

해산 규조류 7종의 먹이효과 비교*

배진희 · 허성범

부산수산대학교 양식학과

Comparison of Dietary Values in Seven Species of Marine Diatoms*

Jean Hee Bae and Sung Bum Hur

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

ABSTRACT

In order to identify some suitable diatoms as a live food source, effects of seven diatom species (*Chaetoceros simplex*, *Navicula incerta*, *Phaeodactylum tricornutum*, *Nitzschia closterium*, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira pseudonana*, *Thalassiosira weissflogii*) were examined on specific growth rate, mean cell volume, chemical composition and general fatty acid composition.

In cell volume, *T. pseudonana* was the smallest (125 μm^3) and *T. weissflogii* the largest (824 μm^3). However, the specific growth rate of the largest diatom was the lowest (0.5016/day), and that of *S. costatum* was the highest (0.9928/day).

The crude protein content of seven diatom species varied from 18.96% (*T. pseudonana*) to 24.4% (*T. weissflogii*). The crude lipid content of *C. simplex* was the highest (8.43%), and that of *T. pseudonana* was the lowest (3.13%).

The total content of polyunsaturate fatty acids which are important for bivalve larvae was higher in *C. simplex* than those in other species. The total percent of polyunsaturate fatty acids from *N. incerta* and *T. weissflogii* was relatively lower than that from other species.

Dietary value of seven diatom species were finally examined with Pacific oyster larvae *Crassostrea gigas*. In this experiment, *C. simplex* showed the highest survival rate and growth, and the larvae feed on *S. costatum* and *T. weissflogii* showed the poorest results. This results *C. simplex* could be more useful live food for bivalve larvae than other diatom species tested.

서 론

해양 식물 플랑크톤 중에서 규조류는 이매패류 및 갑각류의 중요생산시 먹이생물로 많이 이용되고

* 이 연구는 한국과학재단 지정 우수 공학연구센터인 부산수산대학교 해양산업개발연구소의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

있다. 이들 규조류를 종묘생산에 이용하기 위해서는 세포의 크기와 형태, 소화 가능성, 영양성분, 배양밀도, 독성 등의 먹이생물로서의 조건이 고려되어야 한다. 이매패류 및 갑각류의 유생에 대한 규조류의 먹이효과는 종류에 따라 다르며(Walne 1970 ; Watanabe and Ackman 1974 ; Webb and Chu 1982 ; Enright et al. 1986b) 배양되는 조건(Webb and Chu 1982 ; Fabregas et al. 1985a)과 성장시기에 따라라도 달라지므로 적합한 종류와 배양 방법이 중요하다(Fabregas et al. 1985b, 1986 ; Utting 1985). 현재 이매패류 종묘생산에는 황색편모조강 (Crysoophyceae)에 속하는 *Pavlova lutheri*, *Isochrysis galbana*(또는 *I. aff. galbana*)가 많이 이용되고 있으며 이들 종류의 먹이효과에 대한 보고는 비교적 많은 편이다(Parsons et al. 1961 ; Watanabe and Ackman 1974 ; Sakshang and Holm-hansen 1977 ; Fernandez-Reiriz et al. 1983 ; Fabregas et al. 1985b, 1986 ; Helm et al. 1973 ; Whyte 1987). 그러나, 연안에서 우점을 차지하는 다양한 규조류에 대한 먹이 영양학적 연구는 충분히 수행되지 못한 실정이다(Maddux and Jones 1964 ; Smayda and Boleyn 1965 ; Tokuda 1968 ; Ben-Amotz et al. 1985 ; Brown 1991).

최근 우리 나라에서는 연안 환경의 악화와 패류 양식장의 노후화로 패류의 자연채묘가 급격히 감소되고 인공채묘의 필요성이 크게 요구되고 있다. 따라서, 유용패류의 인공채묘시 적합한 먹이생물의 대량확보가 매우 중요한 사항이며, 이들 먹이생물의 정확한 영양 평가를 파악하여야 한다.

현재 패류 유생의 먹이로 많이 이용되는 *P. lutheri*나 *I. galbana*는 대량 배양 조건이 비교적 까다로운 종류이나, 영양 효과는 우수하다. 또 유생사육에 있어서도 단일종의 먹이 생물만 공급하는 것보다는 종류가 서로 다른 다양한 먹이를 혼합 공급하는 것이 효과적이다. 따라서 본 논문에서는 연안에서 우점하는 식물부유생물이 규조류라는 점에서 크기가 작고 배양이 비교적 수월하며 유생기 먹이생물로 활용가능한 6종의 소형 규조류와 대형 규조류 1종을 선택하여, 이들 종류의 성장과 영양성분을 조사하고, 참굴 (*Crassostrea gigas*) 유생을 대상으로 먹이효율을 조사하였다.

재료 및 방법

실험에 사용한 7종 규조류는 부산수산대학교 양식 생태학 실험실에서 보관중인 16종의 규조류 가운데 일반적으로 성장과 영양가가 우수하다고 알려진 소형 규조류 6종 (*N. incerta* (NFUP-1), *P. tricornutum* (NFUP-2), *C. simplex* (NFUP-8), *S. costatum* (NFUP-47), *T. pseudonana* (NFUP-89))과 *Thalassiosira* 속에서 대형인 *T. weissflogii* (NFUP-65)을 선택하였다(Table 1).

Table 1. Diatom species used in the study

Species	Strain no. (NFUP)	Source of strain
<i>Chaetoceros simplex</i>	8	Japan
<i>Navicula incerta</i>	1	USA (UTEX 2046)
<i>Nitzschia closterium</i>	12	Nacdong
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	2	USA (SERI-S/Paeo-1)
<i>Skeletonema costatum</i>	47	Nacdong
<i>Thalassiosira pseudonana</i>	89	UK (Sea Salter Co.,)
<i>Thalassiosira weissflogii</i>	65	Incheon

NFUP : National Fisheries University of Pusan

UTEX : University of Texas

SERI : Solar Energy Research Institute

실험에 사용된 규조류는 f/2 (Guillard and Ryther 1962)배지로 수온 $18 \pm 1^\circ\text{C}$, 조도 4,500 lux의 연속조명하에서 20 l carboy병에서 7일간 배양하였다. 각 규조류의 성장 측정은 hemacytometer로 직접 계수하여 specific growth rate (Guillard and Ryther 1962)를 구하였다. 성장 정체가 직전에 여과 방법으로 수확하여 세포용적을 조사하였고 분석하기 전까지 -20°C 냉동고에서 보관하였다. 조단백질 및 조지방함량은 각각 Kjeldahl 질소정량법과 Soxhelt 추출법(ether 추출법)을 이용하였으며, 일반성분 함량은 모두 건조중량 100 g에 대한 비율로 환산하여 나타내었다. 지방산은 gas chromatography (Model 8700, Perkin Elmer LTD)를 이용하여 분석하였다.

또, 이들 7종류의 규조류와 대조구인 *I. aff. galbana* (NFUP-14)는 20 l carboy 병에 각각 대량 배양하여 참굴(*Crassostrea gigas*) 유생을 대상으로 먹이효율을 조사하였다. 참굴은 19°C 에서 사육하던 모패를 온도 차가하여 산란시킨 유생을 이용하였다. 부화후 8일째 되는 D상 유생을 3 l 원형 유리 수조에 사육수 ml당 6개체씩 수용하고, 수온 $19 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지하였다. 사육수는 1 μm cartridge filter로 여과하였고, 2일에 1회 전량 환수하였다. 실험구는 위의 7종 규조류와 대조구로 구분하여 1×10^4 cells/ml의 먹이를 매일 공급하였다. 유생의 각장은 각 실험구당 50개체씩 sample하여 100배 현미경하에서 micrometer로 계측하였고, 생존율은 Yoshifumi and Mitsuharu (1990)의 방법에 따라 실험 사육 10일째에 조사하였다.

또, 부화후 20일째되는 초기 각정기 유생을 대상으로 매일 2×10^4 cells/ml 먹이를 공급하며 앞의 실험과 동일한 방법으로 먹이효율을 조사하였다.

먹이 효율 실험은 실험구당 2반복으로 실시하였고, 성장율은 Duncan's multiple range test (Nie et al. 1975)로, 생존율은 Daniel (1987)의 방법으로 통계 처리하여 유의성을 분석하였다.

결 과

1. 규조류의 성장 및 영양 분석

각 규조류의 세포 용적과 7일 동안의 성장 결과는 Table 2와 같다. 각 종들의 평균 세포 용적을 보면, *T. pseudonana*가 $125 \mu\text{m}^3$ 로서 가장 작았으며, 그 다음으로는 *S. costatum*, *C. simplex*, *P. tricornutum*, *N. closterium*, *N. incerta* 순이었으며, *T. weissflogii*는 $824 \mu\text{m}^3$ 로서 가장 컸다. 세포의 최대 배양밀도는 크기가 가장 작은 *T. pseudonana*는 7일째 440×10^4 cell/ml로 가장 높았고, 크기가 가장 큰 *T. weissflogii*는 114×10^4 cell/ml 로 가장 낮았다. 또, *S. costatum*은 배양 5일째 312×10^4 cell/ml로 가장 높았고, *C. simplex*는 세포가 꾸준히 증가하여 7일째 288×10^4 cell/ml로 비교적 높았다. *N. incerta*와 *N. closterium*은 비교적 낮은 세포밀도를 보였다. 세포밀도가 최대에 달했을 때를 기준으로 s.gr.을 계산해 보면 *S. costatum*은 0.9928로서 가장 높은 수치를 나타내었으며, 그 다음은 *T. pseudonana* (0.7800)와 *C. simplex* (0.6926)순이었으며, 세포가 가장 대형인 *T. weissflogii*는 0.5016으로 가장 낮았다. 나머지 종은 sgr이 0.5087~0.5873 범위로 비슷한 수준을 나타내었다.

한편, 7종 규조류의 조단백질과 조지방 성분을 분석한 결과를 살펴보면(Table 3) 조단백질 함량은 *T. weissflogii*가 24.4%로 가장 높았고, *T. pseudonana*가 19.0%로서 가장 낮았다. *C. simplex*는 24.3%로 비교적 높았고 *S. costatum*은 19.8%로 비교적 낮았다. 그 외의 3종은 22.5%~23.6%로 서로 비슷하였다. 조지방 함량은 *C. simplex*의 함량이 8.4%로서 매우 높게 나타나고 있으며 *T. pseudonana*가 3.1%로 가장 낮게 나타났다. *S. costatum*은 3.9%로 비교적 낮았고 나머지 4종은 4.7%~6.0%의 범위였다.

Table 2. Daily population growth, specific growth rate and mean cell volum of seven diatom species (Unit : $\times 10^4$ cells/ml)

Species	Culture days								S.G.R.	Mean cell volume (μm^3)
	0	1	2	3	4	5	6	7		
<i>N. incerta</i>	10	14	25	34	69	93	115	92	0.5873 ¹	491
<i>P. tricornutum</i>	10	29	47	68	88	116	124	135	0.5365	327
<i>C. simplex</i>	10	46	87	121	157	195	228	288	0.6926	148
<i>N. closterium</i>	10	28	48	67	81	94	102	118	0.5087	391
<i>S. costatum</i>	10	36	95	181	218	312	264	205	0.9928 ²	136
<i>T. weissflogii</i>	10	18	26	49	75	89	101	114	0.5016	824
<i>T. pseudonana</i>	10	40	83	113	154	255	296	440	0.7800	125

S.G.R : Specific growth rate/day = $3.322 \times \frac{\log(N_1/N_0)}{t_1 - t_0}$

N_0, N_1 : Cell concentration of time t_0, t_1 ; $t_1 - t_0$: Culture period (days)

¹S.G.R (0~6 days) ²S.G.R(0~5 days)

Table 3. Proximate chemical composition of seven diatom species (Unit : %)

Species	Crude protein	Crude lipid	Crude ash
<i>N. incerta</i>	22.6	5.9	50.3
<i>P. tricornutum</i>	22.5	4.7	42.0
<i>C. simplex</i>	24.3	8.4	48.5
<i>N. closterium</i>	23.6	6.0	50.1
<i>S. costatum</i>	19.8	3.9	55.7
<i>T. weissflogii</i>	24.4	4.9	53.2
<i>T. pseudonana</i>	19.0	3.1	58.2

본 실험에 사용된 7종 규조류의 지방산 성분 분석 결과는 Table 4와 같다. 주요 지방산은 14 : 0, 16 : 0, 16 : 1 및 18 : 1였고 규조류의 총지질의 조성비율은 *C. simplex* (83.74%), *P. tricornutum* (74.84%), *N. incerta* (67.86%) 등은 비교적 높았으며 *S. costatum*이 32.87%로서 본 실험종 중에서는 가장 낮았다. *S. costatum*의 포화 지방산은 6.79%로서 매우 낮았으나, 다른 종류는 20.92% (*N. closterium*)에서 26.82% (*C. simplex*)의 범위였다. 고도불포화 지방산의 함량은 *P. tricornutum*이 22.72%로서 다른 6종에 비하여 월등히 높게 나타났으며, 다음으로 *C. simplex*, *N. closterium*이 각각 9.65%, 6.46%였으며, *N. incerta* (0.76%)가 가장 낮은 조성비율을 보였다. *P. tricornutum*, *C. simplex*는 20 : 5n-3 (EPA : eicosa pentaenoic acid)가 각각 7.73%, 5.87%로 나타났으나 다른 5종에서는 나타나지 않았다. DHA (docosahexanoic acid : 22 : 6n-3)는 *P. tricornutum* 0.84%, *S. costatum* 0.70%로 서로 비슷하였고 *C. simplex*는 1.75%로 가장 높았다. *P. tricornutum*과 *C. simplex*는 다른 4종류에 비하여 n-3계 불포화 지방산을 비교적 많이 함유한 것으로 나타났다.

2. 먹이효율 실험

부화 후 8일째 되는 참굴 D상 유생(각장 $108.5 \pm 10.02 \mu\text{m}$)을 대상으로 한 실험에서 10일간 사육한 후 유생의 성장 및 생존율의 결과는 Table 5와 같다. 생존율은 *C. simplex*에서 29.4%로 가장 높았고 다음으로는 *T. pseudonana* (21.3%), *P. tricornutum* (20.8%)의 순서로 높았다. *N. closterium*과 *N.*

*incerta*에서는 각각 12.2%, 9.3%로 비교적 낮은 생존율을 보였고, *S. costatum*과 *T. weissflogii*에서는 모두 폐사 하였다. 일간 성장량을 먹이별로 비교하면 *P. tricornutum* 공급구에서 2.19 μm 로 가장 높았다. 10일째 생존율이 0 % 였던 *T. weissflogii*와 *S. costatum*에서의 죽은 유생의 각장을 기준으로 일간성장량을 계산하면 각각 0.35 μm 와 0.47 μm 로 가장 낮았으며, 나머지 4종의 규조류는 1.31~1.88 μm 의 범위였다. 대조구인 *I. aff. galbana*에서는 4.54 μm 로 다른 규조류보다 월등히 높았다.

Table 4. Fatty acid composition of seven diatom species (Area%)

Fatty acids	Species						
	1	2	3	4	5	6	7
Saturates							
14 : 0	6.23	9.68	10.44	12.08	5.15	0.08	14.42
16 : 0	22.99	15.54	15.73	8.84	1.38	12.88	6.33
18 : 0	0.27	—	0.32	—	0.28	—	0.75
20 : 0	—	—	—	—	—	—	—
22 : 0	—	—	0.33	—	—	—	—
24 : 0	—	—	—	—	—	—	—
Sum	29.49	25.22	26.82	20.92	6.79	12.96	21.50
Monounsaturates							
14 : 1 n-5	1.15	—	0.99	2.05	14.42	1.03	1.88
16 : 1 n-7	32.83	24.25	41.55	27.68	1.71	33.35	14.32
18 : 1 n7+n-9	2.45	2.65	4.73	2.53	6.97	3.10	4.66
20 : 1 n9+n-11	—	—	—	—	—	—	—
22 : 1 n9+n-11	0.71	—	—	—	—	—	—
24 : 1 n-9	0.47	—	—	—	—	—	—
Sum	37.61	26.9	47.27	32.26	23.10	37.48	20.86
Polyunsaturates							
18 : 2 n-6	0.35	1.63	1.10	0.79	1.24	—	0.69
18 : 3 n-3+n-6	0.41	—	—	0.29	1.04	1.02	1.06
20 : 2	—	2.19	—	—	—	—	—
20 : 3 n-6	—	3.09	0.32	—	—	—	—
20 : 4 n-3+n-6	—	4.50	0.61	5.38	—	—	0.94
20 : 3 n-6	—	2.74	—	—	—	—	—
20 : 5 n-3	—	7.73	5.87	—	—	—	—
22 : 6 n-3	—	0.84	1.75	—	0.70	—	—
Sum	0.76	22.72	9.65	6.46	2.98	1.02	2.69
Total fatty acids	67.86	74.84	83.74	59.64	32.87	51.46	45.05
Others	32.14	25.16	16.26	40.36	64.13	48.54	54.95

1 : *N. incerta* 2 : *P. tricornutum* 3 : *C. simplex* 4 : *N. closterium*
 5 : *S. costatum* 6 : *T. weissflogii* 7 : *T. pseudonana*.

부화 20일째의 초기 각정기의 참굴 유생(각장 191.7±21.37 μm)을 대상으로 7종 규조류를 공급하여 10일간 사육한 결과는 Table 6과 같다. 실험종료시의 생존율은 *C. simplex*, *P. tricornutum* 공급구가 각각 36.4%, 31.8%로서 높게 나타났다. 다음은 *T. pseudonana*, *N. closterium*, *N. incerta*의 생존율이 각각 31.1%, 28.5%, 5.2%의 순이었다. 1차 실험에서와 같이 *S. costatum* 과 *T. weissflogii* 공급구에서는

모두 폐사하여 가장 낮은 생존율을 보였다.

Table 5. Dietary value of the diatom on the growth and survival rate of D-shaped larvae of Pacific oyster (initial shell length : 108.5±10.02 μm)

Food	Shell length mean±s.d. (μm)	Daily growth gain (μm/day)	Survival rate (%)
<i>N. incerta</i>	121.6±17.27 ^c	1.31 ^d	9.3 ^d
<i>P. tricornutum</i>	130.4±11.67 ^b	2.19 ^b	20.8 ^c
<i>C. simplex</i>	127.3± 9.43 ^b	1.88 ^c	29.4 ^b
<i>N. closterium</i>	122.0±7.28 ^c	1.35 ^d	12.2 ^d
<i>S. costatum</i>	113.2±13.25 ^d	0.47 ^e	0.0 ^e
<i>T. weissflogii</i>	112.0±11.25 ^d	0.35 ^e	0.0 ^e
<i>T. pseudonana</i>	126.3±10.29 ^b	1.78 ^c	21.3 ^c
Control (<i>I. aff. galbana</i>)	153.9±21.25 ^a	4.54 ^a	59.5 ^a

Values with the same superscripts are not significantly different (P > 0.05).

Table 6. Dietary value of the diatom on the growth and survival rate of umbo stage larvae of Pacific oyster (initial shell length : 191.7±21.37 μm)

Food	Shell length mean±s.d. (μm)	Daily growth gain (μm/day)	Survival rate (%)
<i>N. incerta</i>	213.0±10.30 ^c	2.13 ^d	5.2 ^d
<i>P. tricornutum</i>	234.0±13.49 ^{bc}	4.23 ^b	31.8 ^{bc}
<i>C. simplex</i>	226.0±17.76 ^c	3.43 ^c	36.4 ^b
<i>N. closterium</i>	208.3±00.69 ^{cd}	1.66 ^d	28.5 ^c
<i>S. costatum</i>	196.7±13.25 ^d	0.50 ^e	0.0 ^e
<i>T. weissflogii</i>	194.2±11.25 ^d	0.25 ^e	0.0 ^e
<i>T. pseudonana</i>	240.0±22.11 ^b	4.83 ^b	31.1 ^{bc}
Control (<i>I. aff. galbana</i>)	266.0±19.57 ^a	7.43 ^a	58.7 ^a

Values with the same superscripts are not significantly different (P > 0.05).

참굴 각정기 유생의 일간 성장 결과를 살펴보면 대조구인 *I. aff. galbana* 를 공급한 경우의 각장은 7.43 μm로 가장 높았다. *T. pseudonana*, *P. tricornutum*, *C. simplex*는 각각 4.83 μm, 4.23 μm, 3.43 μm의 순이었으나, *S. costatum* 과 *T. weissflogii* 공급구에서 죽은 유생의 각장은 194.2 μm, 196.7 μm 였고 이를 기준으로 한 일간 성장량은 각각 0.50 μm, 0.25 μm로서 매우 저조한 성장을 보였다. 위의 결과를 종합해 볼 때, 부착치패 이전의 참굴 유생의 먹이로서 현재 많이 이용되는 *I. aff. galbana* 외에 크기가 비교적 작은 *C. simplex*, *T. pseudonana*, *P. tricornutum* 등은 규조류 가운데 비교적 먹이생물로 적합함을 보여 주었다.

고 찰

자연 상태에서 이매패류의 주 먹이 생물은 규조류이므로 연안 규조류 가운데 가장 대표적인 *Chaetoceros*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Paedactylum*, *Skeletonema*, *Thalassiosira* 속을 대상으로 국내외에서 분리된

7종의 규조류를 대상으로 인공 종묘 생산시 먹이 생물로서의 활용 가능성을 조사하였다. 규조류의 종류와 strain에 따라 최적 성장 환경 요인은 다르겠지만 본 조사에서는 일반적으로 이매패류의 종묘 생산이 봄철 5월에 집중적으로 실시되므로 이때의 평균 수온인 22°C를 기준으로 4,500 lux의 연속 조명과 f/2 배치를 공통 배양조건으로 성장율을 비교 조사하였다. 7일간 배양결과 s.g.r.이 가장 빠른 종은 *S. costatum*이었고 대형 규조류인 *T. weissflogii*는 0.5016으로 가장 낮았다. 그러나, 같은 *Thalassiosira*속의 소형종인 *T. pseudonana*는 s.g.r.이 0.78로 비교적 높았다. 이와 같은 결과는 金(1993) 이 대하의 zoea와 mysis기 규조류의 먹이효율을 측정하기 위하여 *C. simplex*, *S. costatum*, *T. weissflogii*의 4종류에 대한 성장 실험(4,500 lux, 20°C, f/2배지) 결과와 비슷한 경향이었다.

한편, 7종의 규조류의 세포용적은 *T. weissflogii*가 824 μm^3 로서 가장 컸으며 *T. pseudonana*가 125 μm^3 로서 가장 작게 나타났다. Enright et al. (1986a)의 보고에 의하면 *T. pseudonana*는 6~36 μm^3 로서 본 실험결과보다도 작았고 *P. tricornutum*의 경우도 60 μm^3 로서 본 연구에서의 327 μm^3 와 상당한 차이를 보이고 있다. 그러나, Brown (1991)의 보고에 의하면 *P. tricornutum*은 260 μm^3 , *N. closterium*은 359 μm^3 로서 본 논문의 결과와 유사한 경향을 나타내고 있으며, *S. costatum*도 136 μm^3 로서 본 실험결과의 154 μm^3 와 유사하였다. 이렇게 같은 종이라도 세포용적이 차이가 나는 것은 각 미세조류들의 strain이 다르거나 배양환경에 따라서 크기가 달라지기 때문으로 생각된다(Harrison et al. 1990).

*P. tricornutum*의 조단백질과 조지방에 대하여 Parsons et al. (1961)은 각각 33%와 6.6%라고 보고하였고, Epifanio et al. (1981)은 41.5%와 8.2%, Frolov et al. (1991)은 56.2%, 10.1%로 보고되고 있어 본 실험의 22.49%, 4.67%와는 차이가 있었다. 또, 본 실험에서 *T. weissflogii*는 조단백질 함량이 24.4%로서 높은 함량을 나타내었으나, 같은 속인 *T. pseudonana*의 경우에는 조단백질과 조지방함량이 각각 19.0%, 3.1%로서 낮은 함량을 보여 종에 따른 큰 차이를 보였다. Epifanio (1979)의 보고에 의하면 *T. pseudonana*의 조단백질 및 조지방 함량이 각각 40.7%, 11.7%로서 본 논문의 결과와는 많은 차이가 나고 있다. 이와 같이 같은 종임에도 불구하고 영양성분의 차이가 크게 나는 이유 역시 strain에 따른 유전적 차이와 배지 조성 및 배양조건에 따라 큰 영향을 받기 때문으로 판단된다 (Herrero et al. 1991).

본 실험에 사용된 7종 규조류의 지방산 분석결과를 살펴보면 주요 지방산은 14:0, 16:0, 16:1 및 18:1였는데 이는 Fernandez-Reiriz et al. (1983)의 결과와 일치하였다. Frolov et al. (1991)의 보고에 의하면 *P. tricornutum*의 20:5n-3의 함량이 17.59%로 본 실험의 결과보다 높게 나타났으나, 22:6n-3는 0.08%로 본 실험의 0.84%보다 더 낮게 나타났다. 한편, Mclachlan (1968)은 *P. tricornutum*의 20:5n-3와 22:6n-3가 각각 8.6%, 0.8%로 보고하여 본 결과와 유사하게 나타났으나, *S. costatum*에서는 20:5n-3, 22:6n-3의 함량이 13.8%, 1.7%로 본 실험에서의 0.7%, 0%와 큰 차이를 보였다. Epifanio et al. (1981)은 *P. tricornutum*과 *T. pseudonana*에서 20:5n-3는 모두 나타났으나 18:3n-3와 22:6n-3는 거의 없다고 보고하였다. 그러나, 본 실험에서는 20:5n-3는 *P. tricornutum*에서만 나타났고, *T. pseudonana*에서는 나타나지 않았으며, 18:3n-3는 *T. pseudonana*에서 오히려 높게 나타났다. Volkman et al. (1989)은 *T. pseudonana*와 *S. costatum*의 고도불포화 지방산 함량이 각각 52.6%, 26.1%로서 본 실험의 2.69%와 2.98%와는 큰 차이를 보이고 있다. 이와 같이 본 실험의 불포화 지방산의 결과는 다른 실험 결과와 많은 차이를 보이는 이유는 조도, 온도 또는 배양일수 등의 배양조건에 따라서 미세조류의 고도불포화 지방산함량은 변하기 때문(Fernandez-Reiriz et al. 1983; James et al. 1989; Harrison et al. 1990; Thompson et al. 1990, 1992; Hodgson et al. 1991)으로 해석할 수 있다. 본 실험에서 이매패류의 유생에 중요한 EPA와 DHA의 분포를 보면, *P. tricornutum*, *C. simplex*는 EPA가

각각 7.73%, 5.87%로 나타나 다른 5종에서 전혀 나타나지 않은 것과 대조적이었고, DHA는 *P. tricorutum* 0.84%, *C. simplex* 1.75%로 다른 규조류보다 더 많았다. 이러한 결과들을 볼 때 *P. tricorutum*과 *C. simplex*는 비교적 EPA, DHA와 같은 n-3계 고도불포화 지방산을 많이 함유하고 있어 이매패류의 먹이생물로 매우 적합한 것으로 생각된다.

참굴 유생에 대한 7종 규조류의 먹이효과를 비교해 보면 *C. simplex*, *T. pseudonana*, *P. tricorutum* 공급구가 비교적 생존율과 성장이 양호하였다. *C. simplex*, *T. pseudonana*의 경우는 세포용적이 각각 $148 \mu\text{m}^3$, $125 \mu\text{m}^3$ 로서 작았기 때문에 비교적 유생이 섭취하기 용이했을 것이라고 생각되며, 세포용적이 $327 \mu\text{m}^3$ 로서 비교적 큰 편인 *P. tricorutum*은 D상 유생보다는 초기각정기 유생에서 생존율이 더 높게 나타났는데 그이유는 *P. tricorutum*의 크기가 D상 유생에게는 다소 클수 있었기 때문으로 생각된다.

이와 같은 규조류의 먹이효과는 일반적으로 널리 이용되는 *Isochrysis*에 비하면 매우 낮았다. 규조류 중 가장 우수했던 *C. simplex*를 실험구의 생존율과 일간 성장량은 대조구의 약 50% 수준에 불과하였다. 이러한 이유는 황색편모조류인 *I. aff. galbana*의 영양가가 규조류보다 월등히 높고 또 세포크기에 있어서도 참굴 유생이 섭취하기에 더 적합하였기 때문으로 볼 수 있다.

閱(1994)의 보고에 따르면 참굴 유생의 성장과 생존이 *I. galbana* 단독구에서보다 *I. galbana*와 *Chaetoceros calcitrans*를 혼합하여 공급할 경우 더 높게 나타났다. 이러한 결과를 참고할 때 영양가가 우수한 규조류의 개발이 중요하며 본 실험에서 나타난 *C. simplex*는 적합한 규조 먹이 생물로 활용될 수 있을 것이다.

Langdon and Waldock (1981)과 Volkman et al. (1989)은 고도불포화 지방산 중에서 20:5n-3, 22:6n-3 지방산이 참굴의 성장에 영향을 준다고 보고하고 있으며, 본 연구에서도 20:5n-3, 22:6n-3 등의 n-3계 지방산 함량이 높은 *C. simplex*, *P. tricorutum*을 먹이로 공급한 유생의 성장 및 생존율이 높았다. Enright et al. (1986b)는 22:6n-3의 함량이 높은 식물 먹이 생물을 공급하였을 경우 넓적굴(*Ostrea edulis*)의 성장율이 더 높게 나타났다고 보고하였다. *C. simplex*와 *P. tricorutum*은 조단백질 및 조지방 함량이 높았으며, 고도불포화 지방산 함량도 다른 종들보다 높은 것으로 보아 참굴 유생에 비교적 적당한 먹이로서 생각되어진다. 그러나, *T. pseudonana*의 경우는 조단백질 및 조지방 함량이 낮았음에도 참굴 유생에 대한 먹이효율 실험에서 비교적 좋은 결과가 나타난 것은 크기가 작아 섭취하기에 적합했기 때문으로 생각할 수도 있다. *S. costatum* 경우에는 1차, 2차 실험 모두에서 10일째인 실험종료시에 생존율이 0%를 나타내었다. *S. costatum*은 세포용적이 $154 \mu\text{m}^3$ 로 비교적 작지만 이것은 단세포일때의 용적이며 실제로 배양시에는 긴 사슬을 형성하고 있으므로 참굴유생이 잘 섭취할 수가 없었을 것으로 판단된다. 넓적굴(*Ostrea edulis*)의 경우에서도 *S. costatum*을 공급한 실험구에서 매우 낮은 생존율을 나타내고 있다고 보고된 바 있다(Walne 1966; Holland and Spencer 1973). 또, *T. weissflogii*를 공급한 유생에서도 실험 종료시 생존율이 0%였는데 이는 본 규조류의 크기가 $824 \mu\text{m}^3$ 로 매우 대형이어서 유생이 섭취하기에 너무 컸기 때문으로 해석된다.

일반적으로 이매패류 유생의 성장에 관한 많은 보고가 있으나 이들 유생의 영양요구 특히, 지방산 및 아미노산에 대한 정확한 영양요구는 잘 알려져 있지 않다. 이매패류의 경우 현재까지는 인공채묘 보다는 자연채묘에 의존하고 있는 실정이다. 그러나, 계속되는 연안오염에 의한 자연채묘의 부진과 원활한 종묘수급의 차원에서 볼 때 앞으로는 인공 종묘의 생산이 더욱 중요할 것이다. 따라서, 효율적인 인공채묘를 위해서는 배양조건에 따라 변화하는 먹이생물 자체의 영양성분을 양식생물의 성장단계에 따라 적절하게 이용할 수 있는 더욱 구체적인 연구가 필요하다. 또, 양식생물의 성장 단계별 필수지방산

및 아미노산의 정확한 요구량과 체내대사와의 관계에 대한 연구도 수행되어야 할 것이다.

요 약

해산패류양식에서 먹이생물로서 이용 가능한 7종 규조류(*Chaetoceros simplex*, *Navicula incerta*, *Phaeodactylum tricornerutum*, *Nitzschia closterium*, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira pseudonana*, *Thalassiosira weissflogii*)의 먹이 효율을 알아 보기 위하여 일간 성장율, 평균 세포 용적, 화학적 성분과 일반 지방산 성분에 관하여 실험하였다.

세포용적을 보면 *T. pseudonana*가 $125 \mu\text{m}^3$ 로서 가장 작았으며 *T. weissflogii*가 $824 \mu\text{m}^3$ 로서 가장 크게 나타났다. 그러나, 7일간 배양한 7종의 성장율을 살펴보면 *S. costatum*이 s.g.r.가 0.9928로 가장 높게 나타났고, 세포 용적이 가장 큰 *T. weissflogii*가 0.5016로서 가장 낮게 나타났다.

조단백질 함량은 *T. weissflogii*가 24.4%로 가장 높게 나타났고, *T. pseudonana*, *S. costatum*이 각각 19.0%, 19.8%로 비교적 낮게 나타났다. 조지방 성분 함량은 *C. simplex*가 8.4%로 가장 높게 나타났으며 다음으로는 *N. closterium*, *N. incerta*, *T. weissflogii*의 순서였다. 7종 규조류의 주요 지방산 성분은 14 : 0, 16 : 0, 16 : 1 및 18 : 1이었으며 고도불포화 지방산함량은 비교적 낮게 나타났다. 20 : 5 n-3 (EPA)는 *P. tricornerutum*, *C. simplex*에서 각각 7.73%, 5.87%의 비율이었으며, 22 : 6 n-3 (DHA)는 *P. tricornerutum* 0.84%, *C. simplex* 1.75%, *S. costatum* 0.70%의 함량을 나타내었다.

참굴 유생의 D상과 초기 각정기 유생에 7종의 규조류를 공급한 먹이효과 결과를 보면, *C. simplex* 공급구가 성장 및 생존율이 높게 나타났고, *S. costatum*과 *T. weissflogii* 공급구가 저조하였다. 이러한 결과를 볼때 *C. simplex*가 실험에 이용되었던 다른 규조류보다 이매패류의 유생에 더 유용한 먹이생물이라고 사료된다.

참 고 문 헌

- Ben-Amotz, A., T. G. Tornabene and W. H. Thomas, 1985. Chemical profile of selection species of microalgae with emphasis on lipids. *J. Phycol.* 21 : 72~81.
- Brown, M. R., 1991. The amino-acid and sugar composition of 16 species of microalgae used in mariculture. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 145 : 79~99.
- Daniel, W., 1987. *Biostatistics. A foundation for analysis in the health sciences.* 4th ed. Ed. J. Wiley Sons. Singapore. 734pp.
- Enright, C. T., G. F. Newkirk, J. S. Craigie and J. D. Castell, 1986a. Evaluation of phytoplankton as diets for juvenile *Ostrea edulis* L. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 96 : 1~13.
- Enright, C. T., G. F. Newkirk, J. S. Craigie and J. D. Castell, 1986b. Growth of juvenile *Ostrea edulis* L. fed *Chaetoceros gracilis* Schütt of varied chemical composition. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 96 : 15~26.
- Epifanio, C. E., 1979. Growth in bivalve molluscs : nutritional effects of two or more species of algae in diets fed to the American oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin) and the hard clam *Mercenaria mercenaria* (L.). *Aquaculture* 18 : 1~12.

- Epifanio, C. E., C. C. Valenti and C. L. Truk, 1981. A comparison of *Phaeodactylum tricornutum* and *Thalassiosira pseudonana* as foods for the oyster, *Crassostrea virginica*. *Aquaculture* 23 : 347~353.
- Fabregas, J., C. Herrero, B. Cabezas and J. Abalde, 1986. Biomass production and biochemical composition in mass culture of the marine microalga *Isochrysis galbana* Park at varying nutrient concentrations. *Aquaculture* 53 : 101~113.
- Fabregas, J., C. Herrero, B. Cabezas and J. Abalde, 1985a. Mass culture and biochemical variability of the marine microalgae *Tetraselmis suecica* Kylin (Butch) with high nutrient concentration. *Aquaculture* 49 : 231~244.
- Fabregas, J., C. Herrero, J. Abalde and B. Cabezas, 1985b. Growth, chlorophyll a and protein of the marine microalgae *Isochrysis galbana* in batch cultures with different salinities and high nutrient concentration. *Aquaculture* 50 : 1~11.
- Fernandez-Reiriz, M. J., A. Perez-Camacho, M. J. Ferreiro, J. Blanco, M. Planas, M. J. Campos and U. Labarta, 1983. Biochemical production and variation in the biochemical profile (total protein, carbohydrates, RNA, lipids and fatty acids) of seven species of marine microalgae. *Aquaculture* 83 : 17~37.
- Frolov, A. V., S. L. Pankov, K. N. Geradze, S. A. Pankova and L. A. Spektorova, 1991. Influence of the biochemical composition of food on the biochemical composition of the rotifer *Bachionus plicatilis*. *Aquaculture* 97 : 181~202.
- Guillard, R. R. L. and J. H. Ryther, 1962. Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula conferracea* (Cleve). *Can. J. Microbiol.* 8 : 229~239.
- Harrison, P. J., P. A. Thompson and G. S. Calderwood, 1990. Effects of nutrient and light limitation on the biochemical composition of phytoplankton. *J. Appl. Phycol.* 2 : 45~56.
- Helm, M. M., D. L. Holland and R. R. Stephenson, 1973. The effect of supplementary algal feeding of hatchery breeding stock of *Ostrea edulis* L. on larval vigor. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 53 : 673~684.
- Herrero, C. A. Cid, J. Fabregas and J. Abalde, 1991. Yields in biomass and chemical constituents of four commercially important marine microalgae with different culture media. *Aquacult. Eng.* 10 : 99~110.
- Hodgson, P. A., R. J. Henderson, J. R. Sargent and J. W. Leftley, 1991. Patterns of variation in the lipid class and fatty acid composition of *Nannochloropsis oculata* (Eustigmatophyceae) during batch culture. I. The growth cycle. *J. Appl. Phycol.* 3 : 169~181.
- Holland, D. L. and B. E. Spencer, 1973. Biochemical changes in fed and starved oysters, *Ostrea edulis* L. during larvae development, metamorphosis and early spat growth. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 53 : 287~298.
- James, C. M., S. Aihnty and A. E. Salman, 1989. Growth and ω -3 fatty acid and amino acid composition of microalgae under different temperature regimes. *Aquaculture* 77 : 337~351.
- Langdon, C. J. and M. J. Waldock, 1981. The effect of algal and artificial diets on the growth

- and fatty acid composition of *Crassostrea gigas* spat. J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 61 : 431~448.
- Maddux, W. S. and R. F. Jones, 1964. Some interactions of temperature, light intensity and nutrient concentration during the continuous culture of *Nitzschia closterium* and *Tetraselmis* sp. Limnol. Oceanography 9 : 79~86.
- Mclachlan, J., 1968. Marine phytoplankton fatty acids. J. Fish. Res. Bd. Canada 25 : 1603~1620.
- 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, U.S.A. 675pp.
- Parsons, T. R., K. Stephens and J. D. H. Strickland, 1961. On the chemical composition of eleven species of marine phytoplankton. J. Fish. Res. Bd. Can. 18 : 1001~1015.
- Sakshang, E. and O. Holm-Hansen, 1977. Chemical composition of *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve and *Pavlova (Monochrysis) lutheri* (Droop) Green as a function of nitrate, phosphate and iron-limited growth. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 29 : 1~34.
- Smayda, T. J. and B. J. Boleyn, 1965. Experimental observations on the flotation of marine diatoms. I. *Thalassiosira* cf. *nana*, *Thalassiosira rotula* and *Nitzschia seriata*. Limnol. Oceanography 10 : 499~509.
- Thompson, P. A. and P. J. Harrison, 1992. Effects of monospecific algal diets of varying biochemical composition on the growth and survival of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) larvae. Mar. Biol. 113 : 645~654.
- Thompson, P. A., P. J. Harrison and J. N. C. Whyte, 1990. Influence of irradiance on the fatty acid composition of phytoplankton. J. phycol. 26 : 278~288.
- Tokuda, H., 1968. Effects of salinity on the Growth of a marine Diatom, *Nitzschia closterium*. Bull. Plankton Soc. Jpn. 15 : 13~19.
- Utting, S. D., 1985. Influence of nitrogen availability on the biochemical composition of three unicellular marine algae of commercial importance. Aquacult. Eng. 4 : 175~190.
- Volkman, J. K., S. W. Jeffrey, P. D. Nichols, G. I. Rogers and C. D. Garland., 1989. Fatty acid and lipid composition of 10 species of microalgae used in mariculture. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 128 : 219~240.
- Walne, P. R., 1966. Experiments in the large scale culture of the larvae of *Ostrea edulis*. Fish. Invest., Lond. 25(Ser.II) : 1~53.
- Walne, P. R., 1970. Studies on the food value of nineteen genera of algae to juvenile bivalves of the genera *Ostrea*, *Crassostrea*, *Mercenaria* and *Mytilus*. Fish. Invest., Lond. 26, 62pp.
- Watanabe, T. and R. G. Ackman., 1974. Lipids and fatty acid of the American (*Crassostrea virginica*) oyster from a common habitat, and after one feeding with *Dicrateria inornata* or *Isochrysis galbana*. J. Fish. Res. Bd. Can. 31 : 403~409.
- Webb, K. L. and F. L. Chu., 1982. Phytoplankton as a food source for bivalve larvae. In : G. Pruder, C.J. Langdon and D.E. Conkilin (Editors), Proceedings of the Second International Conference on Aquaculture Nutrition : Biochemical and Physiological Approaches to Shellfish Nutrition. Louisiana State University, Baton Rouge LA pp. 272~291.

- Whyte, J. N. C., 1987. Biochemical composition and energy content of six species of phytoplankton used in mariculture of bivalves. *Aquaculture* 60 : 231~241.
- Yoshifumi, M and T. Mitsuharu, 1990. Studies on the seedling production of short-necked clam *Ruditapes philippinarum* ADAMS & REEVE-III. Food value of 8 micro alga for the larvae of Manila clam, *Ruditapes philippinarum* ADAMS & REEVE. *Bull. Chiba Pref. Fish. Exp. Sta.* 48 : 93~96 (In Japanese).
- 金炫浚, 1993. 大蝦(*Penaeus chinensis*) 種苗生産을 위한 環境要因 및 먹이生物學的 研究. 박사학위논문. 부산수산대학교. 172pp.
- 閔光植, 1994. 참굴, *Crassostrea gigas*의 人工種苗生産을 위한 幼生飼育條件에 관한 研究. 석사학위논문. 부산수산대학교. 53pp.