江原道 (1990): 江原沿岸 主要 貝類資源 調査 報告書. 大成文化出版社, 175pp.
- 高見東洋 (1983 a): ミルクイガイの種苗生産に関する研究-I. 受精後1~2週間にみられる大量へい死について, 山口県内海水産試験場, 11, 6~9.

- 高見東洋 (1983 b): ミルクイガイの種苗生産に関する研究-II. Up welling法による稚仔貝飼育について, 山口縣内海水産試験場, 11, 10~16.
- 高橋延昭・高野和則 (1970): ウバガイの生殖週期に関する組織學的研究-I. 精巢の季節的變化. 日水誌, 36 (4), 337~344.
- 高橋延昭・山本喜一郎 (1970): ウバガイの生殖週期に関する組織學的研究-II. 卵巢の季節的變化. 日水誌, 36 (4), 345~352.
- 溝上昭男・堀田正勝 (1971 a): ミルクイ *Tresus keenae* Kuroda et Habeの増殖に関する研究-I. 浮遊幼生と沈着初期稚貝の成長について. 水産増殖, 18, 238~246.
- 溝上昭男・堀田正勝 (1971 b): ミルクイ *Tresus keenae* Kuroda et Habeの増殖に関する研究-II. 潛入稚貝の成長について. 水産増殖, 18, 247~257.
- 菊地星吾・浮 永久 (1974): アワビ屬の採卵技術に関する研究, 第2報, 紫外線照射海水の産卵誘發効果. 東北水研報, 33, 79~86.
- 金炯燮・朴榮濟・金完起・張貞源・金鐘斗 (1991): 江原沿岸 코끼리조개의 棲息環境과 成長. 國立水産振興院 研究報告, 45, 269~282.
- 木下虎一郎・巖谷三五郎・清水二郎 (1943): ホタテガイ, *Pecten (Pationpecten) yessoensis* JAYの産卵誘發に関する試験(豫報). 日水誌, 11 (5-6), 168~170.
- 尾崎久雄 (1979): 魚類生理學講座 第2巻, 呼吸と生理. 綠書房, 東京, 354p.
- 閔光植 (1994): 참굴, *Cressostrea gigas*의 人工種苗生産을 위한 幼生飼育條件에 관한 研究. 釜山水産大學校 大學院 碩士學位 論文, 1~53p.
- 北海道水産試験場 (1963): ホッキガイについて (その 2), 北海道水試月報, 20, 16~28.
- 濱本俊策・大林萬鋪 (1985): 備讃瀬戸鹽飽諸島海域におけるナミカイ *Panope japonica* (A. Adams)の大量發生と その漁業實態. 栽培技研, 14 (2), 7~25.
- 山口縣内海水産試験場 (1981): 山口縣内海水産試験場研報. 1~32.
- 山口縣内海水産試験場 (1982): 山口縣内海水産試験場研報. 1-30.
- 山路勇 (1982): 日本海産プランクトン圖鑑. 保育社, 537pp.
- 深山義文・鳥羽光晴 (1990): アサリ種苗生産試験-III. アサリ浮遊幼生に對する8種の微小藻の餌料價値. 千葉水試研報, 48, 93~96.
- 安永義暢 (1980): 砂浜性二枚貝の移殖時の減毛に関する基礎的考察. 日水研報, 31, 73~

- 元文星 (1994): 바지락의 種苗生産과 養殖場環境이 生産性에 미치는 影響. 釜山水産大 學校大學院 博士學位 論文, 1~220p.
- 魏種煥·張榮振 (1976): 活魚輸送에 關한 基礎研究(I). 水振研究報告, 15, 91~108.
- 柳盛奎 (1960): 龍湖灣産 二枚貝의 食餌에 關한 研究. 第1報 불뚱(*Mactra veneriformis*). 釜山水大 研究報告 3 (1, 2), 43~52.
- 柳盛奎 (1962): 龍湖灣産 二枚貝의 食餌에 關한 研究. 第2報 백합(*Dosinia japonica*). 釜山水大 研究報告 4 (1, 2), 11~19.
- 柳浩英 外 (1993 a): 피조개 人工種苗生産에 關한 研究. 慶尙南道, 1~221.
- 柳浩英 外 (1993 b): 참담치 人工種苗生産技術에 關한 研究. 慶尙南道, 1~156.
- 이정열 (1994): 동죽의 呼吸率, 濾水率 및 窒素排泄에 미치는 浮泥의 影響. 韓水誌, 27 (1), 59~68.
- 李澤烈·鄭義泳 (1980): 남방재첩, *Corbicula fluminea*의 生殖週期. 釜山水大臨研報, 12, 47~54.
- 田中彌太郎 (1982): 二枚貝類의 幼生同定. 海洋と生物 19, 4 (2), 137~139.
- 鄭成采·許宗秀·文榮鳳·李鐘寬·宋泉浩·金慶吉 (1986): 키조개의 種苗生産을 爲한 實驗的 研究. 水振研報, 39, 143~150.
- 崔信錫 (1975): 대합(*Meretrix lusoria*)과 가무락(*Cyclina sinensis*)의 初期發生 및 成長에 關한 比較研究. 韓國水産學會誌, 8 (3), 185~195.
- 龜山展志 (1966): ミルクイ幼生の水槽飼育について. 水産増殖, 14 (3), 151~156.
- 秋山章男 (1988): “第2章 生物の生態と環境 2. 環境要求と適應. 2.1 干潟の底生動物 - 二枚貝類中心に”. 河口・沿岸域の生態とエコテクノロジー-(栗原 康 編著). 東海大學出版部, 85~98.

謝 辭

본 論文을 完成하기까지 부족한 저에게 아낌없는 助言과 指導를 해 주신 노 섬 교수님께 진심으로 감사를 드립니다.

바쁘신 중에도 論文을 정성껏 다듬어 주신 홍성운 교수님, 정상철 교수님, 이정재 교수님, 이영돈 박사님께 감사 드리오며, 學位過程中 항상 관심을 가져주신 이기완 교수님, 송춘복 교수님, 최광식 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

어려운 여건하에서도 학문의 길을 갈 수 있도록 配應 해주시고 격려 해주신 양양내수면연구소 백국기 소장님, 강릉수산종묘배양장 박영제 장장님께 더 없이 깊은 정과 고마움을 드리며, 따뜻한 성원을 아끼지 않으시고 여러가지 자료정리에 도움을 주신 강릉대학교 생물학과 김형섭 교수님, 수산자원 개발학과 박기영 교수님, 울진수산종묘배양장 이정의 연구사님과 김대현 연구사님, 부산수산대학교 양식학과 이정용 님께 다시 한번 감사 드립니다. 또한 같이 근무하면서 열띤 誠意를 베풀어 주신 강릉수산종묘배양장 직원 여러분께도 감사의 마음을 표합니다.

어려운 학문길에서 방황할 무렵 이 부족한 저에게 힘이되어 주시고, 기도로 도와주신 주문진감리교회 안희선 목사님, 김용택 목사님과 여러 장로님께 감사드립니다.

그리고 오늘이 있기까지 길러주신 어머님과 여러가지 어려운 여건속에서도 사랑과 인내로 묵묵히 뒷바라지 하여준 아내와 사랑스러운 희영, 희라와 함께 이 논문의 기쁨을 같이 합니다.