

# 북방전복 *Haliotis discus hannai* 유생에 대한 3종 부착 규조류의 먹이효율

박세진, 허성범

부경대학교 해양바이오신소재학과

## Dietary Value of Three Benthic Diatom Species on *Haliotis discus hannai* Larvae

Se Jin Park and Sung Bum Hur

Department of Marine Bio-materials and Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

### ABSTRACT

Although the method of seedling production of *Haliotis discus hannai* is well known, the optimum benthic diatom species as a live food at early larval stage are not fully developed. In this study three Pennales diatom species, *Caloneis schroederi*, *Rhaphoneis* sp., and *Cocconeis californica* were examined on settlement, metamorphosis, survival, and growth of *Haliotis discus hannai* larvae. The larvae fed *Rhaphoneis* sp. or *C. californica* showed high settlement rate with 80-82% within 48 hrs, which was significantly higher than those fed *C. schroederi* or mixed diets with three diatom species. The larvae fed the former microalgal species also showed higher metamorphosis rate with 32-34% than the latter species with 10-12% within 4 days. With regard to survival and growth of the larvae, single diet with *Rhaphoneis* sp. or *C. californica* had better dietary value than the mixed diets for the early larvae of *H. discus hannai*.

**Key words:** *Haliotis discus hannai*, Larval culture, Dietary value, Benthic diatom

### 서 론

부착성 무척추 동물의 부유 유생은 저서 생활로 들어갈 시기에 부착률이 낮고 (Lucas *et al.*, 1979; Nielsen, 1981; Uki, 1995), 먹이가 되는 부착 미세조류의 배양은 자연 환경에 따라 변화폭이 커서 유생의 생존에 큰 영향을 준다. 이들 유생은 기질에 부착하기 전 난황을 먹이로 이용한다. 그러나 부착이 여의치 못할 경우, 유생의 유영기간이 길어지고 그 기간 동안 난황을 모두 소모시키므로 부착 후 유생의 생존에 큰 영향을 준다 (McEdward *et al.*, 1988; Woollacott *et al.*,

1989; Maldonado and Young, 1999).

북방전복의 경우 인공종묘생산기술이 확립되면서 종묘의 대량 생산이 가능하게 되었지만, 초기 유생의 낮은 부착률과 생존율은 여전히 문제점으로 남아 있다 (Robert *et al.*, 1999; Ko and Hur, 2011). 북방전복 유생이 초기 부유생활에서 부착생활로 전환할 때에 부착을 유도하는 물질로는 박테리아, 미세조류 또는 점액 물질로 구성된 생물막이 효과적이며, 이는 초기 유생의 부착과 변태에 중요하다 (Seki and Kanno, 1981; Ebert and Houk, 1984; Yang and Wu, 1995).

북방전복 인공종묘 배양장에서는 자연 해수를 흘려주어 플라스틱 파판에 규조류를 부착시켜 유생의 부착 기질과 초기 먹이로 사용한다 (Kikuchi, 1965; Seki, 1980). 부착 규조류는 유생이 부착기로 들어가는 시기부터 각장 약 3 mm가 되는 시기까지 유생의 주된 먹이며 (Ebert and Houk 1984; Slattery, 1992), 초기 유생의 부착 선호도, 변태, 성장 및 생존은 부착 규조류는 종에 따라서 차이가 있다 (Todd and Keough, 1994; Matthews and Cook, 1995; Ko and Hur, 2011). 따라서 북방전복 종묘생산에서 성장 단계에 따른 부착

Received: May 7, 2013; Accepted: June 9, 2013  
Corresponding author : Sung Bum Hur  
Tel: +82 (51) 629-5911 e-mail: hurs@pknu.ac.kr  
1225-3480/24474

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.

**Table 1.** Percentage of larval settlement of *Haliotis discus hannai* on different microalgal diets

Microalgae	Elapsed times*					
	6 hrs	12 hrs	24 hrs	48 hrs	72 hrs	96 hrs
Non-fed	11.6 ± 7.3 <sup>c</sup>	14.9 ± 2.5 <sup>c</sup>	21.5 ± 4.7 <sup>c</sup>	20.7 ± 15.0 <sup>c</sup>	15.0 ± 9.1 <sup>c</sup>	11.0 ± 9.2 <sup>b</sup>
<i>Caloneis schroederi</i>	32.8 ± 6.0 <sup>ab</sup>	35.3 ± 8.4 <sup>b</sup>	44.8 ± 13.1 <sup>bc</sup>	57.3 ± 14.3 <sup>b</sup>	57.9 ± 24.3 <sup>b</sup>	67.5 ± 13.8 <sup>a</sup>
<i>Rhaphoneis</i> sp.	31.7 ± 7.5 <sup>ab</sup>	44.7 ± 8.4 <sup>b</sup>	59.4 ± 8.7 <sup>b</sup>	82.2 ± 6.5 <sup>a</sup>	76.7 ± 11.8 <sup>a</sup>	75.4 ± 17.5 <sup>a</sup>
<i>Cocconeis californica</i>	39.3 ± 5.8 <sup>a</sup>	57.7 ± 7.7 <sup>a</sup>	73.7 ± 10.1 <sup>a</sup>	80.5 ± 7.6 <sup>a</sup>	77.6 ± 4.4 <sup>a</sup>	76.9 ± 8.5 <sup>a</sup>
Mixed microalgae	24.4 ± 11.9 <sup>b</sup>	35.7 ± 4.1 <sup>b</sup>	47.8 ± 10.9 <sup>bc</sup>	60.4 ± 20.1 <sup>b</sup>	57.4 ± 16.0 <sup>b</sup>	49.7 ± 10.1 <sup>ab</sup>

\*Hours after inoculation of veliger larvae grown for 88 hours after fertilization. Different letters in the same column mean significantly difference (P < 0.05).

규조류의 양적 및 질적 확보는 실질적인 핵심 과제이다. 북방전복의 부착 후기 유생의 먹이효율에 관해서는 비교적 많은 연구가 보고되었으나 (Ohgai *et al.*, 1991; Ishida *et al.*, 1995), 부착 초기 유생에 대한 연구는 여전히 부족한 실정이다 (Han and Hur, 2000; Ko and Hur, 2011).

따라서 본 연구는 북방전복의 종묘생산을 위한 유용 부착 규조류를 선별하기 위하여 3종의 소형 규조류를 대상으로 초기 유생의 부착률, 변태율, 생존율 및 성장에 대한 먹이효율을 비교 조사하였다.

### 재료 및 방법

실험에 사용된 3종의 소형 부착 규조류 *Rhaphoneis* sp. (8.8 ± 1.7 μm), *Caloneis schroederi* (21.0 ± 2.5 μm), *Cocconeis californica* (23.8 ± 9.1 μm) 는 부경대학교 한국해양미세조류은행 (KMMCC) 에서 분양받아 이용하였다. 3종의 규조류는 7일간 6-well cell chamber에서 10 mL의 f/2 배지 (Guillard and Rytter, 1962) 로 20°C, 20 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> 연속 조명하에서 정치배양하여 얇은 막을 형성하도록 하였다. 북방전복 유생의 사육은 규조류 각각의 단독 먹이 실험구와 3종의 혼합 먹이 실험구로 구분하였다. 혼합구는 3종 규조류의 크기 면적을 고려하여 면적 기준 1:1:1의 비율이 되도록 혼합 공급하였고, 대조구는 규조류의 첨가 없이 여과해수만 채웠다. 실험에 사용한 북방전복 유생은 수정 후 88시간이 경과한 veliger 유생을 해림수산에서 분양받아 사용하였다.

부착 규조류를 배양한 chamber는 유생을 넣기 전 배지를 제거하고 남아 있는 f/2 배지의 성분을 제거하기 위해서 여과해수로 3회 세척하여 chamber에 부착된 규조류만 남게 하였다. Chamber에 GF/C filter로 여과한 해수를 10 mL 넣고 유생 30개체를 수용하였다. 유생은 18°C, 20 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, 광주기 8 (L) : 16 (D) 의 환경에서 16일간 사육하였다. 유생이 chamber 기질에 부착된 후에는 여과해수를 매일 5 mL 씩 교환하였다. 실험은 5반복으로 실시하였다.

1일 1회 동일한 시간에 해부현미경을 이용해서 기질에 부착한 유생의 수를 계수하여 유생의 부착률과 변태율을 조사하였다. 변태한 개체는 부착 유생의 유각이 없어지고 주구각이 생기는 시점을 기준으로 측정하였다. 유생의 변태가 진행되기에 충분한 시간이 경과한 뒤에도, 변태가 일어나지 않은 유생은 모두 제거하였다. 유생의 부착률, 변태율, 생존율 및 성장을 조사하여 (Ko and Hur, 2011) 각 규조류의 먹이효율을 파악하였다. 유생의 생존 여부는 매일 점검하였고 10초 동안 움직임 없이 고정되어 있는 개체는 폐사개체로 간주하여 즉시 제거하였다. 유생의 생존율은 변태 전과 후로 구분하여 측정하였다. 매일 각 실험구의 반복구마다 6개체씩 총 30개체 유생의 각장을 Moticom Pro 205A (Motic Instruments Inc., Richmond, BC, Canada) 을 이용하여 μm 단위로 측정하여 성장을 조사하였다.

모든 실험 결과는 One-way ANOVA test를 실시하였으며, 평균간의 유의성 (P < 0.05) 은 Duncan multiple test (Duncan, 1955) 로 검정하였다. 통계분석은 SPSS program (version 17.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 을 사용하여 분석하였다.

### 결 과

#### 1. 부착 규조류에 따른 유생의 부착률과 변태율

유생의 부착률은 실험 시작 6시간 후 규조류를 공급하지 않은 단독 규조류 공급구는 31.7-39.3%의 높은 부착률을 보였으나, 3종 규조류 혼합구는 24.4%로 낮은 경향을 보였다. *C. californica*는 39.3%로 3종의 규조류 가운데 가장 높은 경향을 보였고 대조구는 11.6%로 유의하게 가장 낮았다 (P < 0.05, Table 1). 실험 24시간 후 *C. californica*는 73.7%로 유의하게 가장 높은 부착률을 보였고 (P < 0.05), 그 다음은 *Rhaphoneis* sp., *C. schroederi*의 순이었다. 실험 48시간까지는 모든 실험구에서 부착률이 계속 높아지다가 그 후 부터는 *C. schroederi*를 제외한 모든 실험구에서 부착률이 계속 감소

**Table 2.** Percentage of larval metamorphosis of *Haliotis discus hannai* on different microalgal diets

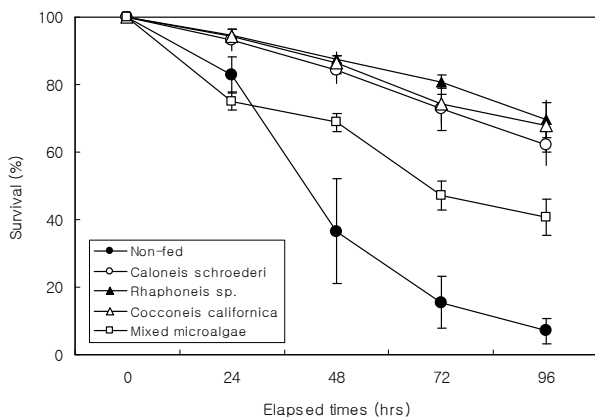
Micoralgae	Elapsed times*	
	4 days	6 days
Non-fed	1.0 ± 1.4 <sup>c</sup>	1.9 ± 1.2 <sup>c</sup>
<i>Caloneis schroederi</i>	12.8 ± 6.5 <sup>b</sup>	37.6 ± 12.5 <sup>ab</sup>
<i>Rhaphoneis</i> sp.	32.8 ± 16.5 <sup>a</sup>	45.5 ± 8.8 <sup>a</sup>
<i>Cocconeis californica</i>	34.8 ± 4.9 <sup>a</sup>	49.5 ± 5.9 <sup>a</sup>
Mixed microalgae	10.8 ± 7.3 <sup>b</sup>	28.4 ± 15.2 <sup>b</sup>

\*Hours after inoculation of veliger larvae grown for 88 hours after fertilization. Different letters in the same colume mean significantly difference (P < 0.05).

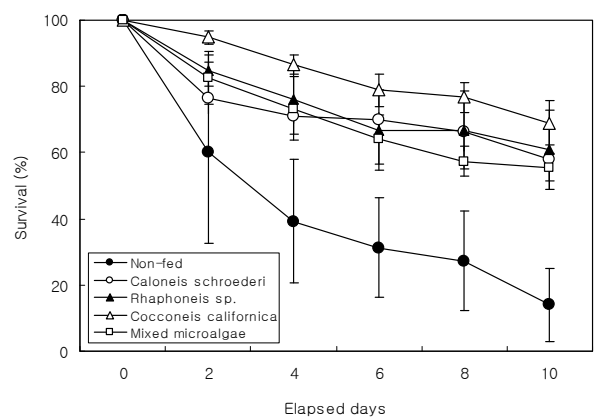
하는 경향을 보였다. *C. schroederi*의 경우 다른 실험구와 달리 부착률이 96시간까지 꾸준히 높아지는 결과가 특이하였다. 실험 96시간째 *C. californica*, *Rhaphoneis* sp., *C. schroederi*는 67.5%-76.9%의 부착률로 혼합구 49.7%에 비하여 높은 경향이였다. 대조구는 11.0%로 매우 낮은 부착률을 보였다. 유생의 변태율은 실험 4일째 *C. californica*와 *Rhaphoneis* sp.에서 각각 34.8%, 32.8%로 가장 높았고, 혼합구는 10.8%로 단독 먹이 실험구보다 유의하게 낮았다. 또 먹이를 공급하지 않은 대조구에서는 1.0%로 가장 낮았다 (P < 0.05). 6일째 모든 실험구에서의 변태율은 증가하였고 *C. californica*와 *Rhaphoneis* sp.가 각각 49.5%, 45.5%로 가장 높았고, 혼합구는 28.4%, 대조구는 1.9%로 가장 낮았다. *C. schroederi*는 37.6%로 앞의 구조류 2종에 비하여 낮은 경향이였고 부착률에서와 같이 변태의 속도도 상대적으로 느린 것으로 나타났다 (Table 2).

**2. 부착 구조류에 따른 유생의 생존율과 성장**

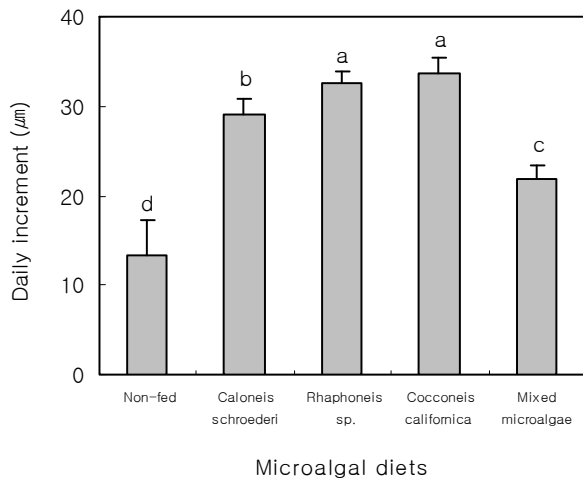
유생의 부착 후부터 변태까지의 생존율은 실험 96시간째 *C. californica*와 *Rhaphoneis* sp. 및 *C. schroederi*에서 62%-69%로 다른 실험구에 비하여 유의하게 높았다 (P < 0.05). 반면, 혼합구는 40.8%로 단독구에서의 생존율보다 낮은 경향이였다. 먹이를 공급하지 않은 대조구는 24시간까지는 다른 실험구와 비교해서 큰 차이를 보이지 않았지만 그 이후 급격히 감소하기 시작하여 96시간째 7.0%로 가장 낮은 생존율을 보였다 (Fig. 1). 변태 후 유생의 생존율도 변태 전과 유사한 경향이였다. 실험 기간 내내 *C. californica*와 *Rhaphoneis* sp.는 다른 실험구에 비하여 높은 생존율을 보였고 10일째에는 61%와 69%의 가장 높은 생존율을 보였다. *C. schroederi*와 혼합구도 10일째 55%와 58%의 비교적 높은 생존율을 보였다. 그러나 먹이를 공급하지 않은 대조구는 변태 10일째 14.0%로 유의하게 가장 낮은 생존율을 보였다 (P < 0.05, Fig. 2). 부착 후 16일간 사육한 유생의 일간 각장 성장



**Fig. 1.** Survival (%) of *Haliotis discus hannai* larvae fed different microalgal diets from veliger stage to settlement before metamorphosis.



**Fig. 2.** Survival (%) of *Haliotis discus hannai* larvae fed different microalgal diets after metamorphosis for ten days.



**Fig. 3.** Daily shell length increment of *Haliotis discus hannai* larvae fed different microalgal diets for 16 days after settlement. Different letters on the bar mean significantly difference ( $P < 0.05$ ).

은 *C. californica*와 *Rhaphoneis* sp.는 각각 33.7 µm와 32.5 µm로 유의하게 가장 높은 값을 보였다. *C. schroederi*는 29.0 µm로 혼합구 21.8 µm보다 높았고, 먹이를 공급하지 않은 대조구는 13.4 µm로 가장 저조한 성장을 보였다 ( $P < 0.05$ , Fig. 3).

### 고 찰

북방전복 유생의 초기 부착물, 변태율, 성장률 및 생존율을 위한 최적 부착 규조류의 양적·질적 확보는 인공종묘생산에서 중요하다. 북방전복 유생은 부착기질에 착저하여 2일 후부터 부착규조류를 먹기 시작하는데 이 시기에도 먹이에 대한 선택성이 있는 것으로 알려져 있다 (Norman-Boudreau *et al.*, 1986; Pechenik *et al.*, 1993). 먹이 선택의 주요 인자로는 부착 규조의 부착력, 규조막의 견고성, 세포 형태와 크기 등인데, 이러한 요인에 따라 규조류에 대한 북방전복 유생의 먹이효율은 다르다 (Kawamura *et al.*, 1998; Robert *et al.*, 1999). 북방전복 초기 유생에 적합한 미세조류는 *Achnanthes*, *Amphora*, *Caloneis*, *Cocconeis*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Rhaphoneis* 등의 우상목 (Pennales) 규조류 중 소형인 규조류로 알려져 있다 (Seki, 1980; Han and Hur, 2000; Ko and Hur, 2011).

Ohgal *et al.* (1991)은 *Cocconeis*, *Navicula*, *Nitzschia*를 파관에 배양한 후, 북방전복 유생의 성장과 생존을 조사한 결과에서 *Cocconeis*를 먹은 유생은 착저 후 부착, 성장 및 생존에서 가장 좋은 결과를 보였다고 하였다. Han and Hur (2000)은 10종의 규조류 가운데 *Rhaphoneis* sp.가 부착물

과 생존율이 가장 높았고 성장은 *C. schroederi*에서 가장 좋았다고 보고하였다. 또 Ko and Hur (2011)도 9종 규조류 가운데 *Rhaphoneis* sp.가 부착물과 변태율에서 가장 높았다고 보고하였다. 각각 약 300 µm인 북방전복 초기 유생을 대상으로 한 본 실험에서는 각 규조류 종에 따른 유생의 부착물 속도는 *C. californica*, *Rhaphoneis* sp., *C. schroederi*의 순으로 뚜렷한 차이를 보였다. 또 실험 시작 후 96시간째 부착물이 높았던 *C. californica*와 *Rhaphoneis* sp. 실험구에서는 유생의 변태율, 생존율 및 성장률도 높게 나타나 앞의 보고와 유사한 결과를 보였다.

북방전복 유생은 각장의 크기가 800 µm에 이르기까지 영양원으로써 규조류의 세포내 물질을 섭취하지는 못하고, 세포의 점액질 분비물을 영양원으로 이용한다는 보고가 있다 (Kawamura and Takami, 1995). 각각 약 800 µm의 북방전복 후기 유생은 *Cocconeis scutellum*을 먹인 결과 높은 성장을 보였고 (Kawamura *et al.*, 1995; Takami *et al.*, 1997), *H. rubra*의 유생은 부착 18일 이후에 *C. scutellum*을 섭취하기 시작했다는 보고가 있다 (Daume *et al.*, 1997), 규조류 *Achnanthes longipes*은 각장이 1,500-2,000 µm에 도달한 북방전복 유생과, 각장이 750-1,300 µm에 도달한 *H. iris*의 유생에서 소화율이 높다고 하였다 (Kawamura *et al.*, 1995). 따라서 본 연구에서 규조류의 종에 따른 유생의 부착물과 변태율 등은 규조류 세포내의 영양분의 영향일 수도 있으나, 각 규조류의 세포막 자체에서 분비되는 점액질의 영향 때문으로 설명할 수도 있다.

Kawamura and Hirono (1992)는 부착 규조류의 부착 방식, 운동성 및 점착력 등에 근거하여 부착성 규조류의 성장형태를 7가지로 구분하였는데, 이러한 특성에 따라 북방전복 유생의 부착 규조류에 대한 먹이효율은 다를 것이다. Kawamura *et al.* (1995)은 *C. scutellum* var. *parva*는 부착력이 높고 북방전복 유생이 치설을 이용하여 잡아먹을 수 있어 성장률이 높고, *Amphora angusta* var. *ventricosa*, *Navicula ramosissima*, *Nitzschia* sp. 등은 부착력이 낮아 상대적으로 저조한 성장률을 보였다고 하였다. Ko and Hur (2011)는 다양한 미세조류 31종의 부착물을 조사하고 북방전복의 유생을 대상으로 사육 실험한 결과, 본 실험에서 이용한 3종의 규조류는 *Rhaphoneis* sp. 80%, *C. schroederi* 72%, *C. californica* 69%의 높은 부착력을 보였고 북방전복 유생의 먹이효율도 다른 미세조류 종에 비하여 높게 나타났다. 그러나, *Amphora* sp., *Pleurosigma angulatum*, *Lyngbya taylorii*, *Oscillatoria splendida* 등은 부착력은 높았으나 유생의 먹이효율은 매우 낮았다. 이와 같이 북방전복 유생에 대한 미세조류의 먹이효율은 미세조류 종에 따라 다를 뿐만 아니라 유생의 성장 단계에 따라서도 다르다 (Han and Hur, 2000).

본 실험에서 북방전복 유생의 부착률, 변태율, 생존율, 성장 등의 결과를 종합해 볼 때, 북방전복 초기 유생의 사육을 위한 최적 부착 규조류는 *C. californica*, *Rhaphoneis* sp., *C. schroederi*의 순이며, 이들 먹이를 혼합하여 공급한 것보다 단독으로 공급하는 것이 더 효과적일 것으로 판단된다.

## 사 사

이 논문은 2010학년도 부경대학교 연구년 교수지원사업에 의하여 연구되었음 (PS-2010-0165).

## 요 약

북방전복 초기 유생의 사육에 적합한 부착 규조류를 파악하기 위하여 *C. californica*, *Rhaphoneis* sp. *C. schroederi*를 대상으로 veliger 유생의 부착률, 변태율, 생존율 및 성장을 조사하였다. 각 규조류의 단독 먹이 실험구, 3종의 혼합 먹이 실험구 및 먹이를 공급하지 않은 대조구로 구분하여 사육하였다. 유생의 부착률은 *C. californica*와 *Rhaphoneis* sp.에서 48시간째에 80-82%로 가장 높았고, *C. schroederi*의 최고 부착률은 96시간째에 67%로 상대적으로 늦고 낮은 경향을 보였다. 변태율도 *C. schroederi*는 6일째 37%로 *C. californica*와 *Rhaphoneis* sp.의 45-49%에 비하여 낮고 느린 결과를 보였다. 혼합 먹이 실험구는 단독 먹이 실험구에 비하여 낮은 부착률과 변태율을 보였다.

변태 후 10일째 *C. californica*와 *Rhaphoneis* sp.는 각각 69%와 61%의 높은 유생 생존율을 보였고, 일간 각장 성장은 각각 33.7  $\mu\text{m}$ 과 32.5  $\mu\text{m}$ 로 *C. schroederi*의 29.0  $\mu\text{m}$ , 혼합 먹이 실험구의 21.8  $\mu\text{m}$ 에 비하여 유의하게 높았다. 따라서 북방전복 초기 유생 사육을 위한 최적 규조류는 *C. californica*, *Rhaphoneis* sp., *C. schroederi*의 순으로, 이들 규조를 단독으로 공급하는 것이 혼합하여 공급하는 것보다 효과적일 것으로 판단된다. 그러나 본 실험은 북방전복 초기 유생단계의 결과이므로 차후 치패를 대상으로 한 장기간의 먹이 효율 조사가 필요하다.

## REFERENCES

- Daume, S., Brand-Gardner, S. and Woelkerling, W.J. (1997) Effects of post-larval abalone, *Haliotis rubra* grazing on the epiphytic diatom assemblage of coralline red algal surfaces. *Molluscan Research*, **18**: 119-130.
- 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.
- 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. (2000) Dietary value of benthic diatoms for newly settled abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. *Journal of Aquaculture*, **13**: 153-161.
- Ishida, T., Akutsu, T. and Torisawa, K. (1995) Effects of monocultured benthic diatom on the metamorphosis of veliger larvae and on the growth on juveniles of abalone, *Haliotis gigantea*. *Bulletin of the Shizuoka Prefectural Fisheries Experiment Station*, **30**: 17-21.
- Kawamura, T. and Hirono, R. (1992) Seasonal changes in benthic diatom communities colonizing glass slides in Aburatsubo Bay, Japan. *Diatom Research*, **7**: 227-239.
- Kawamura, T., Robert, R.D. and Takami, H. (1998) A review of the feeding and growth of post-larval abalone. *Journal of Shellfish Research*, **17**: 615-625.
- 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 Science*, **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 and 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.
- Matthews, I. and Cook, P.A. (1995) Diatom diet of abalone post-larvae, *Haliotis midae* and effect of pre-grazing the diatom overstory. *Marine and Freshwater Research*, **46**: 545-548.
- McEdward, L.R., Carson, S.F. and Chia, F.S. (1988) Energetic content of eggs, larvae, and juveniles of *Florometra serratissima* and the implications for the evolution of crinoid life histories. *International Journal of Invertebrate Reproduction and Development*, **12**: 9-22.
- Nielsen, C. (1981) On morphology and reproduction of *Hippodiplisia insculpta* and *Fenestulina malusii* (Bryozoa Cheilostomata). *Ophelia*, **20**: 91-125.
- 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.
- Ohgai, M., Wakanho, M. and Nagai, S. (1991) Effect of attached microalgae on the settlement of larvae and growth of juvenile in abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. *Suisanzoshoku*, **40**: 403-409.
- Pechenik, J.A., Rittschof, D. and Schmidt, A.R. (1993) Influence of delayed metamorphosis on survival and growth of juvenile barnacles *Balanus amphitrite*. *Marine Biology*, **115**: 287-294.
- Robert, R.D., Kawamura, T. and Nicholson, C.M. (1999) Growth and survival of post-larval abalone, *Haliotis iris* in relation to development and diatom diet. *Journal of Shellfish Research*, **18**: 243-250.
- 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. and Kanno, H. (1981) Induced settlement of the Japanese abalone *Haliotis discus hannai* veliger by the mucus of the juvenile and adult abalones. *Bulletin of Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory*, **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.
- 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.
- Todd, C.D. and Keough, M.J. (1994) Larval settlement in hard substratum epifaunal assemblages a manipulative field study of the effects of substratum filming and the presence of incumbents. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **181**: 159-187.
- Uki, N. (1995) Reproductive physiology and seed production of abalone species. *In*: Techniques of Seed Production of Abalone Species. (ed. by Uki, N., Omori, M., Kawahara, I., Ishida, K. and Yanagisawa, T.), Japan Sea-Farming Association, Tokyo, pp. 92.
- 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.
- Yang, Y. and Wu, B. (1995) Induction of larval settlement and metamorphosis of *Haliotis discus hannai* Ino. Gastropoda Mollusca. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, **13**: 71-77.