

# 大蝦 (*Penaeus chinensis*)의 Zoea와 Mysis期 幼生の 成長과 生存率에 미치는 環境要因 및 먹이生物의 影響\*

金 炫 浚 · 許 聖 範

釜山水產大學校 養殖學科

## Effects of Environmental Factors and Live Food on Growth and Survival Rate of Zoea and Mysis Larvae of Fleshy Shrimp, *Penaeus chinensis*

Hyun Jun KIM and Sung Bum HUR

Department of Aquaculture, National Fisheries University of Pusan,  
Pusan 608-737 Korea

### ABSTRACT

The effects of environmental factors (density, light, temperature) and live food on growth and survival rate of zoea and mysis of fleshy shrimp, *Penaeus chinensis*, were examined.

The percent survival rates at the culture densities of 200 and 300 larvae per liter were significantly higher than that of 500 larvae per liter ( $p < 0.05$ ). The percent survival rates at the culture densities of 100, 200, 300 and 500 larvae per liter were 90.3<sup>ab</sup>, 95.2<sup>a</sup>, 94.3<sup>a</sup> and 86.7<sup>b</sup> % ( $p < 0.05$ ).

The effects of light conditions with diatom premix diet showed that continuous light was the best for the survival rate, 96.5%. Natural light and continuous darkness showed the survival rates 79.0% and 4.3%, respectively.

On the rearing temperature, the survival rates were 97.3% at 19°C and 96.7% at 22°C with little difference but the higher temperature resulted in faster growth. The survival rate was 51.6% at 25°C thus showing significant decrease compared to 19°C and 22°C. At this temperature the growth was also suffered.

With regard to dietary value of live food, both the best survival rate and the fastest growth were obtained when 6 mixed species of diatom (*A. normaii*, *C. simplex*, *N. closterium*, *P. tricornutum*, *S. costatum* and *T. weissflogii*) were provided. When single species was supplied the best survival rate (82.1%) was obtained with *S. costatum*, but the other species resulted in much inferior survival rates (below 80.0%) and poor growth.

\* 본 연구는 1989년 한국과학재단 학위 논문 연구비 지원에 의해 수행되었음.

## 서 론

최근 황해의 대표적인 새우 자원인 대하 (*Penaeus chinensis*)에 대하여 자원 조성 또는 대규모 양식 산업의 차원에서 많은 연구의 관심이 대두되고 있다. 1992년 현재 우리 나라 서해안에는 모두 708 ha, 22 건의 대하 양식장이 면허되어 있고, 정부 차원에 의한 대하 치하 방류도 부안과 보령 국립배양장을 중심으로 1987년 이후 활발히 진행되고 있으며, 1993년에는 39,937,000 마리의 치하를 방류한 바 있다(수산청 업무자료, 미발표). 현재 건설중인 국립 안흥배양장이 완공되면 치하 방류 사업은 더욱 활발할 것으로 기대되고 있다.

그러나, 이와같은 현실에도 불구하고 대하 초기 유생의 사육 환경 요인 및 먹이생물에 대한 구체적인 연구 보고는 미흡한 실정이다. 金(1968)은 대하의 종묘 생산에 관한 연구에서 사육 밀도와 먹이에 대해 nauplius에서 zoea와 mysis 1기까지의 소요 기간 및 생존율을 보고한 바 있고, 房과 盧(1969)는 대하 인공 부화에 관한 연구에서 nauplius에서 zoea까지, zoea에서 mysis까지의 생존율을, 卞(1970)은 먹이 생물을 달리했을 때 nauplius 기부터 mysis까지의 생존율을 보고한 바 있다. 또한 Rho(1990)는 수온에 따른 nauplius에서 mysis까지의 생존율을 보고하였다. 그러나 이런 보고들은 복합적인 환경 조건이나 먹이생물의 종류에 따른 실험 결과가 아니고 종묘 생산 과정에서 일정한 환경 조건하에서 조사된 내용이므로 구체적인 결과로서는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구는 질적 및 양적으로 우수하고 경제적인 대하 종묘를 생산하기 위하여 사육 밀도, 빛, 수온 및 먹이생물 등의 복합적인 환경 조건이 대하 zoea와 mysis 유생의 성장과 생존에 미치는 영향을 조사하였고 그 결과를 보고하고자 한다.

## 재료 및 방법

대하 zoea와 mysis 유생의 적절한 먹이생물과 환경 조건을 알아보기 위해 사육 밀도, 광주기, 수온 및 초기 먹이에 따른 성장과 생존율을 조사하였다. 본 실험에 사용된 zoea와 mysis는 각각 부화 후 4일, 12일만에 변태하였으며, 이들은 유생 기간이 짧고, 같은 먹이를 섭취하므로 이 두 유생 기간을 하나로 묶어 실험을 실시하였다. 모든 실험은 5ℓ 플라스틱 수조에 3ℓ의 여과 해수를 채운 후 실시하였으며, 먹이로 공급된 식물 먹이 생물은 f/2 배지(Guillard and Ryther 1962)로 배양하였다.

사육 해수는 매일 오전 10시 경에 siphon으로 바닥의 찌꺼기를 제거한 후 먹이를 공급한 다음 깨끗한 여과 해수를 3ℓ되게 채웠고, 사육수의 30%를 매일 환수하였다.

전장은 해부 현미경을 이용하여 0.1mm까지, 체중은 화학 저울을 이용하여 0.1mg까지 측정하였다. 사육 기간중에 실험 개체에 대한 스트레스를 최소화하기 위해서 실험 완료 직전에만 생존 개체를 조사하였다.

### 1. 사육 밀도

사육 밀도에 따른 성장과 생존율의 실험은 1989년 5월 19일부터 1989년 6월 4일까지 17일간 실시하였으며, 각 실험구의 해수 1ℓ당 100, 200, 300, 500 마리의 nauplius를 사육하였다.

먹이생물은 부산수산대학교 양식학과 천해양식 실험실에 보관중인 *Chaetoceros simplex* (NFUP D-16), *Skeletonema costatum* (NFUP D-24), *Thalassiosira weissflogii* (NFUP D-20)를 같은 비율로 혼합하여 공급하였다. 먹이 밀도는 유생 100마리 당 10만 cells/ml를 유지되도록 하였으며, 광주기는 24시간 연속 조명(수면 조도는 3,000 lux)으로 유지하고, 수온은  $20.2 \pm 0.7$  °C이었다.

## 2. 광 주기

Zoea와 mysis기의 광주기에 따른 성장과 생존율을 파악하기 위하여 빛은 자연광(L:D=15:9), 24 시간 연속 조명(수면 조도 3,000 lux)와 24 시간 연속 암흑구로 구분하여 실험하였다. 광주기 실험에서 사용한 먹이생물은 *C. simplex* (NFUP D-16), *S. costatum* (NFUP D-24), *T. weissflogii* (NFUP D-20) 3종의 규조 혼합구와 *S. costatum* 단독 공급구, 그리고, 2 종류의 미립자 사료인 shrimp feed (Nippai brand, Japan), micro capsulated feed (Argent Chemical Lab., U. S. A.)를 사용하였다. 먹이의 공급량은 사육 해수 ℓ당 30 만 개체를 유지시켰으며, 사육 수온은  $20.2 \pm 0.7^\circ\text{C}$ , 사육 밀도는 300 마리/ℓ로 하였다.

위와 같은 방법으로 1989년 5월 19일부터 1989년 6월 4일까지 17일간 3가지 광주기에서 사육한 유생의 성장과 생존율을 조사하였다.

## 3. 수온

본 실험에서의 사육 수온은 실내 수온인  $19^\circ\text{C}$ 와 이 보다  $3^\circ\text{C}$ ,  $6^\circ\text{C}$  증가시킨  $22^\circ\text{C}$ ,  $25^\circ\text{C}$ 로 구분하였으며, 사육 밀도는 300 마리/ℓ, 광주기는 24 시간 연속 조명(수면 조도 3,000 lux)하였다. 먹이는 *Amphora normanii* (NFUP D-34), *C. simplex* (NFUP D-16), *Nitzschia closterium* (NFUP D-9), *Phaeodactylum tricornutum* (NFUP D-14), *S. costatum* (NFUP D-24), *T. weissflogii* (NFUP D-20)를 혼합하여 사육 해수 ml당 30 만 개체로 유지하면서, 1990년 5월 24일부터 1990년 6월 13일까지 21일간 사육하였다.

## 4. 식물 먹이생물 효과 실험

Zoea기에는 식물 먹이생물을 섭취하므로 수온 실험에서 사용한 6 종류의 규조를 이용하여 먹이 효과를 실험하였다. 이 실험에 사용한 먹이생물은 *A. normanii*, *C. simplex*, *N. closterium*, *P. tricornutum*, *S. costatum*, *T. weissflogii* 실험구 및 이들 6 종류의 규조를 혼합한 혼합구로 나누어 비교하였다. 이들 식물 먹이생물은 각 실험구에 사육 해수 ml당 30 만 개체를 유지시켰다. 또, 이들 실험은 연속 조명(수면 조도:3,000 lux) 및 자연광 상태에서 실시되었으며, 사육 수온과 사육 밀도는  $19.1 \pm 0.7^\circ\text{C}$ , 300 마리/ℓ이었고, 1990년 5월 24일부터 1990년 6월 13일까지 21일간 실험하여 식물 먹이생물의 종류에 따른 먹이 효율을 비교하였다.

## 5. 지방산 및 통계 분석

본 연구에서 사용된 먹이생물 중 *C. simplex*, *P. tricornutum*, *S. costatum*, *T. weissflogii*의 지방의 분석은 Gas chromatograph (Model 8700, Perkin Elmer LTD)을 이용하였고, 지방의 추출 및 정제는 Folch *et al.* (1957)법으로 시행하였다.

모든 실험은 2 반복구로 실시하였고, 반복구의 평균을 계산하여, 성장에 관한 결과는 one-way analysis of variance (Nie *et al.* 1975), 생존율은 Daniel (1987) 방법으로 95%의 통계적인 유의성 검정을 하였다.

## 결 과

### 1. 사육 밀도

Zoea와 mysis 기에서 적절한 사육 밀도를 알아보기 위해 1989년 5월 19일부터 1989년 6월 4일까지 17일간 사육 밀도에 따른 성장과 생존율의 조사 결과는 Table 1 과 같다.

Table 1. Effects of different culture densities on growth, survival rate and total biomass of fleshy shrimp larvae reared for 17 days (initial total length, 0.3±0.1 mm)

Culture density (ind./ℓ)	Final growth		Survival rate (%)	Total biomass (mg/tank)
	Total length Mean± S. D. (mm)	Body weight Mean± S. D. (mg)		
100	4.6± 0.2 <sup>c</sup>	0.7± 0.1 <sup>c</sup>	90.3 <sup>ab</sup>	189.6 <sup>d</sup>
200	4.8± 0.4 <sup>b</sup>	0.8± 0.1 <sup>b</sup>	95.2 <sup>a</sup>	456.9 <sup>c</sup>
300	5.1± 0.3 <sup>a</sup>	0.9± 0.1 <sup>a</sup>	94.3 <sup>a</sup>	763.8 <sup>a</sup>
500	4.4± 0.4 <sup>c</sup>	0.5± 0.1 <sup>d</sup>	86.7 <sup>b</sup>	650.4 <sup>b</sup>

Means in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (p<0.05).

생존율은 200 마리/ℓ가 95.2%로 최대를 나타냈으며, 그 다음으로 300 마리/ℓ가 94.3%, 100 마리/ℓ가 90.3%, 500 마리/ℓ가 86.7%로 나타났다. 성장은 300 마리/ℓ의 실험구가 평균 전장 5.1 mm로 가장 컸으며, 500마리/ℓ의 실험구가 평균 전장 4.4 mm로 가장 작았다. 그리고, 이 때의 1일 성장은 각각 0.28 mm, 0.24 mm로 나타났다. 또, 개체별 평균 체중도 300 마리/ℓ가 0.9 mg으로 가장 무거웠으며, 그 다음은 200 마리/ℓ (0.8 mg), 100 마리/ℓ (0.7 mg), 500 마리/ℓ (0.5 mg) 순으로 나타났다.

17일간 사육후 생존한 유생의 전체 중량을 비교해 보면, 300 마리/ℓ의 密度實驗區에서 763.8 mg/tank으로 가장 높았고, 500 마리/ℓ가 650.4 mg/tank, 200 마리/ℓ가 456.9 mg/tank, 100 마리/ℓ이 189.6 mg/tank 순으로 나타났다.

### 2. 광 주기

광주기에 따른 zoea와 mysis 기의 성장과 생존율 실험을 1989년 5월 19일부터 1989년 6월 4일까지 17일간 실시하였다.

광주기를 자연광으로 하였을 경우, *S. costatum*을 공급한 실험구의 생존율은 66.2%로 비교적 높았고, 3가지 구조를 혼합 공급한 실험구의 생존율은 79.0%로서 *S. costatum*만을 공급한 경우 보다 약 1.2배 높은 생존율을 보였고, 이들 두 실험구 사이는 5% 수준의 유의적인 차이가 인정되었다. 또, Nippai 社의 배합 사료를 사용한 경우는 13.7%, Argent Chemical Lab 社의 microcapsulated feed의 경우는 2.7%만의 생존율을 보여, 구조를 공급하는 것 보다는 생존율이 크게 떨어지는 것을 알 수 있었다. 성장의 결과를 보면, 평균 체중의 경우, 혼합 구조를 사용한 실험구 (0.4 mg)가 *S. costatum* 실험구 (0.3 mg)보다 다소 높았으나, 평균 전장의 경우는 *S. costatum* 실험구 (4.3 mm)가 혼합 구조 실험구 (3.9 mm)보다 다소 높았다. 그러나, 두 종류의 배합 사료를 사용한 경우는 평균 전장이나, 평균 체중 모두 구조를 사용한 실험구보다 크게 낮았다. 사육 마감시에 생존한 개체들의 생체량을 보면, 구조 혼합구에서는 284.4 mg/tank로 가장 높았고, *S. costatum*의 단독 구조구는 178.8 mg/tank으

로 혼합 구조구의 63%에 불과하였다. 또, 두 배합 사료는 각각 36.9 mg/tank과 7.2 mg/tank으로 먹이 생물구에 비하면 매우 낮은 생체량을 보였다 (Table 2).

Table 2. Comparison of dietary values of foods for fleshy shrimp larvae under natural light condition for 17 days (initial total length, 0.3±0.1 mm)

Food	Final growth		Survival rate (%)	Total biomass (mg/tank)
	Total length Mean± S. D. (mm)	Body weight Mean± S. D. (mg)		
<i>S. costatum</i>	4.3± 0.2 <sup>a</sup>	0.3± 0.1 <sup>b</sup>	66.2 <sup>b</sup>	178.8 <sup>b</sup>
Diatom premix	3.9± 0.3 <sup>b</sup>	0.4± 0.1 <sup>a</sup>	79.0 <sup>a</sup>	284.4 <sup>a</sup>
Prepared feed <sup>1</sup>	3.6± 0.3 <sup>c</sup>	0.3± 0.1 <sup>b</sup>	13.7 <sup>c</sup>	36.9 <sup>c</sup>
Microcapsulated feed <sup>2</sup>	3.6± 0.3 <sup>c</sup>	0.3± 0.1 <sup>b</sup>	2.7 <sup>d</sup>	7.2 <sup>d</sup>

1: Nippai shrimp feed 2: Argent Chemical Lab.

Diatom premix: *C. simplex* + *S. costatum* + *T. weissflogii*

Means in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (p<0.05).

한편, 광주기를 24 시간 연속 조명 처리하였을 경우의 생존율은 *S. costatum*만을 공급한 실험구에서 79.7%, 혼합 구조 실험구에서 96.5%로 자연광의 경우 보다 크게 향상되었다. 또, microcapsulated feed를 사용한 실험구에서는 자연광에서 2.7%인데 비해 67.5%로 생존율이 매우 향상된 점과 배합 사료에서 모두 폐사한 점이 특이하였다. 성장의 결과를 보면, 혼합 구조에서 평균 전장 6.4 mm와 평균 체중 1.3 mg으로 *S. costatum* 공급구의 평균 전장 5.4 mm, 평균 체중 0.9 mg 보다 월등히 빠른 성장을 보였다. microcapsulated feed의 경우는 평균 전장 3.7 mm, 평균 체중 0.3 mg으로 매우 저조한 성장을 보였다. 또, 연속 조명한 경우의 최종 생체량은 자연광에서보다 크게 증가하였다. 혼합 구조 공급의 경우 1,129.2 mg/tank으로 자연광의 혼합 공급구에 비하여 약 4 배 증가하였고, *S. costatum* 단독구의 경우도 645.6 mg/tank으로 자연광 경우 보다 3.6 배 증가하였다 (Table 3).

Table 3. Comparison of dietary values of foods for fleshy shrimp larvae under continuous light condition for 17 days (initial total length, 0.3±0.1 mm)

Food	Final growth		Survival rate (%)	Total biomass (mg/tank)
	Total length Mean± S. D. (mm)	Body weight Mean± S. D. (mg)		
<i>S. costatum</i>	5.4± 0.4 <sup>b</sup>	0.9± 0.1 <sup>b</sup>	79.7 <sup>b</sup>	645.6 <sup>b</sup>
Diatom premix	6.4± 0.5 <sup>a</sup>	1.3± 0.1 <sup>a</sup>	96.5 <sup>a</sup>	1129.2 <sup>a</sup>
Prepared feed <sup>1</sup>	—	—	0.0	0.0
Microcapsulated feed <sup>2</sup>	3.7± 0.3 <sup>c</sup>	0.3± 0.1 <sup>c</sup>	67.5 <sup>c</sup>	182.4 <sup>c</sup>

1: Nippai shrimp feed 2: Argent Chemical Lab.

Diatom premix: *C. simplex* + *S. costatum* + *T. weissflogii*

Means in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (p<0.05).

광주기 실험 기간동안 암흑처리 하였을 경우의 생존율은 혼합 구조를 공급한 실험구에서 4.3%로 *S. costatum*만을 공급한 실험구 (36.3%)보다도 낮은 생존율을 보였다. 그러나, 평균 전장과 평균 체

중에서는 *S. costatum* 실험구 (3.7 mm, 0.3 mg) 보다는 혼합 구조 공급구 (4.4 mm, 0.5 mg)에서 높은 성장을 보였다. 두 종류 사료의 결과는 구조의 실험구와 비교할 때, 모두 낮은 성장과 생존율을 보였다. 또, 최종 생체량도 *S. costatum* 구에서 98.1 mg/tank로 다른 먹이구 보다는 가장 높았다. 연속 조명구나 자연광의 결과와 비교하면 매우 저조한 생체량을 보였다. 또, 두 종류의 사료에서는 각각 1.8 mg/tank, 0.9 mg/tank로 가장 낮은 결과를 보였다 (Table 4).

Table 4. Comparison of dietary values of foods for fleshy shrimp larvae under continuous dark for 17 days (initial total length, 0.3±0.1 mm)

Food	Final growth		Survival rate (%)	Total biomass (mg/tank)
	Total length Mean±S. D. (mm)	Body weight Mean±S. D. (mg)		
<i>S. costatum</i>	3.7±0.5 <sup>b</sup>	0.3±0.1 <sup>b</sup>	36.3 <sup>a</sup>	98.1 <sup>a</sup>
Diatom premix	4.4±0.7 <sup>a</sup>	0.5±0.1 <sup>a</sup>	4.3 <sup>b</sup>	19.5 <sup>b</sup>
Prepared feed <sup>1</sup>	3.7±0.1 <sup>b</sup>	0.3±0.1 <sup>b</sup>	0.7 <sup>c</sup>	1.8 <sup>c</sup>
Microcapsulated feed <sup>2</sup>	3.5±0.1 <sup>b</sup>	0.3±0.1 <sup>b</sup>	0.3 <sup>c</sup>	0.9 <sup>c</sup>

1: Nippai shrimp feed 2: Argent Chemical Lab.

Diatom premix: *C. simplex* + *S. costatum* + *T. weissflogii*

Means in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (p<0.05).

### 3. 수온

Zoea와 mysis 유생기의 적정 사육 수온을 파악하기 위한 사육 결과는 Table 5 와 같다. 생존율은 수온 19℃에서 97.3%로 가장 높았고, 수온 22℃가 96.7%로 수온 19℃와 거의 차이없이 비슷하였지만, 수온 25℃의 경우는 51.6%로 월등하게 낮아지는 경향을 나타내었다. 또, 평균 전장과 평균 체중은 수온 22℃에서 8.1 mm, 1.8 mg으로 가장 좋았으며, 수온 19℃, 25℃ 순으로 나타났다. 또, 사육후 총 생체량은 22℃에서 1,566.6 mg/tank으로 가장 높았고, 19℃에서는 1,226.1 mg/tank이고, 25℃에서는 417.9 mg/tank으로 크게 낮아졌다.

Table 5. Effects of different water temperatures on growth, survival rate and total biomass of fleshy shrimp larvae under continuous light condition of 3,000 lux for 21 days (initial total length, 0.3±0.1 mm)

Water temp. (°C)	Final growth		Survival rate (%)	Total biomass (mg/tank)
	Total length Mean±S. D. (mm)	Body weight Mean±S. D. (mg)		
19	7.3±0.4 <sup>b</sup>	1.4±0.1 <sup>b</sup>	97.3 <sup>a</sup>	1226.1 <sup>b</sup>
22	8.1±0.4 <sup>a</sup>	1.8±0.1 <sup>a</sup>	96.7 <sup>a</sup>	1566.6 <sup>a</sup>
25	5.7±0.4 <sup>c</sup>	0.9±0.1 <sup>c</sup>	51.6 <sup>b</sup>	417.9 <sup>c</sup>

Means in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (p<0.05).

### 4. 식물 먹이생물 효과

본 실험에서 사용한 6종 식물 먹이생물의 먹이 효과 실험 결과는 Table 6 과 같다. 유생의 생존

율은 규조 혼합구가 67.7%로 가장 높았으며, 다음이 *S. costatum*을 먹이로 사용한 구가 65.4%이었으나, 두 실험구 사이에 유의적인 차이는 없었다. 또, *A. normaii* 실험구는 39.7%, *N. closterium*은 40.3%의 생존율로 가장 낮았다. 혼합 규조구와 *S. costatum*을 제외한 나머지 규조 실험구는 39.7~46.3%의 생존율로 실험구별로 유의적인 차이는 보이지 않았다.

먹이에 따른 평균 전장의 성장은 diatom 6종을 세포수를 기준으로 동일한 비율로 혼합하여 공급한 실험구에서 6.1 mm로 가장 성장이 빨랐으며, 그 다음이 *S. costatum* (5.5 mm), *P. tricornutum* (5.4 mm)으로 나타났다. 그리고, *N. closterium*만 공급된 구가 3.9 mm로 가장 성장이 늦었으며, 21일간 사육한 diatom 6종 혼합구의 성장에 비하면 64% 정도로 저조하였다. 평균 체중은 규조 혼합구가 0.7 mg으로 역시 가장 좋았으며, 그 다음이 *P. tricornutum*구와 *S. costatum*구로 0.6 mg으로 나타났고, *N. closterium*만 공급한 구에서는 0.4 mg으로 가장 낮아 평균 전장 성장의 결과와 같은 경향이였다. 한편, 최종 생체량을 보면 혼합 규조구에서 426.6 mg/tank으로 가장 높았고, *S. costatum*구는 353.1 mg/tank으로 혼합 규조구의 약 83%에 해당되었다. 그외 규조구에서는 145.2 mg/tank (*N. closterium*)에서 219.3 mg/tank (*P. tricornutum*)의 사이로 큰 차이가 없었다.

Table 6. Comparison of dietary values of live foods for fleshy shrimp larvae under natural light condition for 21 days (initial total length, 0.3±0.1 mm)

Live food	Final growth		Survival rate (%)	Total biomass (mg/tank)
	Total length	Body weight		
	Mean± S. D. (mm)	Mean± S. D. (mg)		
<i>S. costatum</i>	5.5± 0.3 <sup>b</sup>	0.6± 0.1 <sup>b</sup>	65.4 <sup>a</sup>	353.1 <sup>b</sup>
<i>T. weissflogii</i>	5.2± 0.3 <sup>c</sup>	0.5± 0.1 <sup>c</sup>	46.3 <sup>b</sup>	208.5 <sup>c</sup>
<i>C. simplex</i>	4.9± 0.4 <sup>d</sup>	0.5± 0.1 <sup>c</sup>	43.0 <sup>b</sup>	193.5 <sup>c</sup>
<i>P. tricornutum</i>	5.4± 0.3 <sup>bc</sup>	0.6± 0.1 <sup>b</sup>	40.6 <sup>b</sup>	219.3 <sup>c</sup>
<i>A. normaii</i>	4.9± 0.2 <sup>d</sup>	0.5± 0.1 <sup>c</sup>	39.7 <sup>b</sup>	178.8 <sup>d</sup>
<i>N. closterium</i>	3.9± 0.2 <sup>e</sup>	0.4± 0.1 <sup>d</sup>	40.3 <sup>b</sup>	145.2 <sup>e</sup>
Diatom premix	6.1± 0.4 <sup>a</sup>	0.7± 0.1 <sup>a</sup>	67.7 <sup>a</sup>	426.6 <sup>a</sup>

Diatom premix: *S. costatum* + *T. weissflogii* + *C. simplex* + *P. tricornutum* + *A. normaii* + *N. closterium*

Means in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (p<0.05).

한편, 24 시간 연속 조명 처리로 사육하였을 때의 먹이에 따른 평균 생존율과 성장은 자연광의 결과와 비슷한 경향이였으나 자연광에서 보다 훨씬 좋은 결과를 보였다. 규조 먹이에 따른 생존율을 보면, 규조 혼합구가 97.3%로 가장 높았고, *S. costatum* 구가 82.1%, *T. weissflogii*구가 80.6% 순으로 좋았다 (Table 7).

이 두 평균 사이에는 유의적인 차이는 없었으나 생존율이 가장 높은 혼합 규조구와는 모두 5% 수준에서 유의적인 차이가 인정되었다. 또, *C. simplex*는 62.1%, *P. tricornutum*은 59.7%의 생존율을 보여 두 규조구 사이에는 차이가 없었으나 다른 규조구와는 역시 5% 수준의 유의적인 차이를 보였다. 또, *N. closterium* 실험구는 28.6%, *A. normaii* 실험구는 30.8%로 가장 저조한 생존율을 보였다.

한편, 평균 전장 성장은 생존율의 결과와 비슷한 경향으로 6종의 규조를 혼합시킨 구에서 7.3 mm로 성장이 가장 좋았으며, 다음이 *S. costatum*을 먹이로 한 구에서 6.1 mm, *T. weissflogii*를 공급한 구

Table 7. Comparison of dietary values of live foods for fleshy shrimp larvae under continuous light condition for 21 days (initial total length, 0.3±0.1 mm)

Live food	Final growth		Survival rate (%)	Total biomass (mg/tank)
	Total length Mean± S. D. (mm)	Body weight Mean± S. D. (mg)		
<i>S. costatum</i>	6.1± 0.3 <sup>b</sup>	1.0± 0.1 <sup>b</sup>	82.1 <sup>b</sup>	738.9 <sup>b</sup>
<i>T. weissflogii</i>	6.0± 0.4 <sup>b</sup>	0.9± 0.1 <sup>c</sup>	80.6 <sup>b</sup>	652.8 <sup>c</sup>
<i>C. simplex</i>	5.9± 0.6 <sup>bc</sup>	0.8± 0.1 <sup>d</sup>	62.1 <sup>c</sup>	447.0 <sup>d</sup>
<i>P. tricornutum</i>	5.7± 0.5 <sup>c</sup>	0.7± 0.1 <sup>e</sup>	59.7 <sup>c</sup>	376.2 <sup>e</sup>
<i>A. normaii</i>	5.0± 0.3 <sup>d</sup>	0.7± 0.1 <sup>e</sup>	30.8 <sup>d</sup>	194.1 <sup>f</sup>
<i>N. closterium</i>	5.9± 0.6 <sup>bc</sup>	0.8± 0.1 <sup>d</sup>	28.6 <sup>d</sup>	205.8 <sup>f</sup>
Diatom premix	7.3± 0.4 <sup>a</sup>	1.4± 0.1 <sup>a</sup>	97.3 <sup>a</sup>	1226.1 <sup>a</sup>

Diatom premix: *S. costatum* + *T. weissflogii* + *C. simplex* + *P. tricornutum* + *A. normaii* + *N. closterium*

Means in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (p<0.05).

에서 6.0 mm 순으로 좋았다. 그리고, 나머지 규조구는 *A. normaii*를 먹인 구가 5.0 mm로 성장이 가장 나빴으나, 규조구별로 큰 차이는 없었다. 평균 체중은 평균 전장과 같이 규조 혼합구 (1.4 mg), *S. costatum* 구 (1.0 mg), *T. weissflogii* 구 (0.9 mg) 순으로 나타났고, *A. normaii* 구가 0.7 mg으로 가장 나빴다. 또, 실험 종료시 생존한 개체의 총 생체량을 비교해보면, 규조 혼합구가 1,226.1 mg/tank으로 가장 높고, *S. costatum* 구가 738.9 mg/tank, *T. weissflogii*가 652.8 mg/tank으로 각각 규조 혼합구의 60%와 53%에 해당되었다. 또, *C. simplex*는 447.0 mg/tank, *P. tricornutum*은 376.2 mg/tank, *N. closterium*은 205.8 mg/tank으로 가장 저조한 생체량을 보였다.

### 5. 먹이생물의 지방산 분석 비교

본 실험에 사용된 먹이생물 중 성장과 생존율이 비교적 좋았던 *C. simplex*, *P. tricornutum*, *S. costatum*, *T. weissflogii* 4종의 diatom을 배양한 후 수확하여 지방산 분석을 한 결과는 Table 8과 같다.

4 가지 규조의 지방산을 mg/g dry weight로 환산한 것은 총 지방량에서 *P. tricornutum*이 33.13 mg/g으로 가장 높고, *S. costatum* 26.77 mg/g, *T. weissflogii* 21.26 mg/g, *C. simplex*가 12.64 mg/g의 순이었다. 그러나 polyunsaturates는 *S. costatum*이 0.80 mg/g으로 가장 낮았고, *P. tricornutum*이 1.95 mg/g으로 가장 높았다. EPA는 *T. weissflogii*에서 1.4 mg/g으로 가장 많았고, *C. simplex*는 0.24 mg/g, 그리고 *P. tricornutum*, *S. costatum*에서는 나타나지 않았다. 또, DHA의 경우는 *C. simplex*에서만 0.27 mg/g으로 나타났다. Zoea와 mysis 유생의 생존과 성장에 가장 좋은 결과를 보인 *S. costatum*의 경우 다른 규조와 비교하여 18:2ω-6이 매우 높았던 점이 특이하였다.

## 고 찰

대하 zoea와 mysis 유생 사육시 먹이생물과 환경 조건에 따른 유생의 성장과 생존에 관한 연구들을 살펴보면, 金 (1968)은 대하의 종묘생산에 관한 연구에서 사육 밀도 314 마리/ℓ로하고, 먹이는



Table 8. Fatty acid compositions of four species of diatom used as live food for fleshy shrimp larvae  
(Unit: mg/g dry weight)

Fatty acid	<i>C. simplex</i>	<i>P. tricornutum</i>	<i>S. costatum</i>	<i>T. weissflogii</i>
14:0	2.38	6.62	9.24	1.91
16:0	3.42	11.64	8.57	6.30
18:0	0.59	—	—	—
20:0	0.30	—	—	—
22:0	—	—	—	—
24:0	0.30	—	—	—
Saturates	6.99	18.26	17.81	8.21
14:1 ω-5	0.35	—	—	—
16:1 ω-7	3.11	10.85	7.03	11.30
18:1 ω-7+ω-9	0.93	2.07	1.13	0.45
20:1 ω-9+ω-11	—	—	—	—
22:1 ω-9+ω-11	0.15	—	—	—
24:1 ω-9	—	—	—	—
Monounsaturates	4.54	12.92	8.16	11.75
18:2 ω-6	0.19	—	0.80	0.16
18:3 ω-3+ω-6	0.09	—	—	—
20:2	—	—	—	—
20:3 ω-6	—	—	—	—
20:4 ω-3+ω-6	0.32	0.67	—	0.22
20:5 ω-6	—	1.28	—	0.52
20:5 ω-3	0.24	—	—	1.40
22:6 ω-3	0.27	—	—	—
Polyunsaturates	1.11	1.95	0.80	1.30
Total fatty acid	12.64	33.13	26.77	21.26
Others	7.06	6.37	9.93	5.34

*S. costatum*을 공급할 경우, nauplius에서 zoea까지는 약 5일, mysis 1기까지는 약 9~10일 소요되며, mysis 기까지의 생존율은 42% 전후였다고 보고한 바 있다. 房과 盧 (1969)의 대하 인공 부화에 관한 연구에서는 사육 밀도 480 마리/ℓ일 때 nauplius에서 zoea까지는 41%, zoea에서 mysis까지는 20%의 생존율을 보고하였다. 卞 (1970)은 사육 밀도는 317 마리/ℓ, 먹이생물은 *S. costatum* 및 *P. tricornutum*을 공급하여 실험한 결과, 부화된 nauplius기부터 zoea까지는 54%, zoea에서 mysis까지는 43%의 생존율을 보고한바 있다. 또, 金과 柳 (1989)는 12일간 사육 밀도 140 마리/ℓ로 실험한 결과 nauplius에서 zoea까지 76.3%, zoea에서 mysis까지는 46.4%의 생존율을 보고하였다. 한편, Rho (1990)는 한국 대하 종묘 생산 현황의 보고에서 수온 22~24℃에서 nauplius에서 zoea까지는 약 4일, mysis까지는 약 11일 소요되며, zoea까지는 87%, mysis까지는 53%의 생존율을 보고한바 있다. 이와같이 지금까지 국내에서 보고된 mysis기까지의 사육 결과들을 종합하여 보면, 사육 밀도 140~480 마리/ℓ에서 약 10~19일간

사육하였을 때, mysis기까지의 평균 생존율은 약 50% 미만으로 볼 수 있다.

한편, 중국의 Wang and Ma (1990)는 예전에는 nauplius의 밀도를  $\ell$ 당 150~200마리로 사육하였으나, 최근에는  $\ell$ 당 300마리의 nauplius를 사육할 정도로 밀도가 증가하였다고 보고하였다.

본 실험에서는 사육밀도 100~500마리/ $\ell$ 에서 17일간 사육한 후의 생존율 86.7~95.2%로 앞의 국내 연구 결과와는 큰 차이가 있었다. 본 실험에서 적정 사육 밀도는 생존율과 평균 체중만으로 볼 때는 200~300마리/ $\ell$ 가 적당하다고 판단되나, 전체 생체량을 감안하면 약 300마리/ $\ell$ 의 고밀도로 사육도 경제적인 측면에서 적합할 수 있을 것으로 기대된다.

이미 보고된 실험 결과들은 사육 밀도에 따라 대하 zoea와 mysis기의 성장이나 생존율을 구분하여 조사한 것이 아니고, 대부분이 종묘 생산을 위해 부화된 nauplius를 수조에 수용하고, 연속적으로 사육하면서 조사한 결과이므로 본 조사의 결과와 비교 분석하기는 어려웠다. 그러나, 본 조사에서 나타난 최적 밀도인  $\ell$ 당 300마리는 중국에서의 사육 현황과 비교할 때 비슷한 결과라 할 수 있다.

따라서, 현재 서해안의 일반 대하 부화장에서는 보통 5M/T 이하의 소형 수조일 경우  $\ell$ 당 100마리의 유생 밀도를 수용하고 있으나, 본 연구의 결과를 참고할 때  $\ell$ 당 300마리 정도로 사육함이 더욱 경제적인 종묘 생산 방법일 것이다. 또, 현재의 zoea기까지의 생존율 약 50% 미만도 95% 이상으로 향상될 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 대하 종묘 생산시 zoea와 mysis 기의 수온·염분·pH 등의 영향은 보고되어 있으나 빛에 대한 보고는 거의 찾을 수 없었던 점을 볼 때 이에대한 영향은 거의 무시되는 것으로 생각된다. 일반적으로 부화장에서는 실내의 자연광 상태를 유지하는 경우가 대부분이다. 그러나, 본 실험 결과 zoea, mysis 기의 유생은 빛에 대하여 성장 및 생존이 큰 차이를 보이고 있다. 본 연구의 3가지 광주기 실험에서의 모든 먹이 실험구에 대한 전체 평균 생존율을 비교하면, 24시간 연속 조명으로 처리하였을 경우, 평균 생존율이 60.9%로 자연광(40.4%)과 암흑처리(10.4%) 실험구 보다 월등히 높은 생존율을 보였다. 성장에 있어서도 생존율과 같이 24시간 연속 조명 처리하는 것이 훨씬 빠른 성장을 보였고, 성장에 있어서는 자연광과 연속 암흑처리 실험구 사이에 차이가 없었다. 또, 총 생체량은 연속 조명구에서 438.6 mg/tank으로 가장 높았고, 자연광에서는 109.2 mg/tank, 연속 암흑구에서는 28.2 mg/tank로 연속 조명구가 가장 좋은 결과를 보였다. 따라서, 적당한 연속 조명은 수조 내의 diatom의 증식을 향상시켜서 수질의 안정 또는 먹이로 공급되는 효과가 있었던 것으로 판단된다.

Zoea와 mysis 기의 사육시 수온에 대하여 Rho (1990)는 20~24°C가 적합하다고 보고하였고, Liao and Chien (1990)은 zoea기에는 22~24°C, mysis기는 23~25°C가 적온이며, 이는 보리새우의 zoea와 mysis 기 28°C, *P. penicillatus*의 zoea와 mysis기의 26~29°C의 적온 범위와 비교할 때 내한성 새우중 가장 낮은 적온 범위임을 보고한 바 있다. 위와같은 보고는 본 연구의 결과와 비교적 비슷한 경향이 있었다. 그러나, 본 조사 결과에서 생존율은 22°C 이상으로 올라갈 경우 급 감소하는 점을 볼 때, 위의 저자들이 보고한 적수온의 상한선인 24°C나 25°C는 적온으로서 너무 높은 온도일 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서의 수온에 따른 생존율, 성장 및 총 생체량의 결과를 볼 때 21~22°C 부근이 더욱 안정적인 적합한 사육 수온일 것으로 판단된다.

대하 zoea와 mysis기의 식물 먹이생물의 효과에 대하여는 여러 보고가 있으나, 여러 식물 먹이생물을 구체적으로 비교 분석한 예는 충분하지 않다. Kim (1968)은 대하 종묘 생산에서 zoea 기의 먹이 생물로서 *S. costatum*을 공급하여, 생존율이 42% 전후였다고 보고하였고, 房과 盧 (1969)도 먹이로는 *S. costatum*을 공급하여, 생존율이 64%였다고 보고하였다. 卞 (1970)은 먹이생물로 *S. costatum* 및 *P. tricornutum*을 공급하여 실험한 결과, 생존율은 7.7%이었다고 보고하였다. 이들은 대하 zoea와 mysis 기의 먹이생물로, 주로 *S. costatum*을 공급하고, 먹이의 양이 부족하면 *P. tricornutum*을 공급하였다. 또,

Main and Fulks (1990)는 중국의 경우 대하 zoea와 mysis 기의 식물 먹이생물로서 주로 *Chaetoceros* sp., *Isochrysis* sp., *Phaeodactylum* sp., *Platymonas* sp., *Nitzschia* sp. 등을 보통 100,000 cells/ml의 농도로 공급한다고 발표하였다. 또, Rho (1990)는 한국의 경우 주로 *Skeletonema* sp., *Chaetoceros* sp., *Navicula* sp., *Nitzschia* sp. 등의 규조류를 300,000~500,000 cells/ml의 농도로 공급한다고 보고한 바 있다.

한편, Hu (1990)는 중국 남부에서 *P. penicillatus*를 종묘 생산할 때 zoea I에서 mysis I까지 *Platymonas* sp., *Phaeodactylum* sp., *Chaetoceros* sp.의 3종류 규조와 이들 3종류를 혼합한 먹이 공급구에서의 유생 생존율을 조사한 결과, 혼합 규조구가 70%로 가장 높았고, *Chaetoceros* sp. 65%, *Phaeodactylum* sp. 62%로 두 규조 사이에는 큰 차이가 없었고 대형 녹조인 *Platymonas* sp.의 경우는 46% 생존율로 가장 저조하였다고 보고하였다.

Jones et al. (1979)은 보리새우의 zoea, mysis기 유생을 대상으로 *Chaetoceros gracilis*와 배합 사료의 효과를 비교한 결과 배합 사료가 zoea기에서 83.3%, mysis기에서 79.0%의 생존율인 반면, *C. gracilis*는 각각 53.8%와 60.0%로 배합 사료보다 저조하였고, 두 종류를 혼합하였을 경우는 zoea와 mysis의 생존율이 각각 86.5%와 84.4%로 가장 우수하였다고 보고한 바도 있다. 또, Okauchi and Hirano (1986)은 보리새우 zoea, mysis 유생을 대상으로 흔히 이용되는 규조류 먹이인 *Chaetoceros seratosporum*과 배양이 수월한 대형 녹조 *Tetraselmis tetrahele*의 먹이 효율을 비교한 결과 전자는 62%, 후자는 51~57%의 생존율을 보여 *T. tetrahele*의 먹이 효과가 *C. seratosporum*의 규조와 거의 비슷하다고 보고한 바 있다.

이와같이 대하와 보리새우의 zoea와 mysis 유생시 공급하는 식물 먹이생물은 주로 *Chaetoceros* sp.와 *Skeletonema* sp.와 같은 규조가 널리 이용되었고, 이들 규조류의 대량 배양이 어려우므로 배양이 수월한 *Tetraselmis* sp.의 먹이 효과가 조사되었을 뿐이며, 여러 가지 규조를 대상으로 한 충분한 먹이 효율이 비교 조사되지 못하였다.

본 조사에서 연속 조명 처리할 경우, 규조를 먹이생물로 공급할 때, 6종의 규조를 혼합하여 먹이로 공급한 실험구의 유생 생존율이 97.3%로 매우 높았고, *S. costatum*만을 공급하였을 때에도 82.1%의 생존율을 보여, 혼합 규조는 대하 유생의 식물 먹이생물로서 가장 적합하다고 판단된다. 그러나, 이미 보고된 결과들과 마찬가지로 본 조사에서도 *A. normanii*나 *N. closterium*과 같은 부착성 규조류를 단독 먹이로 공급할 때 생존율이 자연광 처리나 24시간 연속 조명처리 모두에서 생존율이 41% 이하로 나타나 이들 식물 부유생물은 대하 zoea와 mysis기의 초기 먹이로는 부적당한 것으로 생각된다. 이들 부착성 규조류가 *C. simplex*, *P. tricornutum*, *S. costatum*, *T. weissflogii*와 같은 부유성 규조류에 비하여 먹이로서 적합하지 못한 이유는 부착성인 이유로 세포 증식에 따라 크기가 커져서 먹이로 적합하지 않을 수 있으며, 또, 수조벽에 부착되어 있어 먹이 포착 (food catchability)의 측면에서도 부유성 규조류에 비하여 부적합하였을 것으로 판단된다. 또, 본 실험에서는 *C. simplex*가 *S. costatum*이나 *T. weissflogii*보다 생존율과 성장이 훨씬 저조하였던 점을 볼 때 대하의 경우는 일반적으로 다른 *Penaeus* 새우류와 달리 *S. costatum*이 단일 규조 먹이로서는 가장 적합한 것으로 판단된다.

한편, 24시간 연속 조명 처리에서 유생을 사육할 경우, 혼합 규조의 먹이 효과는 단독 규조를 공급한 것으로서 성장과 생존율이 가장 좋았던 *S. costatum*을 기준으로 비교할 때, 생존율과 평균 전장에서 약 1.2배, 평균 체중은 약 1.5배의 높은 먹이 효율을 보였고, 이 차이는 통계적으로 5% 수준에서 모두 유의적이었다. 따라서, 대하 zoea와 mysis기 유생의 먹이생물로는 diatom을 종별로 배양한 후 먹이로 공급하기전 diatom을 혼합하여 공급하는 것이 가장 효과적이라 생각된다. 그러나, 광주기 실험에서 *S. costatum*, *T. weissflogii*, *C. simplex* 3종을 혼합한 실험구에서도 24시간 연속 조명일 경우 96.5%의 생존율과 빠른 성장 결과를 나타내고 있으므로 이들 3종의 규조만을 혼합하여 먹이로 공급하여도 zoea와 mysis 기의 생존율을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 그러나, 여러가지 규조 먹이생물

배양을 할 수 없을 때는 *S. costatum* 한 종만 먹이로 이용하여도 약 80%의 생존율과 양호한 성장 결과를 얻을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 식물 먹이생물의 종류별 지방산 조성과 대하 zoea와 mysis기 유생의 성장과 생존의 결과를 일치시켜 해석하기 어려웠다. 그러나, EPA와 DHA함량이 *C. simplex*에서 높았던 점과 18:2 $\omega$ -6의 함량이 *S. costatum*에서만 특별히 높았던 결과를 볼 때 이들 지방산이 대하 유생의 생존을 및 성장에 어떠한 영향을 미쳤는가에 대하여는 보다 구체적인 조사가 필요할 것으로 생각된다.

한편, 먹이생물의 실험 결과에서도 자연광과 24시간 연속 조명 실험구의 모든 사육 결과를 평균하여 비교해 보면, 24시간 연속 조명 실험구에서의 평균 생존율은 63.0%인데 비하여 자연광에서는 49.0%로 앞의 광주기 실험과 비슷한 경향을 보였는데, 그 이유는 역시 빛이 규조류의 증식과 관련되어 수조 내의 수질 안정 및 먹이 자체로서 이용되기 때문으로 볼 수 있다.

## 요 약

대하의 zoea와 mysis 기의 성장과 생존에 대한 밀도, 빛, 수온, 먹이의 영향은 다음의 조사 결과와 같다. 사육 밀도에 따른 유생의 생존율은 500 마리/ℓ에서 보다 200, 300 마리/ℓ일때 훨씬 높았고, 사육밀도 100, 200, 300, 500 마리/ℓ일때 생존율은 90.3, 95.2, 94.3, 86.7%이었다. 규조를 혼합하여 먹이로 공급한 광주기 실험에서는 24시간 연속 조명이었을 때 생존율이 96.5%로 자연광을 이용할 때 (79.0%)와 24시간 암흑 처리할 때 (4.3%)에 비해 매우 높은 생존과 빠른 성장을 보였다. 사육 수온은 19℃에서 97.3%의 생존을 보였지만 22℃에 비해 성장이 늦었으며, 22℃에서 96.7%의 생존율과 빠른 성장을 보였다. 수온 25℃에서는 51.6%의 생존율로 19, 22℃에 비해 생존율과 성장이 저조하였다. 먹이생물로는 6종의 규조 (*A. normaii*, *C. simplex*, *N. closterium*, *P. tricornutum*, *S. costatum*, *T. weissflogii*)를 혼합하여 공급하였을 때, 연속 조명으로 사육할 경우, 97.3%의 가장 높은 생존율과 최고의 성장을 나타내었으며, 1종의 규조만을 먹이생물로 공급하였을 때에는 *S. costatum*을 공급하였을 때의 생존율 82.1%, *T. weissflogii*의 80.6%를 제외하고는 모두 62% 이하의 생존율과 저조한 성장을 나타내었다.

## 참 고 문 헌

- Daniel, W. 1987. Biostatistics. A foundation for analysis in the health sciences. 4th ed. Singapore. 734pp.
- Folch, J., M. Lee and G. H. Sloane Stanly. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. J. Biol. Chem. 226:497~501.
- Guillard, R. R. L. and J. H. Ryther. 1962. Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* (Cleve). Gran. Can. J. Microbiol. 8:229~239.
- Hu, Q. 1990. On the culture of *Penaeus penicillatus* and *P. chinensis* in southern China. p. 77~91. In K. L. Main and W. Fulks, The Culture of Cold-Tolerant Shrimp: Proceedings of an Asian-U.S. Workshop on Shrimp Culture. The Oceanic Institute, Hawaii, U.S.A.
- Jones, D. A., A. Kanazawa and S. Abdel Rahman. 1979. Studies on the presentation of artificial diets for rearing the larvae of *Penaeus japonicus* Bate. Aquaculture 17:33~43.
- Liao, C. and Y. H. Chien. 1990. Evaluation and comparison of culture practices for *Penaeus*

- japonicus*, *P. penicillatus* and *P. chinensis* in Taiwan. p. 49~63. In K. L. Main and W. Fulks, The Culture of Cold-Tolerant Shrimp: Proceedings of an Asian-U.S. Workshop on Shrimp Culture. The Oceanic Institute, Hawaii, U.S.A.
- Main, K. L. and W. Fulks. 1990. The culture of cold-tolerant shrimp. 215 pp. In K. L. Main and W. Fulks, The Culture of Cold-Tolerant Shrimp: Proceedings of an Asian-U.S. Workshop on Shrimp Culture. The Oceanic Institute, Hawaii, U.S.A.
- Nie, N. H., C. H. Hull, J. G. Jenkins, K. Steinbrenner and D. H. Bent. 1975. SPSS: Statistical Package for the Social Sciences, 2nd ed. McGraw Hill, New York, NY, U.S.A. 675pp.
- Okauchi, M. and Y. Hirano. 1986. Nutritional value of *Tetraselmis tetrahele* for larvae of *Penaeus japonicus*. Bull. Natl. Res. Inst. Aquaculture 9:29~33.
- Rho, Y. G. 1990. Present status of fleshy prawn (*Penaeus chinensis*) and kuruma prawn (*P. japonicus*) seed in Korea. p. 29~41. In K. L. Main and W. Fulks, The Culture of Cold-Tolerant Shrimp: Proceedings of an Asian-U.S. Workshop on Shrimp Culture. The Oceanic Institute, Hawaii, U.S.A.
- Wang, K. and S. Ma. 1990. Advances in larval rearing techniques for *Penaeus chinensis* in China. p. 42~48. In K. L. Main and W. Fulks, The Culture of Cold-Tolerant Shrimp: Proceedings of an Asian-U.S. Workshop on Shrimp Culture. The Oceanic Institute, Hawaii, U.S.A.
- 金權斗. 1968. 대하의 종묘생산에 관한 연구. 韓國水産學會誌 1(1):9~18.
- 金伯均, 柳起熙. 1989. 대하의 종묘생산과 양식에 관한 연구. 水振研究報告 43:119~125.
- 房極旬, 盧龍吉. 1969. 大蝦 人工孵化에 관한 研究. 水振研究報告 4:93~102.
- 卞忠圭. 1970. 대하의 종묘생산에 관한 연구. 水振研究報告 4:103~108.