

## 북방전복 종묘생산을 위한 농축 규조류 *Caloneis schroederi*와 *Rhaphoneis* sp.의 효과

김승현, 김미정<sup>2</sup>, 박세진<sup>1</sup>, 허성범<sup>2</sup>

해림수산, <sup>1</sup>부산광역시청 수산진흥과, <sup>2</sup>부경대학교 해양바이오신소재학과

### Effect of the concentrated-diatom of *Caloneis schroederi* and *Rhaphoneis* sp. for seedling production of *Haliotis discus hannai*

Seung-Hyern Kim, Mi Jeong Kim<sup>2</sup>, Se Jin Park<sup>1</sup> and Sung Bum Hur<sup>2</sup>

Haelim Fishery, Yeosu 556-833, Korea

<sup>1</sup>Busan Metropolitan City, Fisheries Promotion Division, Busan 611-735, Korea

<sup>2</sup>Department of Marine Bio-materials and Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

#### ABSTRACT

Even though seedling production of *Haliotis discus hannai* has fully developed, the culture of benthic diatom as a live food for larvae is still a barrier to solve in commercial hatchery. The farmer depends on mixed microalgae which are non-selectively attached on the plate by flowing of natural seawater. The adequate diatom on the plate for the larvae in terms of quality and quantity is always significant bottleneck in the hatchery. In this study, two benthic diatom species, *Caloneis schroederi* and *Rhaphoneis* sp. were separately cultured in mass and inoculated to four tons' settlement tank of the larvae. And the larvae and the spats were cultured for nineteen and nine weeks, respectively. The result on seedling production of *H. discus hannai* with this method was compared to that of the farmer's traditional method as a control. With regard to variation of species composition of benthic diatom on the plate, *C. schroederi* and *Rhaphoneis* sp. were dominant for first three weeks after inoculation. But the diverse diatoms mainly, *Navicula*, *Amphora*, *Cylindrotheca*, *Licmophora*, *Pleurosigma* began to attach on the plate from the 4th week. The larvae attached 2.5 times more in *C. schroederi* tank than in the control tank. The final total biomass of the seeds in *Rhaphoneis* sp. tank was 3.2 times more than that of the control tank. The retarded-spats in the seedling production also showed significantly higher growth and survival in the spat fed *Rhaphoneis* sp. or *C. schroederi* than those in the control group. We suggest that *C. schroederi* is proper for settlement of the larvae and *Rhaphoneis* sp. is appropriate for the growth of the larvae and spats in the commercial hatchery of *H. discus hannai*.

**Key words** : *Haliotis discus hannai*, seedling production, concentrated-diatom, *Caloneis schroederi*, *Rhaphoneis* sp.

#### 서론

북방전복은 산업적으로 가장 널리 양식되는 대표적인 전복

종이지만, 종묘생산시 먹이생물인 부착 규조류의 효율적 대량 배양은 여전히 문제점으로 남아 있다. 북방전복 유생은 난황을 흡수한 후, 기질에 부착하여 먹이를 먹기 시작하는 시기부터 각장이 약 3 mm되는 시기까지 기질에 부착한 규조류를 주로 먹이로 섭취한다. 따라서 기질에 부착된 규조류의 질과 양은 유생의 부착률, 변태율, 생존율 및 성장률에 큰 영향을 준다 (Lucas *et al.*, 1979; Woollacott *et al.*, 1989; Maldonado and Young, 1999). 특히 규조류가 고밀도로 부착했을 경우, 자체 무게로 인하여 유생과 함께 동시에 탈락되는 문제점에 따라 규조류의 성장을 조절해야하는 어려움도 있다 (Norman-Boudreau *et al.*, 1986; Ko and Hur, 2011).

Received: July 24, 2013; Accepted: September 27, 2013

Corresponding author : Sung Bum Hur

Tel: +82 (51) 629-5911 e-mail: hurs@pknu.ac.kr  
1225-3480/24487

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

복방전복 유생 및 치패에 대한 다양한 미세조류의 먹이효율에 관한 연구 결과는 많이 보고된 바 있으나 (Kawamura *et al.*, 1995; Han and Hur, 2000a; Gordon *et al.*, 2006; Xing *et al.*, 2008) 대부분이 실험실 규모의 연구결과이다. 따라서 현재 상업적인 종묘생산 방법은 전 세계적으로 여과해수를 3-4주간 유수시키며 부착기질인 파판에 자연적으로 발생 부착시킨 규조류에 의존하고 있다 (Kikuchi, 1965; Seki, 1980; Ebert and Houk, 1984; Han and Hur, 2000a, b). 그러나 이 방법도 유생에게 적합한 최적 규조류를 선택적으로 파판에 부착시킬 수 없는 문제점이 있다. 또 부화장이 위치한 연안 환경의 특성, 특히 수온과 영양염에 따라 파판에 부착하는 규조류의 다양성과 부착량은 큰 차이를 보이므로 기존의 방법은 복방전복 종묘의 대량생산을 제한하고 있다. 따라서 복방전복 유생에 최적의 규조류를 대량배양한 후 규조류만을 파판에 우점적으로 부착시켜 유생을 사육하면 이러한 문제점을 해결할 수 있을 것이다. 또 이들 규조류를 농축하여 복방전복 부화장에 접종용 규조류로 공급하면 종묘생산은 더욱 효과적일 것이다. 이러한 목적을 위해서는 일차적으로 대량배양과 수확이 용이하고 질적으로 먹이효율이 높은 부착성 규조류의 개발이 필요하다 (Park, 2005).

*C. schroederi*는 28°C의 고온에서도 배양이 용이하고 세포가 크고 부착력과 배양 생체량도 높고 (Ko and Hur, 2011), *Rhaphoneis* sp.에 비하여 세포의 크기가 약 2배 이상 커서 대량배양 후 침전시켜서 수확하기에 효과적이다 (Park, 2005). 따라서 본 연구에서는 실험실 규모의 연구에서 복방전복 유생과 치패에게 적합한 먹이생물로 보고된 *Rhaphoneis* sp. (Ko and Hur, 2011; Park and Hur, 2013) 와 대량배양과 수확이 용이한 *C. schroederi*를 대상으로 실험하였다. 이들 2종의 규조류를 실내에서 대량배양하여 농축시킨 후 상업적 규모의 복방전복 종묘 배양장의 파판에 접종하여 이들 종만 파판에 우점적으로 부착시킨 후 기존의 유수식으로 자연 부착시킨 대조구 실험구와의 복방전복 종묘생산의 효과를 비교하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 규조류의 배양

실험에 사용한 2종의 규조류 (*C. schroederi*, KMMCC-900 ( $21.0 \pm 2.5 \mu\text{m}$ ) 와 *Rhaphoneis* sp., KMMCC-628 ( $8.8 \pm 1.7 \mu\text{m}$ ) 는 부경대학교 한국해양미세조류은행 (KMMCC) 에서 분양받아 배양하였다. 배양은 f/2 배지 (Guillard and Ryther, 1962) 를 이용하여 20°C, 33 psu, 조도  $20 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  연속조명으로 20 L 용기에서 통기배양하였다. 배양된 규조류는 공기를 중단하고 24시간 정체한 후 싸이폰을 이용하여 바다에 침전된 규조류를 수확하여 1

L로 농축하였다.

전남 여수시 해림수산 전복종묘배양장의 4톤 FRP 수조 ( $5 \times 1 \times 0.8 \text{ m}^3$ ) 에 3톤의 여과해수와 평판 플라스틱 파판 ( $30 \times 33 \text{ cm}^2$ ) 680장을 넣고 f/2배지의 농도로 조성한 후 농축된 규조류를 접종하였다. 초기 접종밀도는 각 종의 크기를 고려하여 *C. schroederi*는  $6 \times 10^4 \text{ cells/mL}$ , *Rhaphoneis* sp.는  $9 \times 10^4 \text{ cells/mL}$  로 접종하였고 지수식으로 10일간 통기배양하며 파판에 부착시켰다. 대조구는 현장의 양식어민들이 하는 방법대로 농축 규조류의 접종없이 3주간 여과해수만을 유수 (15 L/분) 하여 자연적으로 다양한 규조류가 부착하게 하였다. 규조류 배양시 현장의 평균 수온은 14-15°C, 염분 33-34 psu의 범위였다. 규조류 배양은 2 반복으로 실시하였다.

## 2. 복방전복 종묘생산

### 1) 규조류 종조성의 변화

수조별로 파판에 부착한 규조류 출현종은 19주까지, 부착한 규조류의 부착 밀도 (세포수/cm<sup>2</sup>) 는 14주까지 매주 1회 조사하였다. 매주 각 수조의 주수구, 중앙 및 배수구 주위에서 무작위로 각각 파판 1장을 취하여 붓을 사용하여 부착한 규조류를 탈락시켜 수확하였다. 수확된 규조류는 100 mL로 농축한 후 이 중 1 mL를 취하여 파판에 부착한 규조류의 종 조성과 밀도를 조사하였다. 또 부착된 규조류 가운데 본 실험의 대상으로 농축 접종하여 배양한 *C. schroederi*와 *Rhaphoneis* sp.의 우점률 (우점률 (%) = 파판에 부착한 대상 규조류의 개체수 / 파판에 부착한 총 규조류의 개체수 × 100) 을 조사하였다 (Ko and Hur, 2011).

### 2) 유생사육

대조구를 제외한 *C. schroederi*와 *Rhaphoneis* sp. 실험구 수조는 유생을 넣기 전 남아있는 f/2 배지의 성분을 제거하기 위해서 분당 15 L의 여과해수를 24시간 유수하였다. 복방전복 유생은 해림수산 부화장에서 수정 후 120 시간 지난 veliger 유생을 파판당 250마리 밀도로 수조당 17만 마리 수용하였다. 유생 사육 기간은 총 19주로 실험은 2반복 실시하였다. 유생의 부착률은 접종 후 4주 동안 매주 수조의 주수구, 중앙, 배수구 주위에서 무작위로 각각 파판 3장씩 총 9장을 취하여 부착한 유생을 계수하였다. 사육 19주째에는 각 수조내의 모든 치패를 수확하여 총개체수와 총중량을 구하고, 이중 무작위로 100개체를 선택하여 각장은 디지털캘리퍼스를 이용하여 10 μm 단위로, 진중은 전자저울로 mg단위로 계측하였다. 또 수용한 총 veliger 유생수에 대한 최종 생존율을 구하였다.

한편 유생의 성장에 따라 각 규조류의 부착량이 급격히 감소하는 문제를 대비하여 유생사육 4주, 7주, 9주, 11주의 조사 직후 처음 접종 밀도의 50%에 해당하는 농축 *C. schroederi*

와 *Rhaphoneis* sp.를 추가 접종하고 24시간 지수식으로 유지하여 파판에 부착하게 한 후 다시 동일한 방법으로 유수하며 유생을 사육하였다. 또 5주째에는 사육 수조의 바닥에 쌓인 찌꺼기를 청소하고 100% 환수하였다. 그 외 모든 유생 사육방법은 양식어민이 수행하는 현장의 방법에 따랐다.

### 3. 성장이 늦은 소형 북방전복 치패의 사육 실험

앞의 유생 사육 실험에서 성장이 늦은 소형 치패를 대상으로 사육 실험을 하였다. 4톤 수조에 3톤의 여과해수를 채우고 수조당 앞에서와 동일한 파판 450장을 넣고 규조류를 배양하였다. 대조구는 3주간 자연해수를 유수시켰고 실험구는 농축한 *C. schroederi*와 *Rhaphoneis* sp.를 접종하여 배양하였다. 규조류 배양은 앞의 방법과 동일하였다.

각 실험구와 대조구에서 규조류가 배양된 부착 파판 150장을 4톤 수조 (3톤 여과해수) 에 넣고 성장이 늦은 소형 치패 ( $8.2 \pm 2.1$  mm,  $60 \pm 10.2$  mg) 4,500 마리를 수용하였다. 치패 성장에 따른 먹이부족을 해결하기 위하여 3주와 6주째 동일한 방법으로 규조류가 부착된 파판을 150장씩 더 넣어주

어 파판당 10개체의 치패 밀도를 기준으로 하였다. 사육 9주째 모든 치패를 수확하여 치패의 총 중량과 총 개체수를 조사하여 생존율을 구하고, 이중 무작위로 100개체를 택하여 평균 각장파 전중을 조사하였다. 실험은 2반복 실시하였고 기타 실험방법은 유생사육에서와 동일하였다.

### 4. 통계처리

모든 실험 결과는 One-way ANOVA test를 실시하였으며, 평균간의 유의성 ( $P < 0.05$ ) 은 Duncan multiple test (Duncan, 1955) 로 검정하였다. 통계 분석은 SPSS program (ver 17.0) 을 사용하여 분석하였다.

## 결 과

### 1. 규조류의 종조성 변화

유생 사육 19주까지의 각 실험구에서 파판에 부착된 규조류 출현종의 분포는 Table 1, 2, 3과 같다. 또 14주까지 파판에 부착된 규조류의 밀도 변화는 Fig. 1과 같다. *C. schroederi* 실험구에서는 *Rhaphoneis* sp.나 대조구에 비하여 더 다양한

**Table 1.** Occurrence of microalgal species on the plates which were initially inoculated with *Caloneis schroederi* for seeding production of *Haliotis discus hannai*

Species	Culture weeks														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	19
<i>Caloneis schroederi</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Achnanthes</i> spp.						+						+		+	+
<i>Amphiprora</i> spp.				+	+	+	+					+		+	
<i>Amphora</i> spp.		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Bacillaria</i> sp.						+			+	+	+	+		+	+
<i>Climacosphenia</i> sp.				+	+		+	+				+	+		
<i>Cocconeis</i> spp.						+							+		+
<i>Cylindrotheca closterium</i> .	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Diploneis</i> sp.						+	+					+			+
<i>Fragilaria</i> sp.												+	+	+	+
<i>Frustulia</i> sp.				+											
<i>Gomphonema</i> sp.					+			+	+		+		+	+	
<i>Licmophora</i> spp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Melosira</i> sp.				+	+	+		+	+	+				+	
<i>Navicula cancellata</i>		+	+	+	+	+	+	+	+		+	+		+	
<i>Navicula distans</i>					+						+				
<i>Navicula incerta</i>		+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	
<i>Navicula</i> spp.		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
<i>Nitzschia dissipata</i>				+			+								+
<i>Nitzschia pungens</i>					+		+				+	+	+	+	
<i>Nitzschia</i> spp.					+						+	+	+	+	
<i>Pleurosigma</i> spp.			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Rhizosolemia stolterfothii</i>											+				
<i>Rhodomonas</i> sp.							+								
<i>Stauroneis</i> sp.				+											
<i>Striatella</i> sp.															+
<i>Thalassiosira</i> sp.			+			+	+								

**Table 2.** Occurrence of microalgal species on the plates which were initially inoculated with *Rhaphoneis* sp. for seeding production of *Haliotis discus hannai*

Species	Culture weeks														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	19
<i>Rhaphoneis</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Achnanthes</i> spp.	+				+									+	+
<i>Amphiprora</i> spp.				+	+	+		+			+				
<i>Amphora</i> spp.	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Bacillaria</i> sp.				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Climacosphenia</i> sp.	+				+	+	+		+	+	+	+	+	+	+
<i>Cocconeis</i> spp.										+		+	+	+	+
<i>Cylindrotheca closterium</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Diploneis</i> sp.						+	+								
<i>Fragilria</i> sp.								+		+			+	+	+
<i>Gomphonema</i> sp.										+	+		+		
<i>Grammatophora</i> sp.										+					
<i>Licmophora</i> spp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Navicula annexa</i>				+											
<i>Navicula cancellata</i>			+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	
<i>Navicula incerta</i>			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Navicula</i> spp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
<i>Nitzschia dissipata</i>		+							+						
<i>Nitzschia pungens</i>				+				+					+	+	
<i>Nitzschia</i> spp.				+	+	+		+				+			
<i>Orthodon</i> sp.							+								
<i>Pleurosigma</i> spp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+		+		+
<i>Triceratium</i> sp.				+											

**Table 3.** Occurrence of microalgal species on the plates which were cultured by flowing natural seawater for seeding production of *Haliotis discus hannai*

Species	Culture weeks														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	19
<i>Achnanthes</i> spp.	+	+	+		+						+				+
<i>Amphiprora</i> spp.		+	+	+	+	+		+	+					+	
<i>Amphora</i> spp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+	+
<i>Bacillaria</i> sp.			+	+	+	+	+	+	+	+	+				+
<i>Climacosphenia</i> sp.				+		+	+				+	+		+	
<i>Cocconeis</i> spp.														+	+
<i>Cylindrotheca closterium</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+
<i>Diploneis</i> sp.								+							
<i>Fragilia</i> sp.						+	+	+		+				+	
<i>Gomphonema</i> sp.					+		+	+							
<i>Grammatophora</i> sp.								+	+						
<i>Hantzschia amphioxys</i>			+												
<i>Leptocylindrus</i> sp.			+												
<i>Licmophora</i> spp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
<i>Navicula cancellata</i>		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
<i>Navicula incerta</i>		+	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+
<i>Navicula</i> spp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Nitzschia dissipata</i>			+	+							+				
<i>Nitzschia pungens</i>				+								+			
<i>Nitzschia</i> spp.				+		+			+					+	
<i>Pleurosigma</i> spp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+
<i>Stauroneis</i> sp.				+											

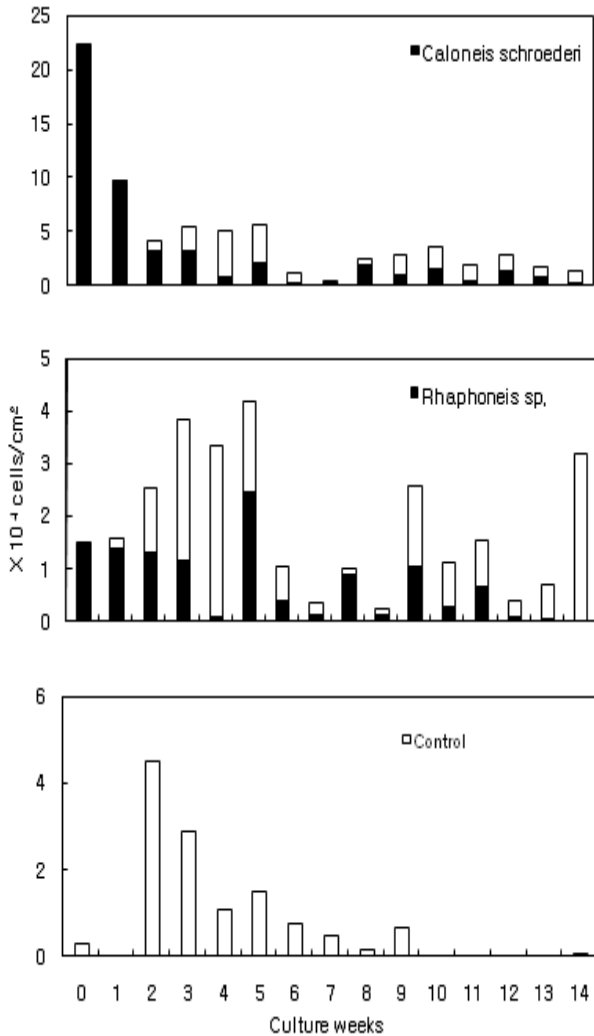


Fig.1. Density of microalgal species attached on the plates for seedling production of *Haliotis discus hannai* for fourteen weeks (□: total benthic diatom, ■: *C. schroederi* or *Rhaphoneis* sp.).

구조류가 부착하였다. *Cylindrotheca*와 *Licmophora*는 전주에 걸쳐 출현하였고 그 외 *Amphora*, *Navicula*, *Pleurosigma* 등이 널리 분포하였다. *C. schroederi* 실험구에서 유생 사육 전 *C. schroederi* 밀도는  $22.4 \times 10^4$  cells/cm<sup>2</sup>로 가장 높았다. 유생을 사육한 후 1주째 밀도는  $9.7 \times 10^4$  cells/cm<sup>2</sup>로 약 43% 감소하였다. 2주째부터는 파관에 출현하는 생물종이 다양해지기 시작하나 3주까지는 비교적 *C. schroederi*가 우점적이었다. 그러나 4주째부터 6주째까지는 *Navicula*가 우점하였다. 5주째 수조 바닥 청소 후에는 밀도가 감소하여 7주째는  $0.3 \times 10^4$  cells/cm<sup>2</sup>로 전 실험기간 중 가장 낮은 밀도를 보였다. *C. schroederi*를 재접종한 1주일 후인

5, 8, 10, 12주째에는 파관에 부착이 회복되는 경향을 보이거나 1주 후가 되면 대체로 감소하는 경향을 보였다. *C. schroederi*는 14주까지 다른 출현종에 비하여 비교적 우점적인 양상을 보였다.

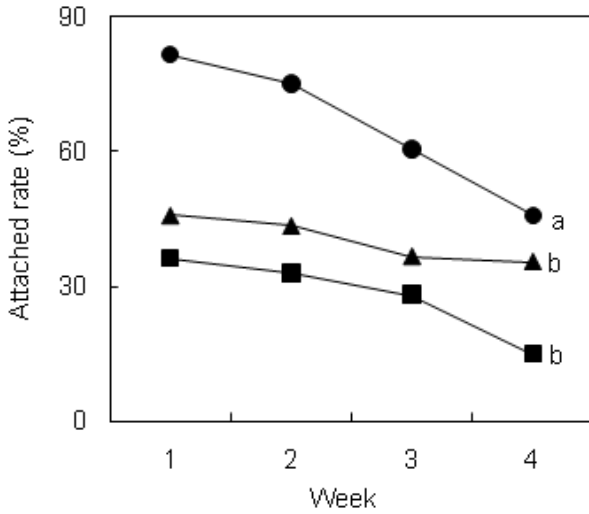
*Rhaphoneis* sp. 실험구에서도 *C. schroederi* 실험구에서와 유사한 구조류 출현분포를 보였다. 유생 사육 전 *Rhaphoneis* sp. 밀도가  $1.5 \times 10^4$  cells/cm<sup>2</sup>로 *C. schroederi* 실험구보다 낮은 부착 밀도를 보였다. 유생 사육 후 1주일째는 *Rhaphoneis* sp.는  $1.4 \times 10^4$  cells/cm<sup>2</sup>로 유생을 사육하기 전보다 소량 감소하였고, 4주째는 *Navicula*가  $2.7 \times 10^4$  cells/cm<sup>2</sup>로 가장 우점적으로 나타났다. *C. schroederi* 실험구에서와 같이 5주째 청소 후 부착 밀도는 크게 감소하기 시작하여 7주째  $0.4 \times 10^4$  cells/cm<sup>2</sup>로 전 실험기간 중 가장 낮았다. *Rhaphoneis* sp.의 경우도 재접종 후에는 부착이 회복되는 경향을 보이다가 그 다음주가 되면 다시 감소하는 경향을 보였다. 13주째까지 *Rhaphoneis* sp.는 비교적 우점적으로 출현하였고 그 외에는 *Fragilaria*가 매우 우점적으로 출현하였다.

자연 해수를 흘려준 대조구에서는 *Cylindrotheca*, *Licmophora*, *Navicula*, *Pleurosigma*는 항상 출현하였고 그 외에도 *Amphora*, *Amphiprora*, *Bacillaris* 등이 널리 출현하였다. 유생 사육 전 부착 구조류의 밀도는  $0.3 \times 10^4$  cells/cm<sup>2</sup>로 다른 실험구보다 크게 낮았다. 유생 사육을 시작한 지 2주째  $4.8 \times 10^4$  cells/cm<sup>2</sup>의 가장 높은 부착 밀도를 보였고 이 중 *Navicula*가  $3.7 \times 10^4$  cells/cm<sup>2</sup>로 가장 우점적이었다. 이 후 14주째까지 주로 *Navicula*, *Bacillaris*, *Cylindrotheca*, *Cocconeis*, *Licmophora* 등이 주로 우점하였다.

## 2. 유생의 부착률, 성장 및 생존율

유생 접종 후 4주동안 유생의 부착률을 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 부착률은 1주일째가 가장 높았고 2주째부터는 계속해서 감소하는 경향을 보였다. 1주째 *C. schroederi*는 파관당 204 개체가 부착하여 82%의 부착률로 대조구에 비하여 2.2배 높은 결과를 보였다. 4주째도 *C. schroederi*와 *Rhaphoneis* sp.는 각각 46%와 36%로 대조구 15%보다 유의하게 높은 부착률을 보였다 ( $P < 0.05$ ). *C. schroederi*는 1주 이후 부착률이 급속히 감소하는 반면 *Rhaphoneis* sp.는 감소율이 낮았다.

유생 사육 19주째 최종적으로 각 실험구 수조에서 생산된 북방전복 치패를 모두 수확한 결과는 Table 4와 같다. *Rhaphoneis* sp.의 실험구에서 평균 각장과 전장은 12.9 mm와 0.25 g으로 유의하게 가장 컸고 대조구는 9.8 mm와 0.10 g으로 가장 낮았다 ( $P < 0.05$ ). *C. schroederi*는 *Rhaphoneis*



**Fig. 2.** Attachment (%) of *Haliotis discus hannai* larvae on the plastic plates during first four weeks (●: *Caloneis schroederi*, ▲: *Rhaphoneis* sp., ■: control). Different letter in final attachment (%) on fourth week means significantly difference at the level of 5%.

sp.에 비하여 낮은 성장을 보였으나 대조구보다는 높은 결과를 보였다. 치패의 생존율은 *Rhaphoneis* sp. 실험구에서 10.1%로 유의하게 높았으나 *C. schroederi*와 대조구에서는 7.8%와

8.3%로 서로 유의한 차이를 보이지 않았다. 치패의 총 생체량은 *Rhaphoneis* sp.에서 4,600 g으로 가장 높았고 *C. schroederi*는 2,800 g으로 *Rhaphoneis* sp. 보다 낮았으나 대조구 1,450 g보다는 높은 결과를 보였다 ( $P < 0.05$ ).

### 3. 성장이 늦은 복방전복 치패의 성장과 생존율

종묘생산 과정에서 성장이 늦은 소형치패 ( $8.6 \pm 2.1$  mm,  $60 \pm 10.2$  mg) 를 대상으로 수조당 4,500 개체를 수용하여 9주간 먹이별로 사육한 결과는 Table 5와 같다. 평균 각장과 전중은 *Rhaphoneis* sp.에서 12.8 mm와 0.22 g으로 대조구 11.7 mm와 0.16 g보다 유의하게 높았으나 *C. schroederi*와는 유의한 차이는 없었다 ( $P < 0.05$ ). 치패의 생존율은 *Rhaphoneis* sp.와 *C. schroederi*에서 각각 69.5%와 67.4%로 유의한 차이가 없었지만 대조구 59.6%보다는 유의하게 높았다. 치패의 총 생체량은 *Rhaphoneis* sp.에서 688 g으로 *C. schroederi*의 548 g보다 유의하게 높았으며 대조구는 429 g으로 가장 낮았다 ( $P < 0.05$ ).

### 고찰

복방전복 종묘생산 기술은 널리 보급되었으나 먹이생물로 활용되는 부착 미세조류의 질적·양적 확보는 여전히 큰 어려움으로 남아 있다. 자연 상태에서의 전복 유생은 주로 산호말 (coralline red algae) 에 부착하나 전복 배양장에서는 산호말

**Table 4.** Seedling production and growth of *Haliotis discus hannai* larvae reared from veliger larvae for nineteen weeks in four ton culture tank

Diet	Total biomass (g)	Total number (inds.)	Shell length (mm)	Total weight (g)	Survival (%)
<i>Caloneis schroederi</i>	2,800 ± 1,272 <sup>b</sup>	13,344 ± 5,935 <sup>b</sup>	11.7 ± 3.1 <sup>b</sup>	0.20 ± 0.16 <sup>b</sup>	7.8 ± 3.5 <sup>b</sup>
<i>Rhaphoneis</i> sp.	4,600 ± 1,697 <sup>a</sup>	17,201 ± 6,235 <sup>a</sup>	12.9 ± 3.9 <sup>a</sup>	0.25 ± 0.13 <sup>a</sup>	10.1 ± 3.7 <sup>a</sup>
Control	1,450 ± 71 <sup>c</sup>	14,275 ± 849 <sup>b</sup>	9.8 ± 2.3 <sup>c</sup>	0.10 ± 0.07 <sup>c</sup>	8.3 ± 0.5 <sup>b</sup>

Different letters in the same column mean significantly difference at the level of 5%. Initial total number of veliger larvae were 170,000 individuals.

**Table 5.** Final production and growth of the retarded-spats of *Haliotis discus hannai* reared for nine weeks in four ton culture tank

Diet	Total biomass (g)	Total number (inds.)	Shell length (mm)	Total weight (g)	Survival (%)
<i>Caloneis schroederi</i>	548 ± 49 <sup>b</sup>	3,033 ± 233 <sup>a</sup>	12.38 ± 2.16 <sup>ab</sup>	0.19 ± 0.10 <sup>ab</sup>	67.4 ± 6.1 <sup>a</sup>
<i>Rhaphoneis</i> sp.	688 ± 162 <sup>a</sup>	3,129 ± 735 <sup>a</sup>	12.77 ± 3.37 <sup>a</sup>	0.22 ± 0.19 <sup>a</sup>	69.5 ± 16.3 <sup>a</sup>
Control	429 ± 77 <sup>c</sup>	2,684 ± 479 <sup>b</sup>	11.70 ± 2.43 <sup>b</sup>	0.16 ± 0.12 <sup>b</sup>	59.6 ± 10.7 <sup>b</sup>

Different letters in the same column mean significantly difference at the level of 5%.

Initial total biomass, total number, shell lengths and total weight of the spats were 70 g, 4,500 inds.,  $8.2 \pm 2.1$  mm, and  $60 \pm 10.2$  mg, respectively.

의 배양이 어려워 전복 종묘생산에 활용되지는 못하고 있다 (Daume, 2006). 또 배양이 용이한 담녹조류 *Tetraselmis helgolandica*나 녹조류 *Ulveella lens*는 유생의 부착물에서는 효과가 있으나 영양가가 낮아 유생의 성장에는 효과적으로 이용되지 못하고 있다 (Uki and Kikuchi, 1979; Seki, 1997; Pang *et al.*, 2006; Ko and Hur, 2011).

북방전복 유생 사육을 위한 실험실 규모의 소규모 배양 실험 결과를 보면 우상목 (Pennales) 부착성 규조류 가운데 *Achnanthes*, *Caloneis*, *Cocconeis*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Rhaphoneis* 등이 우수한 먹이효율을 보인다 (Kawamura *et al.*, 1995; Gordon *et al.*, 2006; Roberts and Watts, 2010; Park and Hur, 2013). *Rhaphoneis* sp.는 *C. schroederi*와 *C. californica*에 비하여 유생 부착률과 변태율, 생존율에서 높은 것으로 알려져 있다 (Han and Hur, 2000a; Xing *et al.*, 2008; Ko and Hur, 2011). 북방전복 종묘생산을 위한 부착 규조류의 적정배양수온은 16-21°C 범위가 좋고, 북방전복 치패의 사육을 위한 최적 수온은 20°C 전후이다 (Ito *et al.*, 1987). 본 연구에서 북방전복 유생 사육 기간의 수온은 16.1-22.7°C, 염분은 31.5-33.5 psu 범위였으며 해수의 수질 환경은 부착 규조류의 배양과 북방전복 유생 사육에 큰 저해영향이 없었던 것으로 판단된다.

Suzuki *et al.* (1987) 과 Ioriya and Suzuki (1987) 는 11.2 mm의 북방전복 치패 사육 실험에서 파판의 규조류 군집의 변동이 실험 초기에는 *Navicula*, *Nitzschia*와 *Bacillaria* 등이 우점하였으나, 실험 후기에는 이들이 격감하고, 부착력이 높은 *Achnanthes*나 *Cocconeis* 등이 출현하기 시작하여, 실험이 끝날 무렵이 되면 이들의 개체수가 크게 증가하였다고 하였다. 본 연구에서도 0.3-0.4 mm의 북방전복 유생이 파판에 부착 후 먹이를 본격적으로 섭취하기 시작한 3주째부터는 *C. schroederi*나 *Rhaphoneis* sp. 외에 다른 규조류의 출현이 대량 발생하였다. 대조구를 포함한 전 실험구에서 *Navicula*의 출현이 가장 두드러졌고, 이 밖에도 *Cylindrotheca*, *Bacillaria* 등이 전 기간에 걸쳐 출현하였다. *Cocconeis*는 실험 후반기인 12주째부터 출현하기 시작하였다.

본 조사에서 유생의 부착률은 1주일만에 *C. schroederi* 실험구에서는 82%, *Rhaphoneis* sp.는 55%로 대조구의 36%보다 월등히 높아 Han and Hur (2000a), Ko and Hur (2011), Park and Hur (2013) 등의 결과와 일치하였다. 또 4주째까지 계속해서 *C. schroederi*와 *Rhaphoneis* sp. 실험구의 부착률은 대조구에 비하여 높았다. 본 연구에서 유생 사육 초기에는 *C. schroederi*가 *Rhaphoneis* sp.보다 월등히 높은 부착률을 보였으나 1주 이후 *C. schroederi*는 부착률이 급격하게 감소한 반면 *Rhaphoneis* sp.는 감소폭이 낮았던 점을 볼 때, 부착률의 관점에서는 *C. schroederi*가 *Rhaphoneis* sp.보

다 더 우수하지만 유생이 성장하는 과정에서는 *Rhaphoneis* sp.의 먹이효율이 더 좋은 것으로 판단된다.

규조류 세포자체의 분비물은 부착초기 북방전복 유생의 영양공급원이며 (Kawamura and Takami, 1995), bacteria 역시 초기 유생의 먹이 또는 소화 효율에 영향을 줄 수 있다 (Daume, 2006). 그러나 각각 800  $\mu$ m 이상의 북방전복은 더 이상 규조류 세포막 자체에서 분비되는 점액질을 먹이로 이용하지 않고 치설로 세포벽을 직접 부수어 규조류 세포내용물을 섭취한다 (Takami *et al.*, 1997). 각장이 약 800  $\mu$ m에 도달한 북방전복 유생은 *Cocconeis scutellum*에서, 각각 1,500-2,000  $\mu$ m의 유생은 *Achnanthes longipes*에서 먹이효율이 높게 나타났다 (Kawamura *et al.*, 1995; Takami *et al.*, 1997).

본 연구에서도 *C. schroederi*와 *Rhaphoneis* sp.의 세포에서 분비되는 점액질 또는 박테리아는 북방전복 초기 유생의 부착기질과 먹이생물로서 이용되고, *C. schroederi*의 점액질은 *Rhaphoneis* sp.의 점액질보다 초기 유생에 더 적합한 부착기질 또는 먹이로 작용하였기 때문으로 판단된다. 또 유생이 성장해감에 따라 *Rhaphoneis* sp.가 *C. schroederi*보다 더 좋았던 것은 *Rhaphoneis* sp.의 영양가 특히, HUFA 가 높기 때문으로 해석할 수 있다 (Park, 2005). 이와 같이 북방전복 유생은 성장단계에 따라서 각 부착 규조류의 먹이효율이 다를 수 있다 (Kawamura *et al.*, 1995; Park and Hur, 2013). 본 연구에서 *C. schroederi*를 배양하여 파판에 우점적으로 부착시켜서 북방전복을 사육하면 기존의 방법보다 약 2.5배 높은 부착률이 가능하고, *Rhaphoneis* sp.를 배양하여 북방전복의 유생을 사육하면 기존의 양식 어민들의 방법보다 총 중량이 약 3.2배 높은 종묘를 생산할 수 있을 것으로 기대된다.

북방전복 종묘는 같은 시기에 채묘하여 생산된 것일지라도 치패의 밀도, 먹이의 질과 양에 따라 치패의 성장은 큰 차이를 보이며 효율적인 종묘생산을 위해서는 성장이 늦은 소형 치패를 분리하여 성장을 회복시킬 필요가 있다. Uki and Kikuchi (1979) 는 약 10 mm 북방전복 치패를 대상으로 6종의 규조류를 먹이로 사육한 결과 담녹조류 *Tetraselmis* sp. 보다 *Navicula* sp., *Nitzschia* sp.를 먹은 치패의 일간 성장량이 10배 이상 높았다고 하였다. Han and Hur (2000b) 은 성장이 늦은 4.3 mm의 북방전복 치패의 경우, *C. schroederi*에서 성장이 가장 좋았고 *Nitzschia* sp.에서 성장이 가장 늦었다고 보고하였다.

일반적으로 북방전복 종묘배양장에서는 각장이 10 mm 정도 되면 파래와 미역같은 해조류를 먹이로 이용한다 (Han and Hur, 2000b, Simental and Sánchez-Saavedra, 2003). Han and Hur (2000b) 은 춘계산으로 개체군에서 비교적 성장이 느린 약 7.6 mm의 북방전복 치패를 대상으로 해

조류 중 가장 성장이 좋다고 알려진 미역 (*Undaria pinnatifida*) 과 *C. schroederi*를 공급하며 성장을 비교한 결과 *C. schroederi*는 미역에 비하여 치패의 일간 성장량이 1.8 배 더 높았다고 보고하였다.

본 실험에서 종묘생산과정에서 성장이 느렸던 소형 치패 (8.2 mm) 를 대상으로 성장회복실험을 한 결과, *Rhaphoneis* sp.는 기존의 대조구보다 1.6배, *C. schroederi*보다는 1.3배 높은 성장을 보여 성장이 늦은 소형 치패의 성장 회복을 위해서도 양호한 먹이효율을 보였다. 이러한 결과를 종합해 볼 때 자연해수를 흘려 무작위로 규조류를 파관에 부착시키는 기존의 방법보다는 먹이효율이 좋은 규조류를 따로 배양해서 우점적으로 파관에 부착시켜 종묘생산을 하는 것이 더 효과적임을 알 수 있었다. 특히 *C. schroederi*은 유생의 부착과 초기유생 사육에, *Rhaphoneis* sp.는 후기 유생 사육과 성장이 늦은 소형 치패의 성장 회복에 최적의 규조류로 판단된다.

## 사 사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비 (2013년 : 0314)에 의하여 연구되었음.

## REFERENCES

- Daume, S. (2006) The roles of bacteria and microalgae in abalone *Aquaculture*: A review. *Journal of Shellfish Research*, **25**(1): 151-157.
- Duncan, D.B. (1955) Multiple-range and multiple F test. *Biometrics*, **11**: 1-42.
- Ebert, E. and Houk, J. (1984) Elements and innovations in the cultivation of red abalone, *Haliotis refescens*. *Aquaculture*, **39**: 375-392.
- Gordon, N., Neori, A., Shpigel, M., Lee, J. and Harpaz, S. (2006) Effect of diatom diets on growth and survival of the abalone *Haliotis discus hannai* post larvae. *Aquaculture*, **252**: 225-233.
- Guillard, R.R.L. and Ryther, J.H. (1962) Studies of marine plankton diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt, and *Detonula confervacea* Cleve. *Canadian Journal of Microbiology*, **8**: 229-239.
- Han, H.K. and Hur, S.B. (2000a). Dietary value of benthic diatoms for newly settled abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. *Journal of Aquaculture*, **13**: 153-161.
- Han, H.K. and Hur, S.B. (2000b). Dietary values of benthic diatoms for growth recovery of the retarded spat of abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. *Journal of Aquaculture*, **13**: 163-168.
- Ioriya, T. and Suzuki, H. (1987) Changes of diatom community on plastic plates used for rearing of abalone *Norditis discus*. *Suisanzoshoku*, **35**(2): 91-98.
- Ito, S., Kobayakawa, A. and Tan, Y. (1987) Upper limitation of suitable temperature for rearing larvae and post settlement juveniles of the abalone *Haliotis discus hannai*. *Suisanzoshoku*, **35**(3): 171-174.
- Kawamura, T., Saido, T., Takami, H. and Yamashita, Y. (1995) Dietary value of benthic diatoms for the growth of post-larval abalone *Haliotis discus hannai*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **194**: 189-199.
- Kawamura, T. and Takami, H. (1995) Analysis of feeding and growth rate of newly metamorphosed abalone, *Haliotis discus hannai* fed on four species of benthic diatoms. *Fisheries Sciences*, **61**: 357-358.
- Kikuchi, S. (1965) Study of the culture of abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. Papers presented at the Peking Symposium, Agricultural Science II. Science and Technical Association of People's Republic of China, Peking, pp. 861-878.
- Ko, S.K. and Hur, S.B. (2011) Effects of microalgal species on the settlement and survival of *Haliotis discus hannai* larvae. *Fisheries Aquatic Sciences*, **14**(4): 339-345.
- Lucas, M.I., Walker, G., Holland, D.L. and Crisp, D.J. (1979) An energy budget for the free-swimming and metamorphosis larvae of *Balanus balanoides* (Crustacea: Cirripedia). *Marine Biology*, **55**: 221-229.
- Maldonado, M. and Young, C.M. (1999) Effects of the duration of larval life on postlarval stages of the demosponge *Sigmadocia caerulea*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **232**: 9-21.
- Norman-Boudreau, K., Burns, D., Cooke, C.A. and Austin, A. (1986) A simple technique for detection of feeding in newly metamorphosed abalone. *Aquaculture*, **51**: 313-317.
- Pang, S.J., Zang, Z.H. Bao, Y. and Gao, S.Q. (2006) Settling abalone veliger larvae in a free-swimming microalgal culture. *Aquaculture*, **258**: 327-336.
- Park, S.J. (2005) Dietary value and cultural environment of benthic diatom for seeding production of abalone *Haliotis discus hannai*. M.S. Thesis, Pukyong National University, Korea. 57 pp.
- Park, S.J. and Hur, S.B. (2013) Dietary Value of three benthic diatom species on *Haliotis discus hannai* Larvae. *Korean Journal of Malacology*, **29**(2): 91-96.
- Roberts, R.D. and Watts, E. (2010) Settlement of *Haliotis australis* larvae : role of cues and orientation of the substratum. *Journal of Shellfish Research*, **29**: 663-670.
- Seki, T. (1980) An advanced biological engineering system for abalone seed production. *In*: International Symposium on Coastal Pacific Marine Life. Western Washington University, Bellingham, pp. 45-54.
- Seki, T. (1997). Biological studies on the seed production of the northern Japanese abalone. *Bulletin of Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory*, **59**: 1-71.
- Simental, J.A. and Sánchez-Saavedra, M.P. (2003) The effect of agricultural fertilizer on growth rate of benthic diatoms. *Aquacultural Engineering*, **27**: 265-272.
- Suzuki, H., Ioriya, T., Seki, T. and Aruga, Y. (1987)



- Changes of algal community on the plastic plates used for rearing the abalone *Haliotis discus hannai*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**(12): 2163-2167.
- Takami, H., Kawamura, T. and Yamashita, Y. (1997) Survival and growth rates of post-larval abalone *Haliotis discus hannai* fed conspecific trail mucus and/or benthic diatom *Cocconeis scutellum* var. *parva*. *Aquaculture*, **152**: 129-138.
- Uki, N. and Kikuchi, S. (1979). Food value of six benthic microalgae on growth of juvenile abalone *Haliotis discus hannai* Ino. *Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory*, **40**: 47-52.
- Wollacott, R.M., Pechenik, J.A. and Imbalzano, K.M. (1989) Effects of duration of larval swimming period on early colony development in *Bugula stolonifera* (Bryozoa: Cheilostomata). *Marine Biology*, **102**: 57-63.
- Xing, R.L., Wang, C.H., Cao, X. and Chang, Y. (2008) Settlement, growth and survival of abalone, *Haliotis discus hannai*, in response to eight monospecific benthic diatoms. *Journal Applied Phycology*, **20**: 47-53.