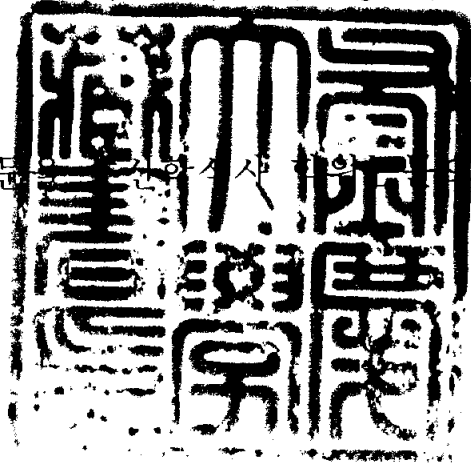


수산학석사 학위논문

참전복(*Haliotis discus hannai*) 유생  
사육을 위한 먹이생물

지도교수 허 성 범

이 논문을 수산학석사 학위논문으로 제출함



2004년 2월

부경대학교 대학원

수산생물학과

고 수 근

# 고수근의 수산학석사 학위논문을 인준함

2003년 12월 26일

주 심 이 학 박 사 남 윤 권



위 원 이 학 박 사 김 중 명



위 원 이 학 박 사 허 성 범



# 목 차

ABSTRACT .....	i
I. 서 론 .....	1
II. 재료 및 방법 .....	3
1. 미세조류의 부착률 및 성장조사 .....	3
1. 1. 미세조류 .....	3
1. 2. 실험 설계 및 조건 .....	3
1. 3. 부착률 및 성장률조사 .....	4
2. 참전복 유생의 부착, 변태 및 먹이효율 조사 .....	6
2. 1. 유생사육 .....	6
2. 2. 부착과 변태 .....	6
2. 3. 생존과 성장 .....	7
2. 4. 먹이생물의 세포량 조사 .....	7
3. 통계분석 .....	8
III. 결 과 .....	10
1. 미세조류의 부착률 및 성장률 조사 .....	10
2. 참전복 유생의 부착, 변태 및 먹이효율 조사 .....	21
2. 1. 유생의 부착률과 변태율 .....	21

2. 2. 변태가 진행된 유생의 생존율 및 성장 .....	25
IV. 고찰 .....	31
V. 국문요약 .....	36
VI. 참고문헌 .....	37

**Live foods for larval culture  
of *Haliotis discus hannai***

Su Keun Ko

*Department of Fisheries Biology, Graduate School  
Pukyong National University,  
Busan 608-737, Korea*

**ABSTRACT**

In this study, there were two major experiments for the development of abalone hatcheries. The first experiment was the characteristics of microalgae that were examined by investigating adhesive rate from substratum and growth rate. This experiment had been divided into five groups according to genus and size of microalgae used in the study. Both growth and adhesion were different from each species. And nine microalgae were selected out regard as their growth and adhesive rate in each group. And then, the second experiment was done. The selected microalgae were used as settlement substrata and live foods for veliger larvae of *Haliotis discus hannai*. The attachment, metamorphosis, early

growth and survival of post-larvae fed on each microalgal species were examined in the laboratory. *Rhaphoneis* sp. proceeded significantly higher attachment at 24hrs and 96hrs from veliger stage. *Rhaphoneis* sp. also made good result of metamorphosis rate. *Cylindrotheca closterium* was the lowest metamorphic responder at four and six days. *Oscillatoria splendida* induced the highest survival rate before metamorphosis, but finally, *Rhaphoneis* sp. induced significantly higher survival rate and made metamorphosis larvae grew well all of experimental period. Excepting diatom strains, *Platymonas subcordiformis* and *Oscillatoria splendida* were considered expectable food sources. We suggest that commercial hatchery plates inoculated with *Rhaphoneis* sp. will effect in high and consistent settlement and rapid growth of post-larvae.

# I. 서론

박테리아나 미세균집 및 점액물질로 구성되어 있는 생물학적인 막은 무척추동물의 부착을 일으키는 요인이 된다(Pawlik, 1992; Keough and Raimondi, 1995). 또한 부착규조류들로 이루어진 막은 전복 유생의 부착기질로 이용되기 때문에 부착규조류를 인공적으로 배양한 파판은 전복종묘의 초기 부착기질로 널리 이용되어지고 있다(Hahn, 1989). 하지만 전복의 인공종묘배양장에서는 양질의 부착기질 형성 및 유지에 어려움을 겪고있다.

전복 유생의 부착 및 변태 후 높은 폐사율은 종묘생산에 있어서 실제적으로 가장 큰 문제점으로 지적되고 있다(Hahn, 1989; Kawamura et al, 1998b). 전복의 유생은 부착할 수 있는 능력을 가지게 되면, 기질로 이동하여 부착하게 되고 변태를 진행한다(Morse, 1985; Searcy-Bernal, 1999; Roberts and Lapworth, 2001). 또한, 변태가 이루어진 개체는 바로 부착규조류를 먹이로 섭취하기 시작한다(Seki and Kanno, 1981; Kawamura and Takami, 1995). 하지만, 이 과정에서 파판에서 전복유생의 먹이섭취 또는, 부착 규조류의 과다 번식으로 인하여 자체무게를 견디지 못하고 탈락하므로 먹이부족 현상을 나타낼 수 있다. 또, 부착 규조류는 단단한 규각을 가지고 있어 유생의 낮은 소화율이 문제되고 있다. 부착 규조류가 형성하는 막 중에서 평면을 형성하는 규조류들은 전복 유생의 높은 부착율을, 3차원적인 형상을 나타내는 막들은 낮은 부착율을 보이며, 적절하지 않은 규조류의 부착형태는 유생 생존에 해를 끼치는 생물학적 요인(Searcy-Bernal, 1992, 1996) 등으로 높은 대량폐사를 유발시킨다(Kawamura and Kikuchi, 1992).

국내에서 전복은 산업적으로 중요한 종으로써 분포, 발생, 산란 식성, 먹

이 해조, 성장, 어업 등 여러 분야에 걸쳐서 다수의 연구 결과들을 볼 수가 있다(유, 2000).

세계적으로 후기 유생의 먹이효율에 관해서는 많은 연구가 이루어져 있는 실정이나(Ohgai et al., 1991; Ishida et al., 1995; Kawamura et al., 1998b; Roberts et al., 1999), 부착 직 후 유생의 초기 성장 및 생존에 관해서는 충분히 보고되지 않았다. 또, 지금까지의 국내 연구는 주로 규조류에 대한 참전복 (*Haliotis discus hannai*) 유생의 부착률과 먹이효율에 대한 연구가 대부분이었다(한·허, 2000).

따라서 본 연구에서는, 참전복(*H. discus hannai*) 초기 유생의 부착기질 및 먹이생물로 이용될 수 있는 규조류를 포함한 부착성 녹조류, 담녹조류 및 남조류를 대상으로 이들 미세조류의 성장률과 부착률을 조사하여 적절한 미세조류를 선정하였고 그것에 대한 참전복 유생의 부착률, 변태율, 초기생존율 및 성장을 조사하였다.



## II. 재료 및 방법

### 1. 미세조류의 부착률 및 성장조사

#### 1. 1. 미세조류

전복의 먹이 생물로써 이용가능하다고 판단되는 부착성이 있는 미세조류의 부착률 및 성장을 조사하기 위해서 한국해양미세조류은행(KMCC)에서 보관중인 24종의 규조류 1종의 담녹조류, 2종의 녹조류, 4종의 남조류를 분양받아 실험을 하였다. 미세조류들은 그룹별로 실험을 하였으며, 각 그룹별 미세조류의 정보는 Table 1에 나타내었다.

#### 1. 2. 실험 설계 및 조건

한국해양미세조류은행(KMCC)에서 분양받은 각 종은 500 mL 삼각플라스틱에서 300 mL의 f/2 배지(Guillard and Ryther, 1962)에 20°C, 2000 lux의 조건하에서 2주간 배양을 한 후, 부착력 실험을 위한 수조에 접종을 하였다.

각 종의 부착력 실험을 위한 수조는 14 L 원형 아크릴 수조를 사용하였고, 그것에 10 L의 f/2 배지를 채운 후, 미세조류의 부착기질로써 5장(18.9 cm × 16.4 cm)의 굴곡파판을 사용하였다.

수조내의 총 부착기질은 수조벽면(1583 cm<sup>2</sup>)과 바닥(451 cm<sup>2</sup>) 그리고 파판(3040 cm<sup>2</sup>)으로 구분되며 총 부착기질의 면적은 5074 cm<sup>2</sup>였다.

각 수조에 접종한 미세조류의 밀도는 haemocytometer로 세포를 계수하였고 GF/C필터로 걸러진 세포의 건조중량을 이용하여 측정하였다. 접종 후 미

세조류는 23℃, 2000 lux, 연속조명 상태로 2주간 통기배양하였다. 모든 실험구는 2반복으로 실시하였다.

### 1. 3. 부착률 및 성장률조사

배양된 미세조류는 부착한 것과 그렇지 않은 것을 분리한 후, 부착한 세포는 부드러운 붓을 이용해 탈락시켜서 각각의 세포를 진공펌프를 이용해 GF/C 필터로 모은 후 부착률을 조사하였고, 동시에 성장을 측정하였다. 필터로 모아진 모든 세포는 건조기에서 60℃, 2시간동안 건조시킨 후, 그것의 건조중량을 전자저울을 이용해서 측정하였다. 미세조류의 부착률은 [부착률(%) =  $\{ad / (ad + non-ad)\} \times 100$ , (ad: 부착한 미세조류량(mg), non-ad: 부착하지 않은 미세조류량(mg)), 성장률은 [성장률(%) =  $\{(n_1 - n_0) / n_0\} \times 100$ , ( $n_1$ : 최종 생물량(mg),  $n_0$ : 접종량(mg)), 부착생물량은 [부착생물량(mg) = 최종미세조류량(mg) × 부착률(%)]의 공식으로 측정하였다.

Table 1. List of each group of microalgae for the adhesive and growth rate experiment

Group	KMCC No.	Species	Length ( $\mu\text{m}$ )
A	B-564	<i>Achnanthes</i> sp.	26.6 $\pm$ 3.85
	B-106	<i>Amphiprora gigantea</i> var. <i>sulcata</i>	42
	B-186	<i>Amphora lineata</i>	21.75 $\pm$ 1.50
	B-102	<i>Amphora veneta</i> var. <i>coffeaefornis</i>	18.75 $\pm$ 3.00
	B-195	<i>Amphora delicatissima</i>	17.5 $\pm$ 2.25
	B-113	<i>Amphora delicatissima</i>	25.25
	B-304	<i>Amphora</i> sp.	23.25 $\pm$ 3.25
	B-313	<i>Amphora</i> sp.	12.5 $\pm$ 1.00
B	B-4	<i>Navicula annexa</i>	23.3 $\pm$ 2.2
	B-1	<i>Navicula cancellata</i>	38.6 $\pm$ 1.7
	B-48	<i>Navicula elegans</i>	13.7 $\pm$ 1.2
	B-5	<i>Navicula incerta</i>	19.3 $\pm$ 1.9
	B-81	<i>Navicula viridis</i>	21.1 $\pm$ 1.8
	B-394	<i>Navicula</i> sp.	15.8 $\pm$ 4.2
	B-122	<i>Navicula</i> sp.	10.8 $\pm$ 1.2
	C	B-8	<i>Nitzschia dissipata</i>
B-129		<i>Nitzschia</i> sp.	23.94 $\pm$ 1.00
B-411		<i>Cylindrotheca closterium</i>	33.61 $\pm$ 3.98
B-39		<i>Caloneis schroederi</i>	20.96
B-326		<i>Cocconeis californica</i>	23.75
B-384		<i>Pleurosigma angulatum</i>	56.00 $\pm$ 8.55
B-41		<i>Rhaphoneis</i> sp.	5.00 $\pm$ 0
B-410		<i>Trachyneis aspera</i>	25.50 $\pm$ 3.30
D	B-44	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	16.8
	P-1	<i>Tetraselmis hazennii</i>	20
	C-43	<i>Chloromonas</i> sp.	12.8
E	C-9	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	12.9
	CY-1	<i>Phormidium luridum</i>	
	CY-4	<i>Lynghia taylorii</i>	
	CY-8	<i>Oscillatoria splendida</i>	
	CY-16	<i>Trichodesmium erythraeum</i>	

KMCC: Korea Marine Microalgae Culture Center

## 2. 참전복 유생의 부착, 변태 및 먹이효율 조사

### 2. 1. 유생사육

성숙된 전복 모패의 암컷과 수컷을 분리한 후, 3시간동안 간출자극을 시킨 후, 자외선을 조사한 해수에 모패를 분리 수용하여 방란 방정을 유도하였다. 수온 21℃에서 수정을 시킨 후, 한 수조에서 발생을 시켜 56시간이 지난 veliger 유생기가 되었을 때, 실험에 사용하였다.

먼저 행하여진 부착성 미세조류의 부착률과 성장률 실험을 토대로, 각 그룹별로 부착률과 성장률을 고려하여 9종을 선정하였다. 미세조류는 유생의 부착 및 먹이효율 실험을 위해서 배양기내에서 20℃, 2000 lux, 24 L 연속조명하에서 10 mL, f/2 배지로 6-well tissue culture chamber에서 10일간 배양하였다. 전복유생의 실험을 시작할 때 먹이생물의 밀도는 Table 2에 나타내었다.

유생의 실험을 위해서 먹이생물이 배양, 부착된 chamber를 유생 사육조로 사용하였다. 미세조류를 배양한 chamber에 유생을 넣기 전 남아있는 배지의 성분을 없애기 위해서 충분히 행귀준 후, 10 mL의 여과해수를 채우고 유생을 25~35개체씩 접종하였다. 대조구로는 미세조류가 없이 여과해수만 채웠고 모든 실험구는 6반복으로 하였다. 실험은 3주동안 행해졌으며, 실험기간동안 수온은 20℃, 조도는 2000 lux, 광주기는 8(L):16(D)으로 하였다. 부착이 완료된 시점부터는 여과해수로 하루에 5ml씩 교환해 주었다.

### 2. 2. 부착과 변태

유생의 부착 및 변태에 대한 관찰은 해부 현미경을 통해서 부착기질의 면을 관찰하여 계수하고 크기를 측정하였다. 유생의 부착은 면반으로 부착기질

에 부착하였을 때, 그 유생을 부착한 개체로 측정하였고, 변태는 유생이 부착한 다음 유각이 없어지고 주구각이 생기는 시점을 변태한 개체로 측정하였다. 유생의 변태가 진행되기에 충분한 시간이 흐른 후, 변태가 되지않은 모든 유생은 모두 제거하였다. 수정 후 유생의 부착률은 7반복으로 조사하였고, 변태율은 2반복에 걸쳐 조사하였다. 계산식은 다음과 같다.

$$\text{유생 부착률(\%)} = (\text{부착 개체수} / \text{초기 개체수}) \times 100$$

$$\text{유생 변태율(\%)} = (\text{변태 개체수} / \text{초기 개체수}) \times 100$$

### 2. 3. 생존과 성장

유생의 생존은 매일 체크하여 죽은 개체는 즉시 제거하였고, 죽은 개체는 10초 동안 어떤 움직임도 없이 고정되어있거나, 심장의 뿔을 관찰할 수 없는 개체였으며 생존율은 변태하기 전과 후로 나누어 측정하였다. 유생의 성장은 각장을 이틀 간격으로 계측하여 측정하였다. 각각의 계산식은 다음과 같다.

$$\text{초기 생존율(\%)} = (\text{살아있는 개체수} / \text{초기 개체수}) \times 100$$

$$\text{후기 생존율(\%)} = (\text{살아있는 개체수} / \text{변태 개체수}) \times 100$$

$$\text{일간 성장률(\%)} = (\text{실험종료시 각장} / \text{초기 각장}) \times 100$$

### 2. 4. 먹이생물의 세포량 조사

유생 실험을 시작할 때, 초기 미세조류의 세포수는 도립현미경을 이용하여 400배의 배율로 관찰하여 부착편의 세포를 무작위로 10번 추출하여 계수한 후, 단위면적(mm<sup>2</sup>)당 세포수로 환산하여 계산하였다.

### 3. 통계분석

모든 자료의 통계처리는 Computer Program Statistix 3.1 (Analytical Software, St. Paul MN. USA)로 분산분석(ANOVA test)을 실시하여 최소유의 차검정(LSD : least significant difference)으로, 유생의 성장은 Duncan multiple range test를 이용하여 평균간의 유의성( $P < 0.05$ )을 검정하였다.

Table 2. The size and inocula density of microalgae for larval culture of *Haliotis discus hannai*

KMCC No.	Species	Inocula density (cells/mm <sup>2</sup> )
B-41	<i>Rhaphoneis</i> sp.	6.9×10 <sup>4</sup>
B-44	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	12.9×10 <sup>4</sup>
B-122	<i>Navicula</i> sp.	7.2×10 <sup>4</sup>
B-129	<i>Nitzschia</i> sp.	6.5×10 <sup>4</sup>
B-304	<i>Amphora</i> sp.	6.0×10 <sup>4</sup>
B-411	<i>Cylindrotheca closterium</i>	4.9×10 <sup>4</sup>
P-1	<i>Tetraselmis hazenii</i>	6.2×10 <sup>4</sup>
C-43	<i>Chloromanas</i> sp.	5.8×10 <sup>4</sup>
CY-8	<i>Oscillatoria splendida</i>	*

\* : 10% of fully grown density.

### Ⅲ. 결 과

#### 1. 미세조류의 부착율 및 성장률 조사

그룹별의 부착률과 성장률을 조사한 결과, A 그룹에서 성장률은 *Amphora* sp. (B-313)이 642%로 최고값을, *Achnanthes* sp.가 150.3%로 최저값을 나타내었고, *Amphora* sp. (B-313)은 *Amphora veneta* var. *coffeaiformis*를 제외한 그룹 내의 다른 종들과 비교하였을 때 유의적으로 높은 값을 나타내었다( $P < 0.05$ , Table 3). 부착률에서는 *Amphora* sp. (B-304)에서 97%로 최고값을 나타내면서 다른 종들과 비교하여 유의적으로 높은 값을 나타내었으며( $P < 0.05$ ), *Achnanthes* sp.는 13.9%의 부착률을 나타내며 *Amphora* sp. (B-313)를 제외한 다른 종들과 비교하였을 때 유의적으로 낮은 값을 나타내었다( $P < 0.05$ , Table 3). B 그룹에서는 *Navicula* sp. (B-122)가 1826%의 성장률을 보이면서 다른 실험구들과 비교하였을 때 유의적으로 높은 성장률을 보였고( $P < 0.05$ ), 부착률에서는 *Navicula cancellata*가 42.7%를 나타내면서 *Navicula incerta*, *Navicula viridis*, *Navicula* sp. (B-394)와 *Navicula* sp. (B-122)에 비해 유의적으로 낮은 값을 보였고( $P < 0.05$ ), *Navicula* sp. (B-122)은 부착율에서도 비교적 높은 값을 나타내었다(Table 4). 그룹 C에서는 *Cylindrotheca closterium*이 성장률에서 2302%로 그룹내에 다른 종들에 비해서 유의적으로 높은 값을 나타내었고( $P < 0.05$ ), 부착률에서는 *Rhaphoneis* sp.가 80.2%로 최고값을 보여 *Pleurosigma angulatum*을 제외한 다른 종들에 비해서 유의적으로 높은 값을 나타내었다( $P < 0.05$ , Table 5). 녹조류를 대상으로한 D 그룹의 실험에서 나타난 결과는 *Dunaliella tertiolecta*가 성장률에서는 최고값을 나타내었지만(593.4%), 부착률은 17%로 최저값을 나타내고 *Tetraselmis hazenii*, *Chloromonas* sp.와 비교하였을 때 유의적으로 낮은 값을 나타내었다



( $P < 0.05$ , Table 6). 남조류를 대상으로한 E 그룹의 실험 결과, 성장률은 *Phormidium luridum*, *Lynghia taylorii*, *Oscillatoria splendida* 및 *Trichodesmium erythraeum*의 전 실험구에서 유의적인 차이를 보이지 않았으며( $P < 0.05$ ), 부착물에서는 *Lynghia taylorii*와 *Oscillatoria splendida*가 각각 83.2%, 89.7%로 그룹내의 다른 실험구에 비해 유의적으로 높은 값을 나타내었다( $P < 0.05$ , Table 7).

부착한 생물량을 살펴보면, A 그룹에서는 *Amphora* sp. (B-304)가 483 mg으로 그룹내의 다른 실험구들과 비교 하여 유의적으로 높은 값을 나타내었으며( $P < 0.05$ ), *Achnanthes* sp.는 22 mg으로 최저값을 나타내면서 유의적으로 낮았다( $P < 0.05$ , Fig. 1). B 그룹내에서는 *Navicula* sp. (B-122)가 1254 mg으로 유의적으로 높은 부착생물량을 보였고( $P < 0.05$ ), *Navicula cancellata*는 152 mg의 최저값으로 유의적으로 낮았다( $P < 0.05$ ). C 그룹에서는 *Cylindrotheca closterium*이 558 mg으로 최고값을 보이면서 그룹내의 다른 실험구와 비교하였을 때, 유의적으로 높은 부착생물량을 보였으며( $P < 0.05$ ), 다음으로 *Rhaphoneis* sp., *Nitzschia* sp., *Phaeodactylum tricorutum*이 각각 311 mg, 315 mg, 334 mg으로 높은 부착생물량을 나타내었다(Fig. 3).

녹조류와 담녹조류를 대상으로 한 D 그룹의 부착생물량을 살펴보면, *Chloromonas* sp.와 *Tetraselmis hazennii*가 각각 377 mg과 186 mg으로 그룹내에서는 높은 값을 나타내었다(Fig. 4).

남조류를 대상으로 부착생물량을 알아본 E 그룹의 결과는, *Oscillatoria splendida*가 774 mg으로 그룹내 다른 실험구와 비교하였을 때, 유의적으로 높은 값을 나타내었다( $P < 0.05$ , Fig. 5).

Table 3. The adhesive and growth rate of microalgae in group A

KMCC No.	Species	Growth rate (%)	Adhesive rate (%)
B-564	<i>Achnanthes</i> sp.	150.27 <sup>f</sup>	13.86 <sup>e</sup>
B-106	<i>Amphiprora gigantea</i> var. <i>sulcata</i>	362.78 <sup>de</sup>	44.35 <sup>c</sup>
B-186	<i>Amphora lineata</i>	430.39 <sup>cd</sup>	30.99 <sup>cd</sup>
B-102	<i>Amphora veneta</i> var. <i>coffaeiformis</i>	592.89 <sup>ab</sup>	42.22 <sup>c</sup>
B-195	<i>Amphora delicatissima</i>	254.44 <sup>ef</sup>	65.98 <sup>b</sup>
B-113	<i>Amphora delicatissima</i>	239.70 <sup>ef</sup>	39.22 <sup>cd</sup>
B-304	<i>Amphora</i> sp.	497.51 <sup>bc</sup>	97.01 <sup>a</sup>
B-313	<i>Amphora</i> sp.	641.97 <sup>a</sup>	24.42 <sup>de</sup>

Data in columns followed by different superscripts were significantly different (P<0.05).

Table 4. The adhesive and growth rate of microalgae in group B

KMCC No.	Species	Growth rate (%)	Adhesive rate (%)
B-4	<i>Navicula cancellata</i>	359.14 <sup>e</sup>	42.70 <sup>b</sup>
B-1	<i>Navicula incerta</i>	597.11 <sup>cde</sup>	70.79 <sup>a</sup>
B-48	<i>Navicula elegans</i>	843.08 <sup>b</sup>	56.91 <sup>ab</sup>
B-5	<i>Navicula viridis</i>	606.08 <sup>bcd</sup>	70.97 <sup>a</sup>
B-81	<i>Navicula annexa</i>	487.04 <sup>de</sup>	63.49 <sup>ab</sup>
B-394	<i>Navicula</i> sp.	838.08 <sup>bc</sup>	72.21 <sup>a</sup>
B-122	<i>Navicula</i> sp.	1826.37 <sup>a</sup>	68.64 <sup>a</sup>

Data in columns followed by different superscripts were significantly different ( $P < 0.05$ ).

Table 5. The adhesive and growth rate of microalgae in group C

KMCC No.	Species	Growth rate (%)	Adhesive rate (%)
B-410	<i>Trachyneis aspera</i>	359.55 <sup>d</sup>	40.38 <sup>d</sup>
B-8	<i>Nitzschia dissipata</i>	161.32 <sup>e</sup>	66.92 <sup>c</sup>
B-41	<i>Rhaphoneis</i> sp.	389.33 <sup>d</sup>	80.22 <sup>a</sup>
B-326	<i>Cocconeis californica</i>	217.33 <sup>e</sup>	69.02 <sup>bc</sup>
B-39	<i>Caloneis schroder</i>	261.80 <sup>de</sup>	71.65 <sup>bc</sup>
B-384	<i>Pleurosigma angulatum</i>	256.69 <sup>de</sup>	76.89 <sup>ab</sup>
B-411	<i>Cylindrotheca closterium</i>	2301.86 <sup>a</sup>	24.34 <sup>f</sup>
B-129	<i>Nitzschia</i> sp.	1057.20 <sup>b</sup>	29.80 <sup>ef</sup>
B-44	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	901.10 <sup>c</sup>	36.92 <sup>de</sup>

Data in columns followed by different superscripts were significantly different (P<0.05).

Table 6. The adhesive and growth rate of microalgae in group D

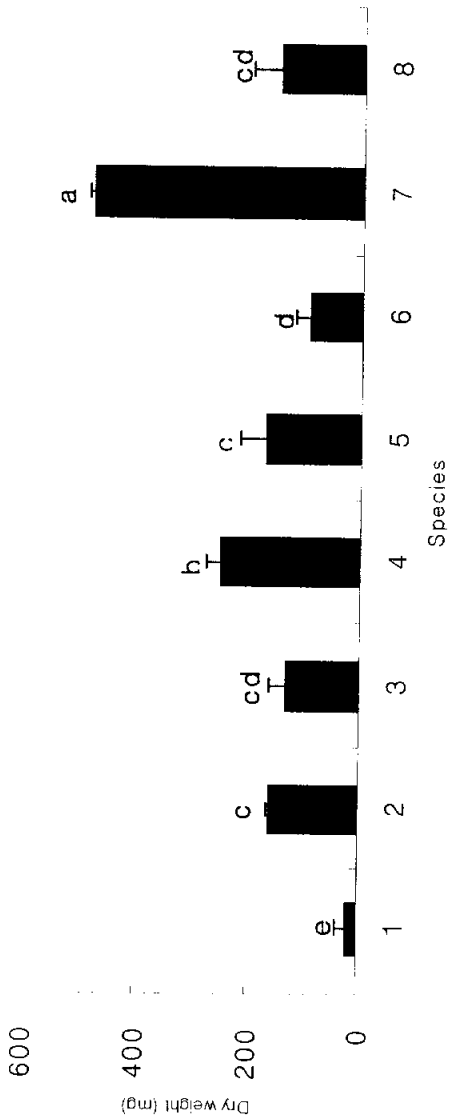
KMCC No.	Species	Growth rate (%)	Adhesive rate (%)
P-1	<i>Tetraselmis hazennii</i>	274.87 <sup>b</sup>	68.69 <sup>a</sup>
C-9	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	593.36 <sup>a</sup>	16.96 <sup>b</sup>
C-43	<i>Chloromonas</i> sp.	432.27 <sup>ab</sup>	87.25 <sup>a</sup>

Data in columns followed by different superscripts were significantly different (P<0.05).

Table 7. The adhesive and growth rate of microalgae in group E

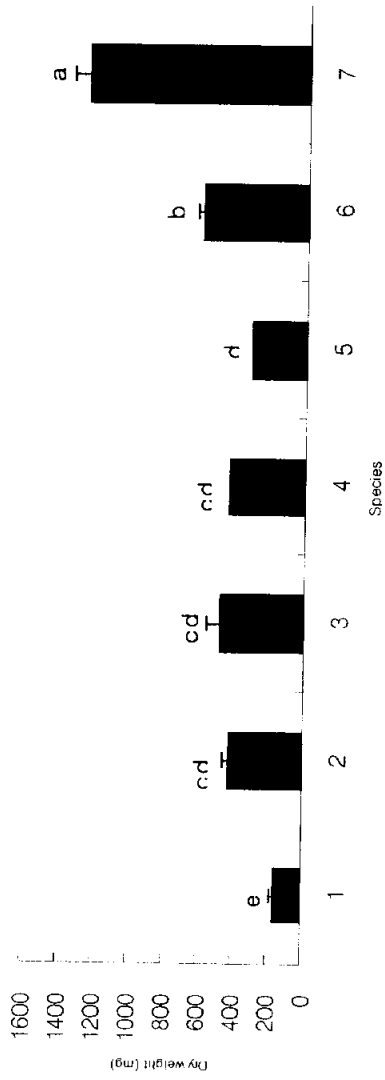
KMCC No.	Species	Growth rate (%)	Adhesive rate (%)
CY-1	<i>Phormidium luridum</i>	1377.56 <sup>a</sup>	10.64 <sup>b</sup>
CY-4	<i>Lynghia taylorii</i>	675.64 <sup>a</sup>	83.18 <sup>a</sup>
CY-8	<i>Oscillatoria splendida</i>	862.64 <sup>a</sup>	89.67 <sup>a</sup>
CY-16	<i>Trichodesmium erythraeum</i>	995.71 <sup>a</sup>	5.73 <sup>b</sup>

Data in columns followed by different superscripts were significantly different (P<0.05).



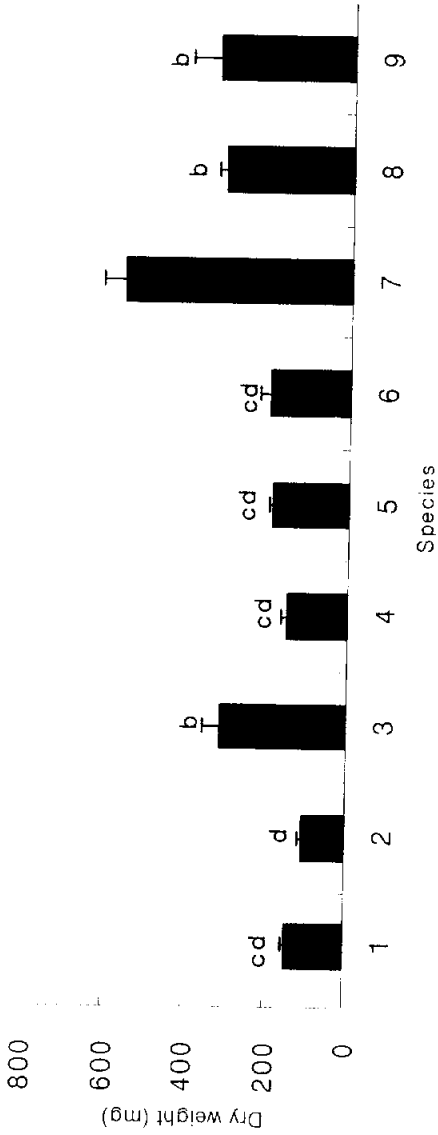
1: *Achnanthes* sp., 2: *Amphiprora gigantea* var. *sulcata*, 3: *Amphora lineata*, 4: *Amphora veneta* var. *coffeaeformis*, 5: *Amphora delicatissima*, 6: *Amphora delicatissima*, 7: *Amphora* sp., 8: *Amphora* sp.

Figure 1. Total attached biomass of cultured microalgae in group A. Different letters on the histogram were significantly different ( $P < 0.05$ ).



1: *Navicula cancellata*, 2: *Navicula incerta*, 3: *Navicula elegans*, 4: *Navicula viridis*,  
 5: *Navicula annexa*, 6: *Navicula sp.*, 7: *Navicula sp.*

Figure 2. Total attached biomass of cultured microalgae in group B. Different letters on the histogram were significantly different ( $P < 0.05$ ).

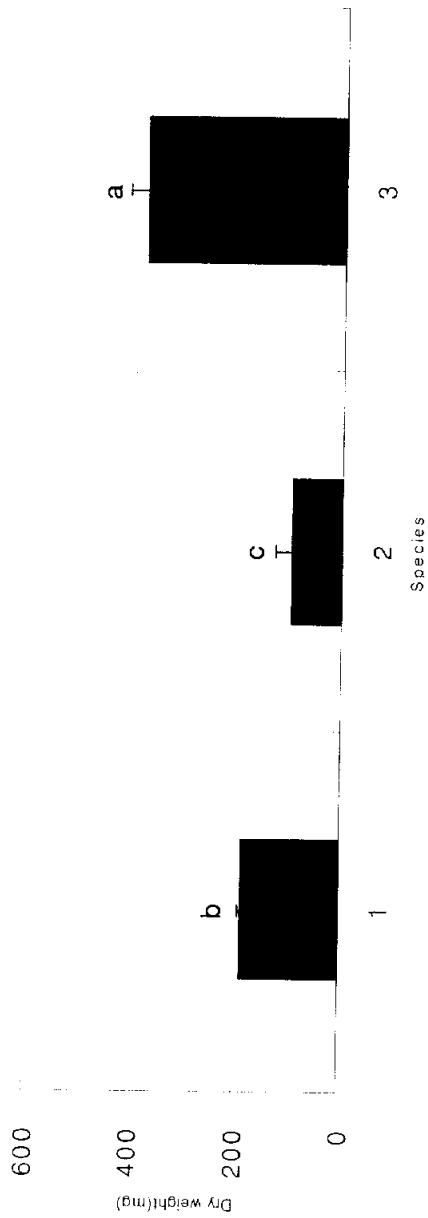


1: *Trachymeis aspera*, 2: *Nitzschia dissipata*, 3: *Rhaphoneis* sp., 4: *Cocconeis californica*, 5: *Caloneissschroder*,  
6: *Pleurosigma angulatum*, 7: *Cylindrotheca closterium*, 8: *Nitzschia* sp., 9: *Phaeodactylum tricornutum*

Figure 3. Total attached biomass of cultured microalgae in group C.

Different letters on the histogram were significantly different ( $P < 0.05$ ).

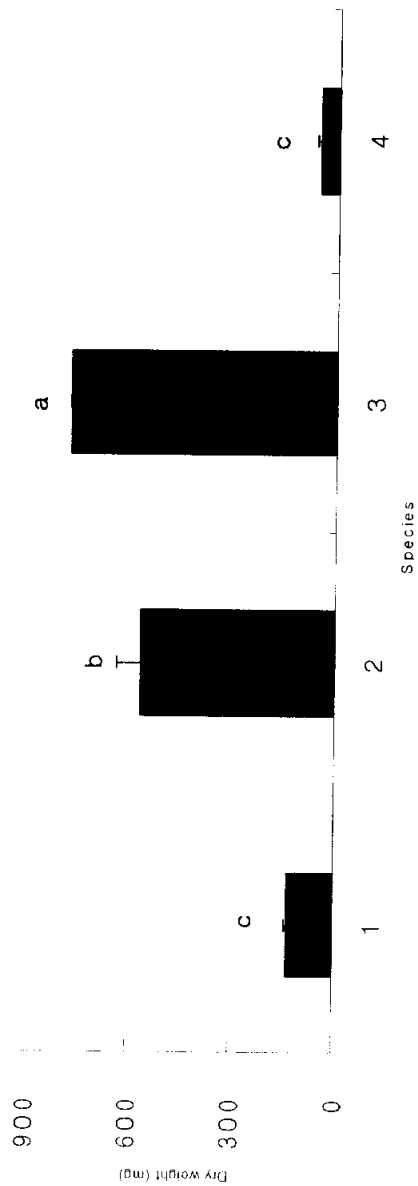




1: *Tstraelmis hazennii*, 2: *Dunaliella tertiolecta*, 3: *Chloromonas sp.*

Figure 4. Total attached biomass of cultured microalgae in group D.

Different letters on the histogram were significantly different ( $P < 0.05$ ).



1: *Phormidium luridum*, 2: *Lynghia taylorii*, 3: *Oscillatoria splendida*, 4: *Trichodesmium erythraeum*

Figure 5. Total attached biomass of cultured microalgae in group E.

Different letters on the histogram were significantly different ( $P < 0.05$ ).

## 2. 참전복 유생의 부착, 변태 및 먹이효율 조사

### 2. 1. 유생의 부착률과 변태율

참전복 유생의 부착률은 veliger 유생기에서 실험을 시작한 후, 1시간이 지난 후부터 즉시 부착기질에 대한 반응이 나타나서 부착활동을 시작하였다 (Table 8). 전반적으로 24시간이 지났을 때 부착률은 전 실험구에서 높게 나타났고, 이후 부착률이 다시 감소하는 경향을 보였다. 하지만 대조구에서는 96시간이 될 때까지 꾸준히 조금씩 부착률이 증가하는 경향을 보였다(Table 8).

24시간이 지난 후, 참전복 유생의 부착기질로 먹이생물의 분류군별로 볼 때, 모든 실험구에서 대조구보다 부착률은 높게 나타났으며, *Phaeodactylum tricornutum*을 제외한 모든 실험구와 대조구는 유의적인 차이를 보였다( $P < 0.05$ , Table 8), 규조류에서는 *Rhaphoneis* sp.과 *Nitzschia* sp.가 각각 98.3%와 91.2%로 높은 부착률을 보이며 다른 실험구와 유의적으로 높은 결과를 나타내었으며 ( $P < 0.05$ ), 그 외에는 *Tetraselmis hazennii*가 79.6%로 높게 나타났다(Table 8). *Oscillatoria splendida*를 부착기질로 사용한 실험구에서는 다른 실험구와 비교해 볼 때, 12시간째 63.2%의 부착률을 보여 비교적 빠른 시간내에 유생이 부착한 것으로 판단된다(Table 8).

96시간이 지난 후 유생의 부착률을 비교해 보면, *Rhaphoneis* sp.와 *T. hazennii*가 각각 65.3%와 68.6%로 높은 값을 나타내며 다른 실험구들과 비교하였을 때 유의적으로 높은 값을 나타내며( $P < 0.05$ ), 반면 *P. tricornutum*의 실험구에서는 대조구를 포함한 다른 모든 실험구보다 유의적으로 낮은 값을 나타내었다( $P < 0.05$ , Table 8). *Nitzschia* sp.의 실험구는 24시간째는 91.2%로 높은 값을 나타내었지만, 그 후로 급격히 감소하여 96시간째 유생의 부착율은 49.6%로 줄어드는 경향을 나타내었다(Table 8).

참전복 유생의 변태는 실험시작 후, 4일이 지났을 때부터 높은 진행을 보였다. 실험시작 후 4일째 실험구 *Amphora* sp., *Cylindrotheca closterium*과 *Chloromanas* sp.는 대조구와 비교하였을때에도 유의적으로 낮은 변태율을 나타내었고( $P<0.05$ ), 6일이 지난후에도 *C. closterium*은 대조구보다 유의적으로 낮은 변태율을 보였다( $P<0.05$ , Fig. 6).

*Rhaphoneis* sp.의 실험구는 4일째 변태율 38.7%로 최고값을 나타내며 다른 실험구들에 비해 유의적으로 높은 경향을 보이며( $P<0.05$ , Fig. 6), 6일이 지난후에도 변태율은 증가하여 유생의 변태율은 57.4%로 유의적으로 높은 값을 나타내었다( $P<0.05$ , Fig. 6). 뒤이어 *O. splendida*이 29.1%, *T. hazennii*가 22.3%로 높은 변태율을 나타내었다(Fig. 6).

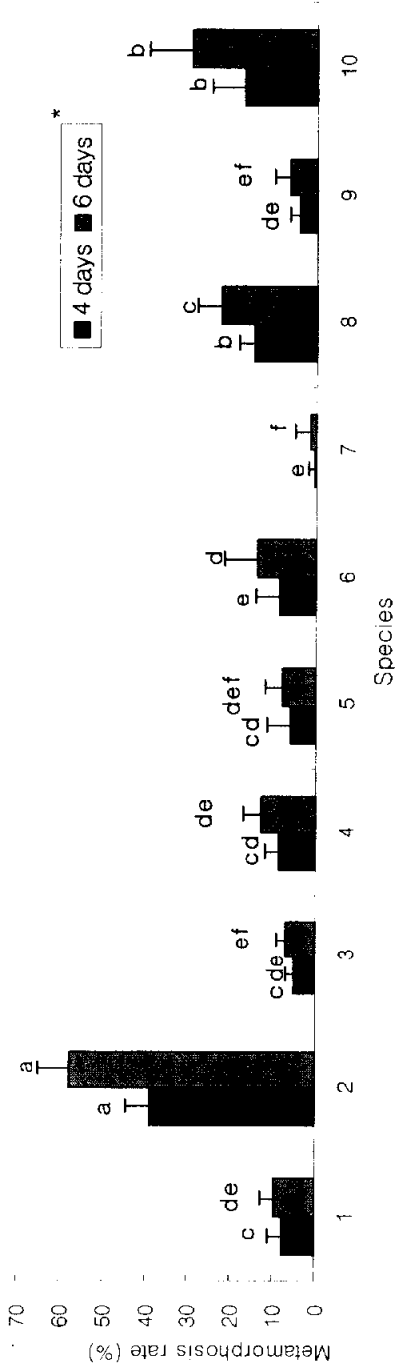
4일째와 6일째 모두 *Rhaphoneis* sp.을 공급한 실험구가 다른 실험구에 비해 유의적으로 높게 나타났다( $P<0.05$ , Fig. 6).

Table 8. Percentage of larval attachment of *Haliotis discus hannai* on different microalgae

KMCC No.	Microalgae	Elapsed times *								
		1 hrs	6 hrs	12 hrs	24 hrs	48 hrs	72 hrs	96hrs		
	Control	4.4 <sup>abc</sup>	19.8 <sup>de</sup>	35.8 <sup>e</sup>	36.4 <sup>f</sup>	35.0 <sup>d</sup>	38.8 <sup>c</sup>	39.3 <sup>d</sup>		
B-41	<i>Rhaphoneis</i> sp.	4.9 <sup>ab</sup>	21.7 <sup>cde</sup>	51.1 <sup>bc</sup>	98.3 <sup>a</sup>	95.3 <sup>a</sup>	86.8 <sup>a</sup>	65.3 <sup>a</sup>		
B-44	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	6.4 <sup>a</sup>	5.7 <sup>f</sup>	31.1 <sup>e</sup>	42.2 <sup>ef</sup>	34.8 <sup>d</sup>	23.0 <sup>d</sup>	21.2 <sup>e</sup>		
B-122	<i>Navicula</i> sp.	5.3 <sup>ab</sup>	34.5 <sup>a</sup>	53.2 <sup>abc</sup>	65.6 <sup>c</sup>	64.4 <sup>b</sup>	64.4 <sup>b</sup>	52.6 <sup>c</sup>		
B-129	<i>Nitzschia</i> sp.	4.9 <sup>ab</sup>	28.2 <sup>ab</sup>	61.1 <sup>ab</sup>	91.2 <sup>a</sup>	87.3 <sup>a</sup>	45.1 <sup>c</sup>	49.6 <sup>c</sup>		
B-304	<i>Amphora</i> sp.	2.1 <sup>cde</sup>	27.7 <sup>bc</sup>	33.2 <sup>e</sup>	64.8 <sup>cd</sup>	65.8 <sup>bc</sup>	59.4 <sup>b</sup>	39.1 <sup>d</sup>		
B-411	<i>Cylindrotheca closterium</i>	1.6 <sup>de</sup>	16.0 <sup>e</sup>	20.8 <sup>f</sup>	46.2 <sup>e</sup>	30.8 <sup>d</sup>	29.3 <sup>c</sup>	23.9 <sup>d</sup>		
P-1	<i>Tetraselmis hazennii</i>	4.4 <sup>bcd</sup>	25.2 <sup>bcd</sup>	48.6 <sup>cd</sup>	79.6 <sup>b</sup>	58.1 <sup>c</sup>	64.8 <sup>b</sup>	68.6 <sup>a</sup>		
C-43	<i>Chloromanas</i> sp.	0.6 <sup>e</sup>	4.0 <sup>f</sup>	38.7 <sup>de</sup>	57.3 <sup>d</sup>	37.6 <sup>d</sup>	40.2 <sup>c</sup>	34.6 <sup>d</sup>		
CY-8	<i>Oscillatoria splendida</i>	3.9 <sup>bcd</sup>	17.2 <sup>e</sup>	63.2 <sup>a</sup>	69.0 <sup>c</sup>	69.8 <sup>b</sup>	66.3 <sup>b</sup>	56.7 <sup>bc</sup>		

Data in columns followed by different superscripts were significantly different ( $P < 0.05$ ).

\* Hours after inoculation of veliger larvae grown for 84 hours after fertilization.



1: Control, 2: *Rhaphoneis* sp., 3: *Phaeodactylum tricornutum*, 4: *Navicula* sp., 5: *Nitzschia* sp.,  
 6: *Amphora* sp., 7: *Cylindrotheca closterium*, 8: *Tertiaselmis hazennii*, 9: *Chloromonas* sp., 10: *Oscillatoria splendida*

Figure 6. Percentage of larval metamorphosis of *Haliotis discus hannai* on different microalgae (Vertical bar indicates the standard error; n = 6 replicates).

Different letters on the histogram were significantly different (P<0.05).

\* Hours after inoculation of veliger larvae grown for 84 hours after fertilization.

## 2. 2. 변태가 진행된 유생의 생존율 및 성장

유생의 생존율은 변태 전과 후로 나누어 조사를 하였는데, 변태 전 생존율에서는 24시간과 48시간이 지난 후 *C. closterium*의 실험구에서 유의적으로 낮은 값을 보였고( $P < 0.05$ ), 96시간째에도 *P. tricornutum*의 실험구와 함께 유의적으로 낮은 값을 나타내었다( $P < 0.05$ , Fig. 6).

*O. splendida*의 실험구에서 96시간째 생존율은 81.1%로 최고값을 보이며, *P. tricornutum*와 *C. closterium*를 공급한 실험구에서 각각 28.8%와 27.2%로 유의적으로 낮은 생존율을 나타냈다( $P < 0.05$ , Table 9). 또한 *Chloromanas* sp., *P. tricornutum*과 *C. closterium*은 96시간이 지난 후, 생존율을 대조구와 비교하였을 때, 유의적으로 낮은 값을 나타내었다( $P < 0.05$ , Fig. 6).

변태 후 유생의 생존율을 보면, 15일 후 *Rhaphoneis* sp.을 공급한 실험구에서 67.0%로 최고값을 나타내면서 다른 실험구와 유의적인 차이를 보였다( $P < 0.05$ , Fig. 7). 변태가 진행된 후, *P. tricornutum*와 *C. closterium*에서는 각각 4일과 2일이 지났을 때 전 개체가 사망하였다(Fig. 7). 또한, 15일이 지난 후, 실험구별로 생존율을 살펴보면 *Rhaphoneis* sp., *T. hazennii*와 *O. splendida*의 실험구를 제외한 다른 모든 실험구에서 대조구보다 유의적으로 낮은 값을 나타내었다( $P < 0.05$ , Fig. 7).

변태한 유생의 성장을 살펴보면, 변태 직후부터 먹이를 먹기 시작하여 지속적인 성장을 보였으며, 먹이가 공급되지 않은 대조구에서도 성장이 되는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 8). *P. tricornutum*은 344  $\mu\text{m}$ 까지, 그리고 *C. closterium*은 304  $\mu\text{m}$ 까지 성장한 후 전 개체가 사망하였다(Fig. 8).

*Rhaphoneis* sp.의 실험구는 실험 종료시, 807  $\mu\text{m}$ 까지 성장하면서 다른 모든 실험구에 비해 유의적으로 높은 성장을 나타내었다( $P < 0.05$ ). 또한 *Navicula* sp.,

*Nitzschia* sp., *Amphora* sp., *T. hazennii*와 *O. splendida*의 실험구 사이에는 유의적인 차이를 보이지 않으면서( $P>0.05$ ) *Rhaphoneis* sp.의 실험구에 이어 높은 성장을 나타내었다(Fig. 8). 또 *Chloromanas* sp.의 실험구는 최종 성장이  $536\ \mu\text{m}$ 을 나타내었지만, 대조구와는 유의적으로 차이를 보이지 않았다( $P>0.05$ , Fig. 8).

각 실험구별 일간 성장을 보면, 먹이를 공급하지 않은 대조구가  $10.9\ \mu\text{m}$ , *Rhaphoneis* sp.의 실험구가  $25.3\ \mu\text{m}$ 의 최고값을 나타내었으며, 그 외 실험종료시까지 생존한 개체가 있는 실험구 개체들은  $10\sim 20\ \mu\text{m}$ 사이의 일간 성장을 보였다(Fig. 9).



Table 9. Survival (%) of *Haliotis discus hannai* larvae from veliger stage to attachment before metamorphosis

KMCC No.	Microalgae	Elapsed times *			
		24 hrs	48 hrs	72 hrs	96 hrs
B-41	Control	100.0 ± 0.0 <sup>a</sup>	98.3 ± 1.8 <sup>ab</sup>	88.6 ± 2.2 <sup>ab</sup>	69.0 ± 8.1 <sup>bcd</sup>
B-44	<i>Rhaphoneis</i> sp.	100.0 ± 0.0 <sup>a</sup>	99.5 ± 1.2 <sup>a</sup>	94.8 ± 4.2 <sup>a</sup>	77.3 ± 5.9 <sup>ab</sup>
B-122	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	100.0 ± 0.0 <sup>a</sup>	92.6 ± 5.8 <sup>abc</sup>	80.8 ± 10.9 <sup>bc</sup>	28.8 ± 5.9 <sup>f</sup>
B-129	<i>Navicula</i> sp.	98.8 ± 1.8 <sup>b</sup>	91.9 ± 2.7 <sup>bc</sup>	88.3 ± 2.0 <sup>ab</sup>	67.7 ± 9.4 <sup>cd</sup>
B-304	<i>Nitzschia</i> sp.	100.0 ± 0.0 <sup>a</sup>	97.3 ± 2.5 <sup>ab</sup>	63.3 ± 10.1 <sup>d</sup>	60.0 ± 10.6 <sup>d</sup>
B-411	<i>Amphora</i> sp.	100.0 ± 0.0 <sup>a</sup>	98.9 ± 1.6 <sup>ab</sup>	95.4 ± 4.9 <sup>a</sup>	75.0 ± 4.6 <sup>abc</sup>
P-1	<i>Cylindrotheca closterium</i>	96.2 ± 2.4 <sup>c</sup>	80.8 ± 13.1 <sup>d</sup>	77.1 ± 12.5 <sup>c</sup>	27.2 ± 7.5 <sup>f</sup>
C-43	<i>Tetraselmis hazenii</i>	100.0 ± 0.0 <sup>a</sup>	89.0 ± 8.7 <sup>c</sup>	87.5 ± 8.2 <sup>ab</sup>	71.2 ± 8.9 <sup>bc</sup>
CY-8	<i>Chloromanas</i> sp.	100.0 ± 0.0 <sup>a</sup>	64.3 ± 10.3 <sup>e</sup>	49.8 ± 7.8 <sup>e</sup>	44.2 ± 8.6 <sup>e</sup>
	<i>Oscillatoria splendida</i>	100.0 ± 0.0 <sup>a</sup>	97.7 ± 3.0 <sup>ab</sup>	92.3 ± 6.3 <sup>a</sup>	81.1 ± 6.7 <sup>a</sup>

Data in columns followed by different superscripts were significantly different (P<0.05).

\* Hours after inoculation of veliger larvae grown for 84 hours after fertilization.

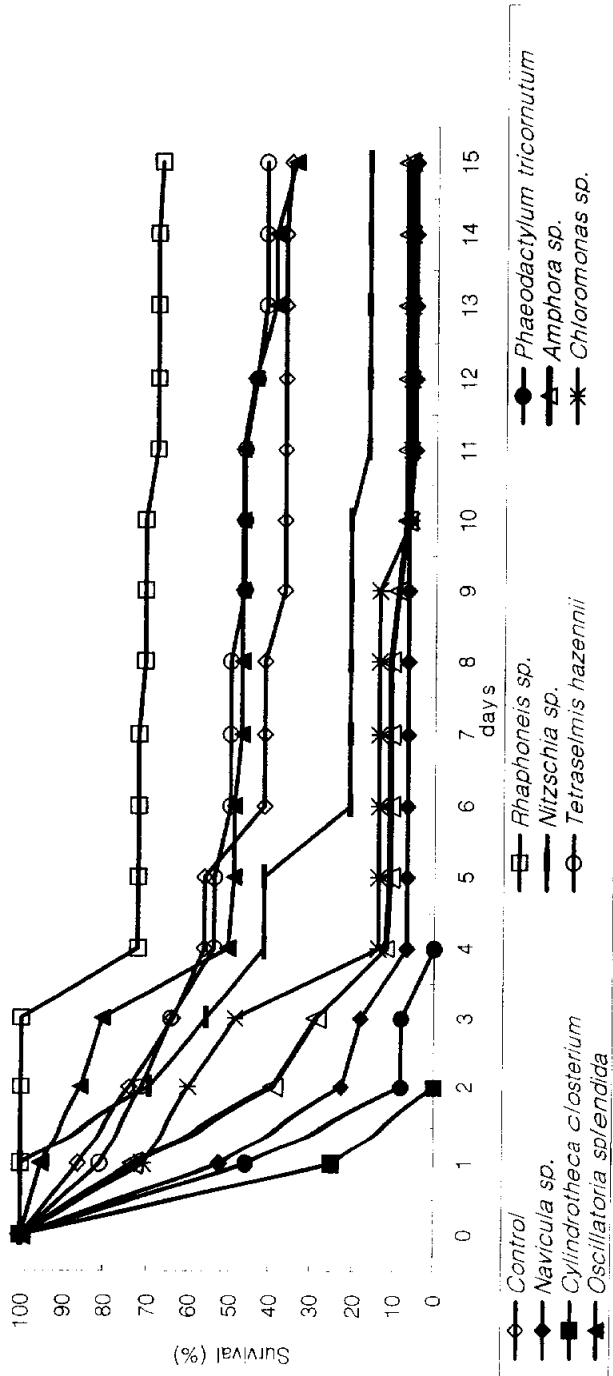


Figure 7. Survival (%) for *Haliotis discus hannai* larvae fed on different microalgae larvae after metamorphosis.

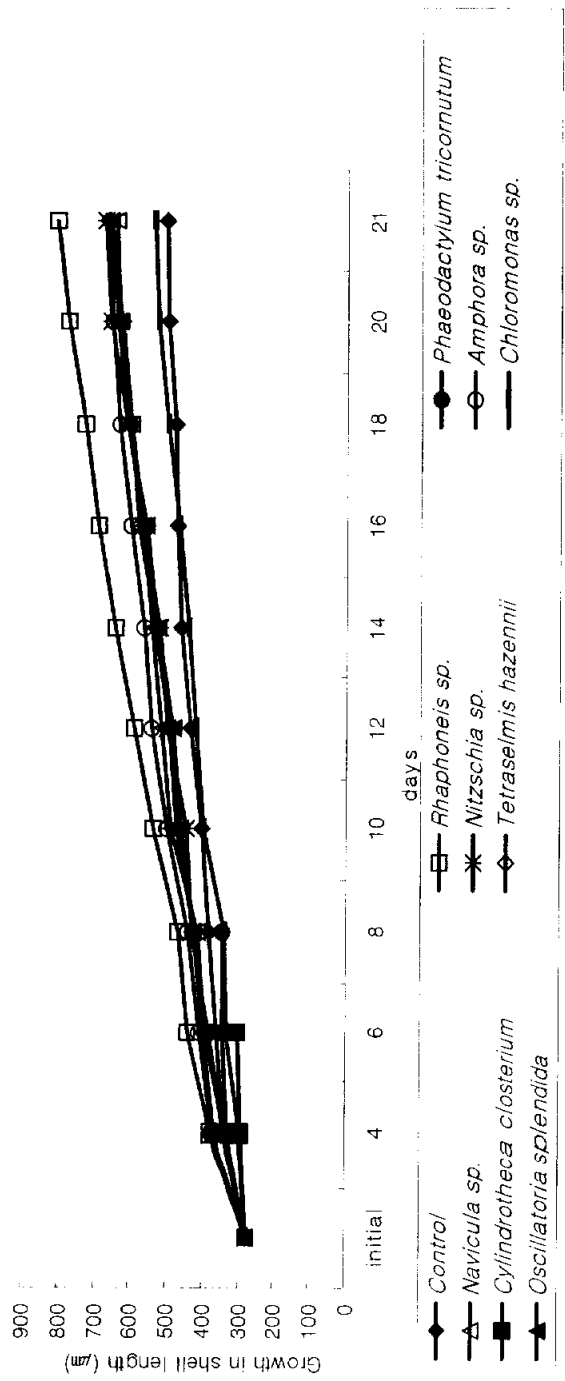
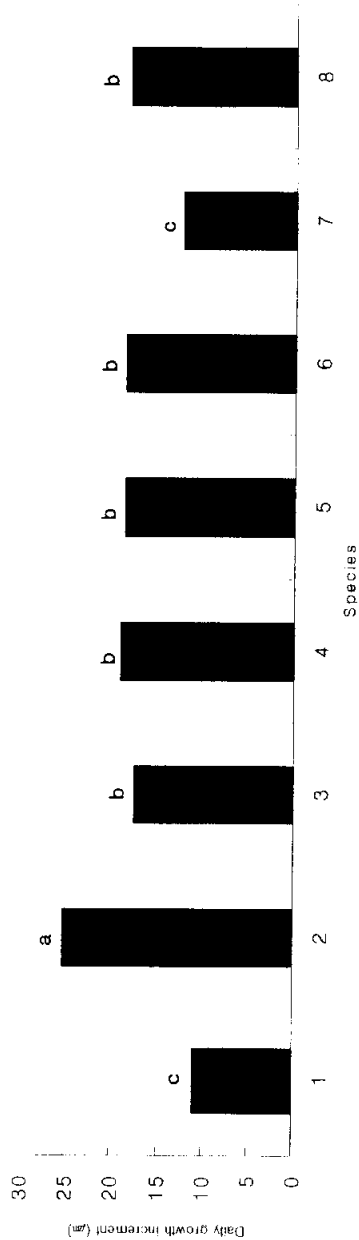


Figure 8. Growth in shell length of *Haliotis discus hannui* larvae fed on different microalgae from veliger larvae grown for 84 hours after fertilization.



1. Control, 2. *Rhaphoneis* sp., 3. *Navicula* sp., 4. *Nitzschia* sp., 5. *Amphora* sp.,  
6. *Tetraselmis hazemii*, 7. *Chloromonas* sp., 8. *Oscillatoria splendida*

Figure 9. Daily growth increment in shell length of *Haliotis discus hannai* larvae fed on different microalgae for 21 days from the veliger grown for 84 hours after fertilization.

Different letters histogram were significantly different ( $P < 0.05$ ).

## IV. 고찰

참전복(*Haliotis discus hannai*)의 유생은 수정 후, 20℃에서 약 96시간이 지나면 부착할 수 있는 능력을 가지고 부착기질로 이동하기 시작한다. 부착능력을 가진 유생들은 다른 해양 무척추동물과 같이 수면에서 유영생활을 하면서 부착기질에 착저하였다가 다시 떨어지는 행위를 반복하여 진행한다(Seki and Kan-no, 1981). 이런 행위는 유생이 착저하기에 적합한 기질을 찾기 위한 것이라 할 수 있으며, 적합한 부착면에 착저하였을 때 유생은 편모를 상실하면서 유영능력을 잃게 된다. 그 후 유생은 빠른 속도로 주구각을 형성하면서 변태하여 섭이활동을 시작하면서 본격적인 저서생활로 접어든다. 본 실험에서 21℃에서 56시간동안 발생시킨 veliger기 유생으로 실험을 실시한 경우, 실험 시작 1시간 후부터 96시간이 될 때까지 부착과 유영생활을 반복하면서 시간이 지남에 따라 부착률의 차이를 보였다. 대부분의 실험구에서 24시간째 높은 부착률을 보이다가 다시 조금씩 감소하는 경향을 보였으며, 96시간째 대부분의 개체에서 편모가 탈락하면서 본격적인 저서생활로 들어갔다. 본 실험에서 96시간째 *Rhaphoneis* sp.와 *Tetraselmis hazennii*에서의 유생의 부착률이 유의적으로 높아( $P < 0.05$ ), 본 실험에서는 이 두 종이 미세조류로 이루어진 생물학적인 부착기질로 적합하다고 판단된다.

많은 해양 무척추동물 유생의 부착과 변태는 GABA (gamma-aminobutyric acid) (Morse et al., 1979; Akashige et al., 1981), choline (Hirata and Hadfield, 1986; Todd et al., 1991), 과포화 칼륨(Yool et al., 1986; Pechenik and Heyman 1987; Pechenik and Gee, 1993)과 같은 화학물질이나, 동종의 어미에서 분비되는 물질(Crisp and Meadows, 1962; Seki and Kan-no,

1981; Burke, 1984; Pawlik, 1986; Bonar et al., 1990; Pearce and Scheibling, 1990; Slattery, 1992; Zimmerfaust and Tamburri, 1994), 규조류와 박테리아로 구성된 막(Kirchman et al., 1982; Maki et al., 1989; Fitt et al., 1990; Zimmerfaust and Tamburri, 1994), 그리고, 먹이(Steneck, 1982; Morse and Morse, 1984; Todd, 1985; Hadfield and Pennington, 1990; Pearce and Scheibling, 1991)에 의해서 반응된다고 보고되어지고 있다. 본 실험에서는 부착기질과 동시에 초기 먹이로 이용될 수 있는 규조류와 함께 다른 속의 미세조류를 부착기질로 알아보았는데, 녹조류인 *Tetraselmis hazennii*가 규조류와 비슷한 전복 유생의 부착률을 보여 먹이생물로써 적용이 가능한 것으로 생각되었다.

규조막은 참전복(*H. discus hannai*) (Seki and Kan-no, 1981)과 *H. rufescens* (Slattery, 1992)에 있어서 부착과 변태를 진행시킨다고 보고되었다. 본 실험의 결과에서도 참전복 유생은 *Rhaphoneis* sp.에서 높은 부착율과 변태율을 나타내었다. 뿐만 아니라, 본 연구에서는 규조류를 제외한 남조류 즉, *Oscillatoria splendida*와 같은 종에서도 30%에 가까운 변태율을 나타냄으로써 *Rhaphoneis* sp.를 제외한 다른 규조류들보다 유생의 변태율에 있어서 좋은 효과를 나타내었다.

Roberts and Nicholson (1997)과 Kawamura and Kikuchi (1992)는 *Cocconeis scutellum*이 *H. virginea*와 *H. discus hannai* 유생에 높은 부착률을 유도시키며, *Navicula ramosissima*는 *H. discus hannai* 유생의 높은 부착률을 유도시킨다고 보고하고있다. 본 실험에서 *H. discus hannai* 유생은 규조류인 *Rhaphoneis* sp.와 담녹조류인 *Tetraselmis hazennii*에서 높은 부착률을 보였다. 이렇듯 여러 실험에서 서로 다른 종들이 전복 유생의 높은 부착률을 보이는데 이것은 미세조류의 종별 특징때문이라고 할 수 있다. 그리고 각 미세조류의 크기와 모양 및 부착형태와 부착률 또한 전복 유생의 부착 및 변태의 기질에

영향을 주는 것으로 판단된다.

Kawamura et al. (1998a)는 변태한 직후에는 유생은 난황으로부터 영양물질을 공급받는다고 하였고 그런 이유로 다른 먹이종에 따른 차이를 초기에는 관찰하지 못한다고 하였다. 또한 초기에는 소화계통의 발달이 미약하여 유생은 먹이의 이용능력이 확실하지 않다고 한다(Robert et al., 1999). 다른 연구에서도 참전복 유생은 변태 후, 10일 동안은 난황이 주 영양원이고 각장 400  $\mu\text{m}$ 까지는 다른 영양원이 없이도 성장한다고 하였다(Takami et al., 2000). 본 연구에서도 유생의 성장을 볼 때, *Rhaphoneis* sp.를 제외한 다른 종들과 먹이를 주지않은 대조구 사이에서 초기 성장에 있어 큰 차이를 확인하지 못하였는데 그것은 유생이 초기에는 다른 미세조류보다 스스로의 몸에 지니고 있는 난황을 충분한 영양분으로 이용하고 있기 때문으로 사료된다. 다만 *Rhaphoneis* sp.와 같은 먹이생물은 변태 직후부터 대조구에 비해서 높은 성장을 나타낸 것으로 보아 초기에 이용할 수 있는 좋은 먹이생물이라고 할 수 있다. 또한 본 연구에서 미세조류를 먹이로 공급하지 않은 대조구에서 실험 종료시 500  $\mu\text{m}$ 정도까지 성장을 한 것은 여과해수내에 존재하는 미세한 박테리아나 그 외 초미세균집과 용존 유기물 등이 미흡한 영양원으로 이용되었을 가능성이 있기 때문이라 사료된다.

전복 유생의 변태 후, 규조류를 초기 먹이생물로 이용하였을 때 규조류의 영양원을 충분히 섭취하지 못하여 높은 사망률이 나타나고, 유생은 각장 800  $\mu\text{m}$ 에 이르기까지 영양원으로써 규조류 세포내의 물질을 섭취하는 것보다 세포 외 분비물을 효과적인 영양원으로 이용한다는 보고가 있다(Kawamura and Takami, 1995). 본 실험의 결과에서 *Phaeodactylum tricornutum*, *Cylindrotheca closterium*은 각 각 344  $\mu\text{m}$ , 305  $\mu\text{m}$ 까지 성장하고 전 개체가 사망한 결과를 보였는데, 그것은 이 두 미세조류가 전복의 초기 먹이생물로 적합하지 않다는 것을 뒷받침한다. 또한, *Phaeodactylum tricornutum*, *Cylindrotheca closterium*은

초기 먹이원으로도 부적절할 뿐만 아니라, 부착기질로써 유생의 부착과 변태의 유발에도 부적합한 것으로 판단된다(Fig. 6).

전복 유생은 변태 후, 적어도 2일 안에 입이 열리고 먹이를 섭취하기 시작한다고 한다(Seki and Kan-no, 1981; Norman-Boudreau et al., 1986; Roberts et al., 1999). 만약에 이용가능한 미세조류라면, 유생은 변태 후 이틀 내에 먹이를 먹을 수 있다(Martinez-Ponce and Searcy-Bernal, 1998; Roberts et al., 1999). 그리고 다른 먹이원으로는 박테리아나 다른 세포의 물질을 포함한다(Garland et al., 1985; Kawamura, 1996; Kitting and Morse, 1997). 그러나 보고되어진 바에 의하면 초미세 먹이(Garland et al., 1985; Kitting and Morse, 1997; Takami et al., 1997)보다는 규조류들이 더욱 빠른 성장을 한다고 한다(Takami et al., 1997; Kawamura et al., 1998a; Roberts et al., 1999). 변태 후의 어린 유생들은 규조류의 세포 크기, 형태, 부착강도 등의 특징 때문에(Kawamura et al., 1998b; Roberts et al., 1999) 어떤 규조류들을 효과로 이용하지 못한다고 한다.(Norman-Boudreau et al., 1986; Matthews and Cook, 1995; Daume et al., 1997; Kawamura et al., 1998a; Roberts et al., 1999). 따라서 먹이의 제한은 변태 직후에서부터 규조류와 먹이섭어능력의 부적합한 조화로 인해 나타날 수 있다.

또한 참전복은 변태 후, 입이 열렸을 때 크기는 불과 10  $\mu\text{m}$ 에 지나지 않는다(Kawamura et al., 1998a). 본 실험에 사용된 미세조류 가운데 *Rhaphoneis* sp.를 제외한 다른 미세조류들은 모두 10  $\mu\text{m}$  이상의 것이다. 따라서 유생이 변태 직 후, 직접 미세조류를 섭취하기에는 *Rhaphoneis* sp.만이 가능하다고 판단되어지고, 따라서 *Rhaphoneis* sp.의 경우에는 높은 성장과 생존율을 나타내었다.

규조류의 성장형태는 점액질의 유무, 부착 형태, 운동성 등으로 8가지 형태로 나누어 설명할 수가 있고(Kawamura, 1994), 그 중 전복의 초기 먹이생물



로써 유용한 것은 점액물질을 분비하면서 운동성이 적고 평면상의 모양인 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 이런 형태의 규조류들의 부착기질에 대한 부착률과 성장률을 조사하였다. 부착률은 규조류 중 최저값이 13%, 최고값이 97%로 나타났고, 그 외의 분류군들에서는 6%에서 90%정도의 큰 범위의 차이를 나타내었다. 성장률 또한, 규조류 중에서는 최고값이 2302%, 최저값이 150%로 나타났으며, 그 외 분류군들에서는 275%에서 1378%의 성장률의 차이를 보였다. 본 실험을 통한 부착률 및 성장률의 조사자료는 앞으로 전복먹이 생물 개발의 기초 자료로 활용될 수 있을 것이며, 부착성 미세조류의 먹이 생물 개발에 있어서 활용화 될 수 있는 방안이라고 생각된다.

일반적으로 규조류에 비해 녹조류에서는 단백질이, 남조류에서는 미네랄이 풍부하다고 알려져 있다. 본 실험을 통하여 녹조류나 남조류가 참전복유생의 초기 먹이생물로 가능성이 있다는 것을 확인하였는데, 특히 남조류에 풍부한 미네랄은 무척추동물의 패각형성에 크게 관여를 하므로 전복의 변태시에 주구각 형성에도 좋은 영향을 미칠 것으로 생각된다.

본 연구를 통하여 참전복(*H. discus hannai*) 유생의 초기 부착기질 및 변태 유발 먹이생물을 개발함에 있어 우량의 규조류를 선별함과 동시에, 규조류 외의 다른 분류군의 미세조류 또한 부착기질 및 먹이생물로 이용될 수가 있다는 것을 보여주었다. 그러나 이것은 부착직 후, 초기 참전복 유생에 국한된 실험이므로, 성장이 계속 진행됨에 따라 적절한 먹이생물의 개발에 관한 연구는 계속 수행되어야 할 것이다.

## V. 국문요약

본 연구에서는 전복종묘생산의 생산성 향상을 위한 두가지의 실험을하였다. 첫 번째 실험은 미세조류의 부착률과 성장률을 조사하기 위한 것이었다. 이 실험에서는 미세조류를 5개의 그룹으로 나누어서 시행하였고, 각 그룹별로 부착률과 성장률을 고려하여 9종의 미세조류를 선정하였다.

그리고, 두 번째 실험은 선정된 종을 대상으로 참전복(*Haliotis discus hannai*) 유생의 부착기질과 먹이생물로써의 유용성을 판단하기 위하여, 실험실에서 유생의 부착률, 변태율, 초기성장률 및 생존율을 알아보았다. *Rhaphoneis* sp. 는 실험 시작 후, 24시간과 96시간째 부착률에 있어서 다른 실험구에 비해 유의적으로 높은 수준을 나타내었다( $P < 0.05$ ). *Rhaphoneis* sp.는 또한 변태율에 있어서도 좋은 결과를 나타내었다. *Cylindrotheca closterium*은 4일과 6일째 유생의 가장 낮은 변태율을 나타내었다.

*Oscillatoria splendida*는 유생의 변태전 생존율에 있어서는 높은 수치를 보였으나, 변태 후 실험 종료 시에는 *Rhaphoneis* sp.가 유의적으로 높은 유생의 생존율을 보였고, 변태가 진행된 유생의 전 실험기간 동안 좋은 성장을 보였다. 규조류를 제외한 다른 미세조류들의 실험 결과는, *Tetraselmis hazennii*와 *Oscillatoria splendida* 가 규조류와 비슷한 결과를 나타내었다.

본 연구를 통하여 *Rhaphoneis* sp.가 전복 종묘생산에 있어서 유생의 부착과 변태를 일으키는 좋은 부착먹이생물로 판단되며, 아울러 변태 후, 먹이를 섭취하기 시작할 시기에 높은 성장을 나타낼 것으로 판단된다.

## VI. 참고문헌

- Akashige, S., T. Seki, H. Kan-no and T. Nomura, 1981. Effects of g-aminobutyric acid and certain neurotransmitters on the settlement and the metamorphosis of the larvae of *Haliotis discus hannai* Ino (Gastropoda). Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab., 43: 37-45.
- Bonar, D.B., S.L. Coon, M. Walch, R.M. Weiner and W. Fitt, 1990. Control of oyster settlement and metamorphosis by endogenous and exogenous chemical cues. Bull. Mar. Sci., 46: 484-498.
- Burke, R.D., 1984. Pheromonal control of metamorphosis in the Pacific sand dollar *Dendraster excentricus*. Science, 225: 442-443.
- Crisp, D.J. and P.S. Meadows, 1962. The chemical basis of gregariousness in Cirripedes. Proc. Royal. Soc. B., 156: 500-520.
- Daume, S., S. Brand and W.J. Woelkerling, 1997. Effects of post-larval abalone (*Haliotis rubra*) grazing on the epiphytic diatom assemblage of coralline red algal surfaces. Moll. Res., 18: 119-130.
- Fitt, W.K., S.L. Coon, M. Walch, R.M. Weiner, R.R. Colwell and D.B. Bonar, 1990. Settlement behavior and metamorphosis of oyster larvae (*Crassostrea gigas*) in response to bacterial supernatants. Mar. Biol., 106: 379-394.
- Garland, C.D., S.E. Cooke, J.F. Grant and T.A. McMeekin, 1985. Ingestion of the bacteria on and the cuticle of crustose (non-articulated) coralline algae by post-larval and juvenile abalone (*Haliotis ruber* Leach) from Tasmanian waters. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 91: 137-149.

- Guillard, R.R.L. and J.H. Ryther, 1962. Studies of marine plankton diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt, and *Detonula confervacea* (Cleve). *Can. J. Microbiol.*, 8: 229-239.
- Hadfield, M.G. and J.T. Pennington, 1990. Nature of the metamorphic signal and its internal transduction in larvae of the nudibranch *Phestilla sibogae*. *Bull. Mar. Sci.*, 46: 455-464.
- Hahn K.O., 1989. Handbook of culture of abalone and other marine gastropods. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida. 368pp.
- Hirata, K.Y. and M.G. Hadfield, 1986. The role of choline in metamorphic induction of *Phestilla* (Gastropoda: Nudibranchia). *Comp. Biochem. Physiol.*, 84C: 15-21.
- Ishida, T., T. Akutsu and K. Torisawa, 1995, Effects of monocultured benthic diatoms on the metamorphosis of veliger larvae and on the growth of juveniles of abalone *Haliotis gigantea*. *Bull. Shizuoka Pref. Fish. Exp. Stn.*, 30: 17-21.
- Kawamura, T., 1994. Taxonomy and ecology of marine benthic diatoms (in Japanese). *Marine Fouling*, 10: 7-25.
- Kawamura, T., 1996. The role of benthic diatoms in the early life stages of the Japanese abalone (*Haliotis discus hannai*). In: Watanabe, Y., Y. Yamashita, Y. Oozeki, (Eds.) , *Survival strategies in early life stages of marine resources*. Balkema, Rotterdam, 355-367.
- Kawamura, T. and H. Kikuchi, 1992. Effects of benthic diatoms on settlement and metamorphosis of abalone larvae. *Suisanzoshoku*, 40: 403-409.
- Kawamura, T. and H. Takami, 1995. Analysis of feeding and growth rate

- of newly metamorphosed abalone *Haliotis discus hannai* fed on four species of benthic diatom. *Fish. Sci.*, 61: 357-358.
- Kawamura T, R.D. Roberts and C.M. Nicholson, 1998a. Factors affecting the food value of diatom strains for post-larval abalone *Haliotis iris*. *Aquaculture*, 160: 81-88.
- Kawamura T, R.D. Roberts and H. Takami, 1998b. A review of the feeding and growth of post-larval abalone. *J. Shellfish Res.*, 17: 615-625.
- Keough, M.J. and Raimondi, P.T., 1995. Responses of settling invertebrate to bioorganic films: effects of different types of films. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 207, 59-78.
- Kirchman, D., S. Graham, D. Reish and R. Mitchell, 1982. Bacteria induce settlement and metamorphosis of *Janua (Dexiospira) brasiliensis* Grube (Polychaeta: Spirorbidae). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 56: 153-163.
- Kitting, C.L. and D.E. Morse, 1997. Feeding effects of post-larval red abalone *Haliotis rufescens* (Mollusca Gastropoda) on encrusting coralline algae. *Moll. Res.*, 18: 183-196.
- Maki, J.S., D. Rittschof, A.R. Schmidt, A.G. Snyder and R. Mitchell, 1989. Factors controlling attachment of bryozoan larvae: a comparison of bacterial films and unfilmed surfaces. *Biol. Bull.*, 177: 295-302.
- Martinez-Ponce, D. and R. Searcy-Bernal, 1998. Grazing rates of red abalone, *Haliotis rufescens*, post-larvae. In: Cook, P.A., G.E. Davis, P.L. Haaker and D.L. Leighton (Eds.), *Proceedings of the 3rd International Symposium of Abalone Biology, Fisheries, and Culture*. *J. Shellfish Res.*, 17: 627-630.
- Matthews, I. and P.A. Cook, 1995. Diatom diet of abalone post-larvae

- Haliotis midae* and the effect of pre-grazing the diatom overstorey. In: Shepherd, S.A., R.W. Day and A.J. Butler (Eds.), Progress in Abalone Fisheries Research. Proceedings of the Second International Symposium on Abalone Biology, Fisheries and Culture. Marine and Freshwater Res., 46: 545-548.
- Morse, A.N.C. and D.E. Morse, 1984. Recruitment and metamorphosis of *Haliotis* larvae induced by molecules uniquely available at the surfaces of crustose red algae. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 75: 191-215.
- Morse, D.E., 1985. Neurotransmitter-mimetic inducers of larval settlement and metamorphosis. Bull. Mar. Sci., 37: 697-706.
- Morse, D.E., N. Hooker, H. Duncan and L. Jensen, 1979.  $\gamma$ -Aminobutyric acid, a neurotransmitter, induces planktonic abalone larvae to settle and begin metamorphosis. Science, 204: 407-410.
- Norman-Boudreau, K., D. Burns, C.A. Cooke and A. Austin, 1986. A simple technique for detection of feeding in newly metamorphosed abalone. Aquaculture, 51: 313-317.
- Ohgai M., M. Wakano and S. Nagai, 1991. Effects of attached microalgae on the settlement of larvae and growth of juveniles in abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. Suisanzoshoku., 39: 263-266.
- Pawlik, J.R., 1992. Chemical ecology of the settlement of benthic marine invertebrates. Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev., 30: 273-335.
- Pawlik, J.R., 1986. Chemical induction of larval settlement and metamorphosis in the reef-building tube worm *Phragmatopoma californica* (Sabelliariidae: Polychaeta). Mar. Biol., 91: 59-68.
- Pearce, C.M. and R.E. Scheibling, 1991. Induction of settlement and

- metamorphosis in the sand dollar *Echinarachnius parma*: evidence for an adult-associated factor. *Mar. Biol.*, 107: 363-369.
- Pechenik, J.A. and C.C. Gee, 1993. Onset of metamorphic competence in larvae of the gastropod *Crepidula fornicata* (L.), judged by a natural and artificial cue. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 167: 59-72.
- Pechenik, J.A. and W.D. Heyman, 1987. Using KCl to determine size at competence for larvae of the marine gastropod *Crepidula fornicata* (L.). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 112: 27-38.
- Roberts, R.D. and C.M. Nicholson, 1997. Variable response from abalone larvae (*Haliotis iris*, *H. virginea*) to a range of settlement cues. *Moll. Res.*, 18: 131-142.
- Roberts R.D., T. Kawamura and C.M. Nicholson, 1999. Growth and survival of post-larval abalone (*Haliotis iris*) in relation to development and diatom diet. *J. Shellfish Res.*, 18: 243-250.
- Roberts, R.D. and C. Lapworth, 2001. Effect of delayed metamorphosis on larval competence, and postlarval growth and survival, in the abalone *Haliotis iris*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 258: 1-13.
- Searcy-Bernal, R. 1996. Boundary layers and abalone post-larval culture: Preliminary studies. *Aquaculture*, 140: 129-137.
- Searcy-Bernal, R., 1999. Settlement and postlarval ecology of the red abalone *Haliotis rufescens* in culture systems. PhD thesis, University of California, Davis and San Diego State University.
- Searcy-Bernal, R., Salas-Garza, A., Flores-Aguilar, R. and P. Hinijosa-Rivera, 1992. Simultaneous comparison of methods for settlement and metamorphosis induction in the red abalone (*Haliotis rufescens*).

- Aquaculture. 105: 241-250.
- Seki, T. and H. Kan-no, 1981. Induced settlement of the Japanese abalone, *Haliotis discus hannai*, veliger by the mucus of the juvenile and adult abalones. Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab., 43: 29-36.
- Slattery, M., 1992. Larval settlement and juvenile survival in the red abalone (*Haliotis rufescens*): an examination of inductive cues and substrate selection. Aquaculture, 102: 143-153.
- Steneck, R.S., 1982. A limpet-coralline algae association: adaptations and defenses between a selective herbivore and its prey. Ecology, 63: 507-522.
- Takami, H., T. Kawamura and Y. Yamashita, 1997. Contribution of diatoms as food sources for post-larval abalone *Haliotis discus hannai* on a crustose coralline alga. Moll. Res., 18: 143-151.
- Takami, H., T. Kawamura and Y. Yamashita, 2000. Starvation tolerance of newly metamorphosed abalone *Haliotis discus hannai*. Fisheries Sci., 66: 1180-1182.
- Todd, C.D., 1985. Settlement-timing hypothesis: reply to Grant and Williamson. Mar. Ecol. Prog. Ser., 23: 197-202.
- Todd, C.D., M.G. Bentley and J.N. Havenhand, 1991. Larval metamorphosis of the opisthobranch mollusc *Adalaria proxima* (Gastropoda: Nudibranchia): the effects of choline and elevated potassium ion concentration. J. Mar. Biol. Ass. UK, 71: 53-72.
- Yool, A.J., S.M. Grau, M.G. Hadfield, R.A. Jensen, D.A. Markell and D.E. Morse, 1986. Excess potassium induces larval metamorphosis in four marine invertebrate species. Biol. Bull., 170: 255-266.



- Zimmerfaust, R.K. and M.N. Tamburri, 1994. Chemical identity and ecological implications of a waterborne, larval settlement cue. *Limnol. Oceanogr.*, 39: 1075-1087.
- 유성규, 2000. 천해양식. 구덕출판사, 부산, 639pp.
- 한형균, 허성범, 2000. 참전복 치패에 대한 부착성 규조류의 먹이효율. *한국양식학회지*, 13(2): 153-161.