

대량배양에 적합한 *Tetraselmis* 종의 선택

김철원 · 허성범

부경대학교 양식학과

Selection of Optimum Species of *Tetraselmis* for Mass Culture

Chul Won Kim and Sung Bum Hur

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

Tetraselmis is widely used as a live food because of its easy handling, high nutrient, large size and wide tolerant range of temperature and salinity. In order to find the optimum *Tetraselmis* species for mass culture in Korea, five species of this microalgae were examined on size, optimum culture condition (‰, °C) and nutrient composition. The results obtained were as follows :

Among five species of *Tetraselmis*, *T. sp.* (Haeundae) was the largest (major axis $17.6 \pm 1.87 \mu\text{m}$, mean cell volume $727 \mu\text{m}^3$), and *T. sp.* (China) the smallest (major axis $14.6 \pm 1.46 \mu\text{m}$, mean cell volume $625 \mu\text{m}^3$).

Tetraselmis was very eurythermal and euryhaline species. But optimum temperature and salinity for growth were $24 \sim 30^\circ\text{C}$ and $27 \sim 30\%$, respectively. Among five species of *Tetraselmis*, *T. sp.* (China) seemed to be the most tolerant of high temperature over 30°C , and *T. tetrahele* of low temperature below 6°C .

In culture density, *T. suecica* showed the highest growth rate among the five species. The cell density of this microalgae attained to 141×10^4 cells/ml at 24°C and 30% within 7 days.

In chemical composition, crude protein amount was the highest in *T. suecica* (44.50%), and crude lipid amount in *T. sp.* (Haeundae, 7.13%). Total essential amino acid amount was the highest in *T. sp.* (Haeundae, 50.4%) and total polyunsaturated amount in *T. sp.* (China, 11.7%).

The results on growth and chemical composition of five species of *Tetraselmis* indicated that *T. suecica* seemed to be the most suitable species for mass culture in Korea.

Key words : *Tetraselmis* spp., Mass culture

서 론

식물플랑크톤은 조개류의 인공종묘생산에 있어서 먹이생물로서 매우 중요하다. 식물플랑크톤을

먹이생물로 활용하기 위해서는 세포의 크기나 형태, 소화가능성, 독성대사물질의 존재유무 등이 미리 파악되어야 하며 (Webb and Chu, 1982), 특히 이들이 가지고 있는 영양성분과 대량

본 논문은 1996년도 학술진흥재단의 대학부설연구소 연구비 지원에 의해서 연구되었음.

배양 여부는 매우 중요하다.

식물먹이생배양에 대한 연구는 온도, 조도 및 염분 (Jitts et al., 1963; Laing and Utting, 1980; Brank and Guillard, 1981), 영양염에 따른 성장 (Mclachlan, 1961) 등 비교적 많은 연구가 보고되어 있다.

또한 식물먹이생물이 가지고 있는 영양성분은 배양조건 (Epifanio, 1979; Webb and Chu, 1982; Fabregas et al., 1985a)과, 성장단계 (Fabregas et al., 1985a; Utting, 1985)에 따라 다르다. 특히, 고도불포화 지방산과 필수 아미노산의 함량은 식물먹이생물의 영양가치를 결정하는데 중요한 요소이다. 고도불포화 지방산은 조개류의 에너지 저장물질로 이용되고 성장과 변태에 관여하며 (Webb and Chu, 1982), 필수아미노산 역시 조개류의 조직형성과 성장에 매우 중요한 역할을 한다 (Brown and Jeffery, 1992; Enright et al., 1986; Harrison et al., 1990).

한편 이미 보고된 대부분의 연구들은 조개류의 종묘생산시 먹이생물로 많이 이용되고 있는 황색편모조류의 *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri* (Fernandez-Reiriz et al., 1983; Fabregas et al., 1985a; Helm et al., 1973; Whyte, 1987)와 규조류의 *Chaetoceros* spp., *Thalassiosira pseudonana*, *Skeletonema costatum*, *Phaeodactylum tricorutum*, *Nitzschia* spp. (Ben-Amotz et al., 1985; 襄, 1994) 등에 치우쳐 있다. 그러나 이와같은 황색편모조류와 규조류는 대량배양이 어려워 안정적인 먹이공급이 원활하지 못한 결점이 있다. 따라서 환경의 변화에 대한 내성이 강하며 영양가치가 높고 대량배양이 용이한 식물먹이생물의 개발이 필요하다.

*Tetraselmis*는 광온성이며 광염성인 종으로 대량배양이 용이하며 영양가치도 비교적 좋은 것으로 알려져 있다(岡内, 1988). *Tetraselmis* 종류 중에서도 *T. suecica*, *T. chuii*, *T. maculata* 등은 유럽, 미국, 중국, 일본 등에서 조개류의 인공종묘

생산시 치패의 먹이생물로 많이 이용되고 있으며, 동남아 등지에서는 *T. tetrahele*를 *Chlorella* 대신 여름 우기에 rotifer의 먹이생물로 많이 사용하고 있다(岡内, 1988).

*Tetraselmis*에 대한 연구는 *T. tetrahele*의 대량배양 (岡内, 1988), 염분과 영양염의 농도에 따른 *T. suecica*의 성장 (Fabregas et al., 1984), 영양염의 농도에 따른 *T. suecica*의 대량배양과 영양성분의 변화 (Fabregas et al., 1985a) 등 비교적 많이 보고 되었으나 각 종에 따라 배양환경과 방법에 따라 큰 차이를 보이고 있다. 국내에서의 연구는 온도, 염분, 조도에 따른 *Tetraselmis* sp.(China)의 성장 (朴, 1994)에 대한 보고가 있을뿐 *Tetraselmis* spp.의 성장, 영양가 및 먹이 효율 등에 관한 충분한 연구가 되어있지 않다. 따라서 본 논문에서는 5종의 *Tetraselmis*를 대상으로 성장과 영양가를 분석하여 우리나라에서 대량배양에 가장 적합하고 먹이효율이 우수한 *Tetraselmis*의 strain을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

실험 1. *Tetraselmis* spp.의 크기 및 용적

*Tetraselmis*의 세포크기는 정체가 직전에 200 세포씩을 2회 반복하여 장경과 단경을 측정하였으며, 세포용적은 원심분리하여 침전된 세포의 용적을 세포수로 나누어 구하였으며 각 종마다 5회 반복하여 그 평균값을 계산하였다.

실험 2. *Tetraselmis*의 최적배양 온도와 염분

본 실험에 사용된 5종의 *Tetraselmis*는 부경대학교 수산과학연구소 한국해양미세조류은행에서 보존하고 있는 원종을 사용하였다(Table 1). 이들 원종은 f/2 (Guillard and Rytter, 1962) 배지로 23°C, 4,000 lux, L : D cycle은 24 : 0의 조건에서 배양하였다.

Table 1. *Tetraselmis* species for the experiment

Species	Strains No. (KMCC)	Source of strain
<i>T. tetrahele</i>	P-2	The OI
<i>T. suecica</i>	P-4	CCAP 66/22A
<i>T. subcordiformis</i>	P-1	UTEX (7)
<i>T. sp. (Haeundae)</i>	P-3	Haeundae
<i>T. sp. (China)</i>	P-6	China

KMCC : Korea Marine Microalgae Culture Center

CCAP : Culture Collection of Algae and Protozoa

UTEX : University of Texas

OI : The Oceanic Institute, Hawaii

5종의 *Tetraselmis*의 최적배양온도와 염분 조사는 250ml 삼각 flask에서 100ml 용량으로 실험하였다. 조도는 6,000lux로 고정하였고, 온도는 6, 9, 12, 18, 21, 24, 27, 30, 33°C, 염분은 24, 27, 30, 33‰로 나누어 저온부란기 (STATUS Ser 2032-1)에서 8일간 배양 실험하였다. 모든 실험의 초기 접종밀도는 2×10^5 cells/ml로 하였으며, 성장은 매일 hemacytometer를 사용하여 계수하였으며 Guillard (1973)의 공식에 따라 일간성장률(specific growth rate (s.g.r)/ day)을 구하였다.

$$\text{s.g.r/day} = 3.322 \times \log(N_1/N_0) / (t_1 - t_0)$$

N_1 : t_1 시의 세포수/ml t_1 : 접종후 일시
 N_0 : t_0 시의 세포수/ml t_0 : 접종일

실험 3. *Tetraselmis*의 영양성분 분석

5종의 *Tetraselmis*의 영양가 분석은 20l carboy 병에 수온 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 염분 $30 \pm 0.5\%$, 조도 6,000lux의 조건에서 배양한후 수확하여 분석하였

다. 조단백질과 조지방 분석은 Kjeldahl 질소정량법과 Soxhelt추출법 (ether 추출법)을 이용하였고, 이들 일반성분함량은 모두 건조중량 100g에 대한 비율로 환산하여 나타냈다. 아미노산 분석과 지방산 분석은 아미노산 자동분석기 (Hitachi model 835-50)와 gas chromatography (Model 8700, Perkin Elmer LTD)를 이용하여 분석하였다. 통계처리는 Computer Program Statistix 3.1 (Analytical Software, St. Paul, Mn. USA)로 ANOVA test를 실시하여 최소유의차 검정으로 평균간의 유의성($P \leq 0.05$)을 검정하였다.

결 과

1. 세포크기 및 용적

5종의 *Tetraselmis*의 크기 및 세포용적은 Table 2와 같다. 크기는 해운대산 *T. sp.*가 장경 $17.6 \pm 1.87 \mu\text{m}$, 단경 $14.5 \pm 1.82 \mu\text{m}$ 로 가장 컸으며 중국산 *T. sp.*가 장경 $14.6 \pm 1.46 \mu\text{m}$, 단경 $11.9 \pm 1.43 \mu\text{m}$ 으로 가장 작았다.

용적은 해운대산 *T. sp.*가 $727 \mu\text{m}^3$ 로 가장 컸으며, 중국산 *T. sp.*가 $625 \mu\text{m}^3$ 으로 가장 작았다.

2. 5종의 *Tetraselmis*의 최적 배양수온과 염분

5종의 *Tetraselmis*를 250ml 삼각플라스크에서 8일간 배양하였을때 specific growth rate은 Fig. 1과 같다. *Tetraselmis*의 성장은 수온에 따라 큰 차이를 보이며, 염분에 따라서도 약간의 차이를 보이고 있다. 배양 8일째에 모든 종에서 성장이 가장 좋았는데 *T. tetrahele*는 수온 30°C , 염분 27

Table 2. Size and mean cell volumes of five species of *Tetraselmis*

Species	Size		
	Major axis(μm)	Minor axis(μm)	Mean cell volum(μm^3)
<i>T. tetrahele</i>	15.3 ± 1.73^b	12.3 ± 1.54^{ab}	652^b
<i>T. suecica</i>	14.8 ± 1.52^a	11.9 ± 1.44^a	631^a
<i>T. subcordiformis</i>	15.4 ± 3.56^b	12.6 ± 3.30^b	672^b
<i>T. sp. (Haeundae)</i>	17.6 ± 1.83^c	14.5 ± 1.82^c	727^c
<i>T. sp. (China)</i>	14.6 ± 1.46^a	11.9 ± 1.43^a	625^a

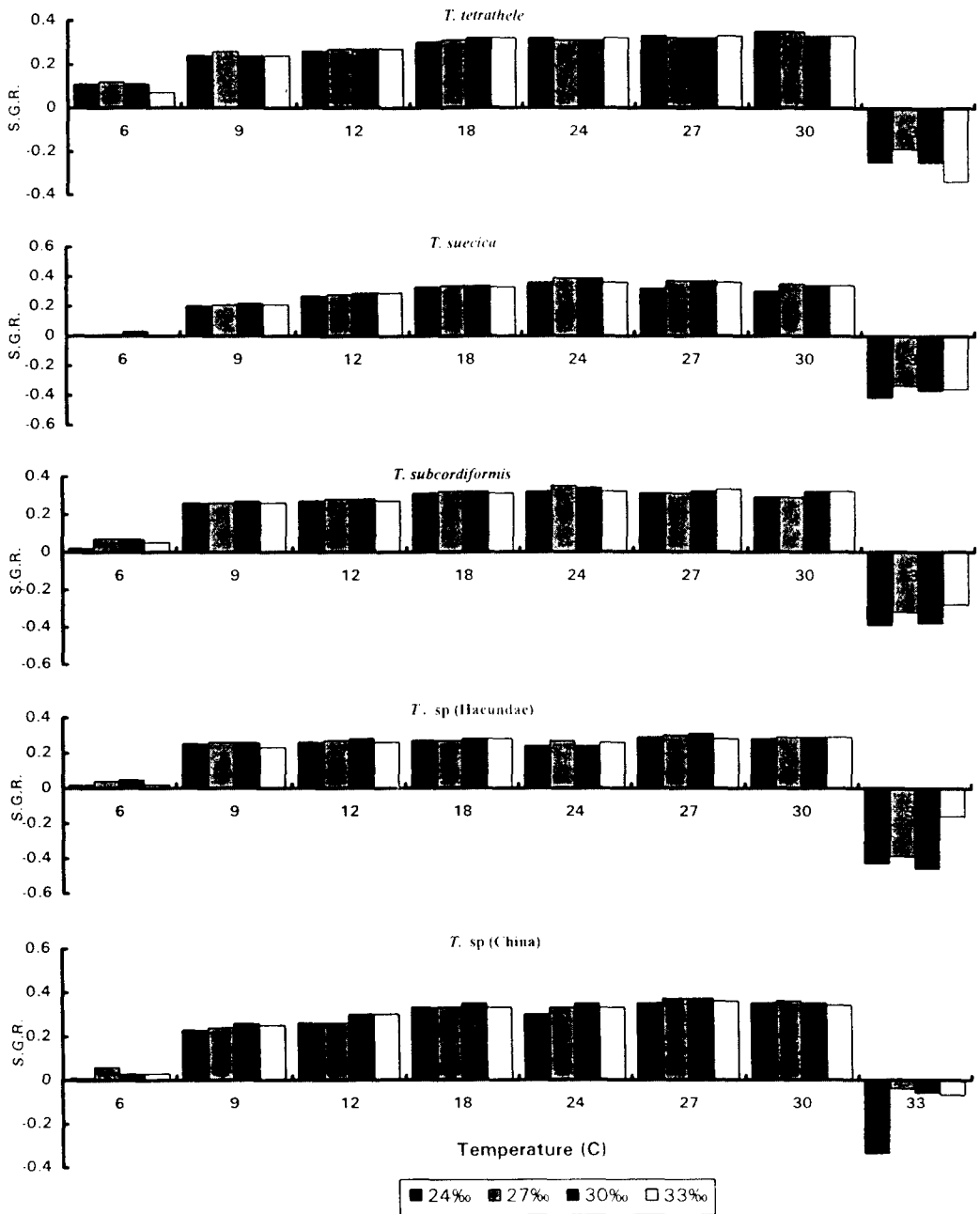


Fig. 1. Specific growth rate of *Tetraselmis* spp. with different temperature and salinity.

%에서 세포수가 $112 \times 10^4 \text{ cells/ml}$ (s.g.r., 0.35)로 성장이 가장 빨랐고, *T. suecica*의 성장은 수온 24°C , 염분 30%에서 세포수가 $133 \times 10^4 \text{ cells/ml}$ (s.g.r., 0.39)로 성장이 가장 빨랐다. *T. subcordiformis*의 성장은 수온 24°C , 27%에서 세포수가 $110 \times 10^4 \text{ cell s/ml}$ (s.g.r., 0.35)로 성장이 가장 빨랐고, 해운대산 *T. sp.* 성장은 수온 27°C , 염분 30%에서 세포수가 $89 \times 10^4 \text{ cells/ml}$ (s.g.r., 0.31)로 성장이 빨랐다. 중국산 *T. sp.* 성장은 수온 27°C , 염분 30%에서 세포수가 $120 \times 10^4 \text{ cells/ml}$ (s.g.r., 0.37)로 성장이 가장 좋게 나타났다.

실험에 이용한 5종의 *Tetraselmis*는 저수온인 6°C 에서 성장이 되지 않고 바닥에 가라앉아 뭉쳐져있는 세포가 많이 보였고, 고수온 33°C 에서 염분에 관계없이 세포수가 크게 감소하여 대부분 폐사하였다.

본 실험에서 사용한 5종의 *Tetraselmis*는 염분 27~30%에서 성장이 좋았으나 각 실험구간에 따른 차이는 크지 않는 것으로 나타났다. 따라서 각 수온에 따른 4개의 염분구의 평균세포수를 비교하였다(Table 3). 본 실험결과 5종의 *Tetraselmis*의 최적 배양수온은 $24 \sim 27^\circ\text{C}$ 의 범위였다. 성장이 가장 좋았던 종은 *T. suecica*로 24°C 에서 배양 8일째 세포수가 $130 \times 10^4 \text{ cells/ml}$ (s.g.r., 0.38)였고 가장 저조한 종은 해운대산 *T. sp.*로서 고수온기인 27°C 에서 배양 8일째 세포수가 $89 \times 10^4 \text{ cells/ml}$ (s.g.r., 0.29)로 다른 종에 비해 성장이 매우 저조하였다.

각 수온별 최대세포밀도를 비교하면 수온이 가

장 낮은 6°C 에서 *T. tetrahele*가 가장 높았고, 고수온인 33°C 에서는 중국산 *Tetraselmis*가 가장 높았다. 그러나 수온이 $12 \sim 24^\circ\text{C}$ 에서는 *T. suecica*가 가장 높았고, 27°C 에서는 중국산 *Tetraselmis*, 30°C 에서는 *T. tetrahele*가 가장 높았다. 따라서 세포밀도의 변화에 의하면 *T. suecica*는 저수온인 6°C 와 고수온인 33°C 에서 가장 적은 세포밀도를 보였다. 그리고 30°C 에서 33°C 로 상승되었을 때 성장감소의 폭이 가장 적었던 종은 중국산 *Tetraselmis*였다. 이와같은 결과를 볼 때 중국산 *Tetraselmis*를 고수온기인 여름에, *T. tetrahele*는 저수온기인 겨울에 대량배양하기에 적합하며 그 외의 계절에는 *T. suecica*가 적당할 것으로 판단된다.

3. 영양성분 분석

5종의 *Tetraselmis*의 일반성분 분석은 Table 4와 같다. 조단백질은 *T. suecica*가 46.8%로 가장 높게 나타났고 *T. subcordiformis*가 37.6%로 가장 낮은 값을 보였다. 조지방은 해운대산 *T. sp.*가 7.1%로 높게 나타났고 중국산 *T. sp.*가 4.1%로 가장 낮게 나타났다.

5종의 *Tetraselmis*의 아미노산 조성은 Table 5와 같다. 각 종에 따라 아미노산의 조성은 큰 차이를 보이지 않았는데 비필수 아미노산은 glutamine과 aspartate의 함량이 높게 나타났다. Glutamine함량은 중국산 *Tetraselmis*에서 14.1%로 가장 높게 나타났으며, aspartate함량은 *T. tetrahele*에서 10.8%로 가장 높았다. 필수아미노

Table 3. Mean maximum cell density of five species of *Tetraselmis* cultured at different temperatures under 6,000 lux and salinities ranging 24‰ to 30‰

Species	Tem.($^\circ\text{C}$)	(Unit : $\times 10^4$ cells/ml)							
		6 $^\circ\text{C}$	9 $^\circ\text{C}$	12 $^\circ\text{C}$	18 $^\circ\text{C}$	24 $^\circ\text{C}$	27 $^\circ\text{C}$	30 $^\circ\text{C}$	33 $^\circ\text{C}$
<i>T. tetrahele</i>		33 \pm 2.2 ^c	67 \pm 2.6 ^b	73 \pm 1.3 ^a	91 \pm 3.3 ^b	98 \pm 1.9 ^b	102 \pm 2.2 ^b	111 \pm 2.1 ^b	6 \pm 1.0 ^a
<i>T. suecica</i>		23 \pm 1.8 ^a	56 \pm 2.2 ^a	79 \pm 3.0 ^a	103 \pm 2.6 ^c	130 \pm 10.4 ^d	116 \pm 8.3 ^c	105 \pm 4.9 ^b	4 \pm 0.5 ^a
<i>T. subcordiformis</i>		28 \pm 2.1 ^b	72 \pm 2.2 ^c	76 \pm 2.2 ^a	93 \pm 2.9 ^b	102 \pm 6.9 ^c	93 \pm 4.0 ^a	90 \pm 4.0 ^a	4 \pm 0.8 ^a
<i>T. sp</i> (H)		24 \pm 1.1 ^a	68 \pm 3.7 ^b	75 \pm 2.9 ^a	76 \pm 2.2 ^a	76 \pm 2.7 ^a	87 \pm 2.3 ^a	82 \pm 3.0 ^a	3 \pm 0.5 ^a
<i>T. sp</i> (C)		28 \pm 1.1 ^b	66 \pm 3.5 ^{b1}	78 \pm 6.8 ^a	102 \pm 3.4 ^c	109 \pm 9.1 ^c	120 \pm 3.7 ^c	109 \pm 2.8 ^b	15 \pm 4.8 ^b

Table 4. Proximate chemical composition of five species of *Tetraselmis*

Species	Crude protein	Crude lipid	Crude ash
<i>T. tetrathele</i>	44.5	6.7	24.2
<i>T. suecica</i>	46.8	6.3	21.7
<i>T. subcordiformis</i>	37.6	5.3	27.4
<i>T. sp.</i> (Haeundae)	40.3	7.1	26.2
<i>T. sp.</i> (China)	41.0	4.1	28.7

(unit : % in dry matter)

Table 5. Amino acid composition of five species of *Tetraselmis* in this study

Amino acid	<i>T. tetrathele</i>	<i>T. suecica</i>	<i>T. subcordiformis</i>	<i>T. sp.</i> (Haeundae)	<i>T. sp.</i> (China)
Aspartate	10.8	10.2	9.9	9.2	9.8
Tyrosine	3.7	3.5	3.4	3.8	3.5
Serine	4.5	4.4	4.5	4.4	4.3
Glutamine	12.7	12.9	13.0	12.9	14.1
Glycine	6.4	6.5	6.2	6.3	5.6
Alanine	7.8	7.9	8.3	8.7	8.7
Cysine	1.1	1.2	1.3	1.5	1.2
Valine	5.5	5.5	5.5	5.6	5.5
Methionine	2.1	2.1	2.3	2.4	2.3
Isoleucine	4.0	3.8	4.0	4.1	3.9
Leucine	8.6	8.3	8.4	8.8	8.0
Threonine	5.1	5.0	5.2	5.0	4.9
Phenylalanine	5.6	5.3	5.4	5.7	5.1
Lysine	4.9	4.8	4.7	5.0	4.7
Histidine	1.3	1.2	1.0	1.5	1.2
Arginine	5.9	7.9	6.4	5.6	8.6
Proline	5.2	5.3	5.5	6.7	5.2
T.E.A.A	49.2	49.2	48.4	50.4	49.4

(unit : %)

T.E.A.A : total essential amino acids.

산 가운데는 leucine 함량이 가장 높았고 해운대산 *Tetraselmis*에서 8.8%로 가장 높았다. 총아미노산 함량은 해운대산 *Tetraselmis*에서 50.4%로 가장 높았고 나머지 4종류는 48~49%로 큰 차이가 없었다.

5종의 *Tetraselmis*의 지방산 조성은 Table 6과 같다. 5종의 *Tetraselmis*의 주요지방산은 16 : 0, 18 : 0, 14 : 1 및 18 : 1 이었다. 포화지방산 함량은 23~28% 범위로 중국산 *Tetraselmis*가 28.0%로 가장 높게 나타났고 *T. tetrathele*는 23.8%로 가장 적었다. 고도불포화지방산 함량은 8~11% 범위로 모든 실험종에서 비교적 낮게 나타났

으며 중국산 *Tetraselmis*가 11.7%로 가장 높게 나타났고 *T. tetrathele*는 8.4%로 가장 낮게 나타났다. 그리고 20 : 5n-3 (EPA : eicosapentaenoic acid) 함량은 *T. suecica*에서 4.9%로 가장 높게 나타났으며 *T. tetrathele*과 중국산 *T. tetraselmis*에서 3.9%로 가장 낮았다. 그러나 22 : 6n-3 (DHA : docosahexanoic acid)는 모든 실험종에서 나타나지 않았다. 총 지방산 함량은 중국산 *T. sp.*가 84.0%로 가장 높았으며 *T. suecica*가 76.4%로 가장 낮게 나타났으나 큰 차이는 보이지 않았다.

Table 6. Fatty acid composition of five species of *Tetraselmis* in this study

Fatty acids	(unit : %)				
	<i>T. tetrathele</i>	<i>T. suecica</i>	<i>T. subcordiformis</i>	<i>T. sp.</i> (Haeundae)	<i>T. sp.</i> (China)
12 : 0	0.5	0.5	0.5	0.4	0.6
14 : 0	0.4	0.4		0.3	0.4
16 : 0	16.0	16.2	19.0	15.9	20.3
18 : 0	6.9	7.4	7.2	9.5	6.7
22 : 0		0.4			
Saturates	23.8	24.9	26.7	26.1	28.0
14 : 1	16.2	13.9	13.8	13.8	14.5
16 : 1	7.0	9.6	6.8	3.8	5.9
18 : 1	23.9	18.2	26.3	25.7	23.0
22 : 1					0.9
Monounsaturates	47.1	41.7	46.9	43.3	44.3
18 : 2n-6	2.5	1.8	2.7	2.6	4.1
18 : 3n-3		0.2			
18 : 4n-6	0.9	0.8		0.8	0.6
18 : 4n-3		0.8		0.5	1.3
20 : 5n-3	3.9	4.9	4.8	4.4	3.9
22 : 4n-6	1.1	1.3	1.3	1.0	1.8
Polyunsaturates	8.4	9.8	8.8	9.3	11.7
Total fatty acids	79.3	76.4	82.4	78.7	84.0
Others	20.8	23.6	17.6	22.0	15.4

논 의

본 논문에 사용된 5종의 *Tetraselmis*의 크기는 해운대에서 채집한 *T. sp.*가 장경 $17.60 \pm 1.87 \mu\text{m}$, 단경 $14.50 \pm 1.82 \mu\text{m}$, 체적 $727 \mu\text{m}^3$ 로 가장 대형 종이였으며 중국산 *T. sp.*가 장경 $14.60 \pm 1.46 \mu\text{m}$, 단경 $11.90 \pm 1.43 \mu\text{m}$, 체적 $625 \mu\text{m}^3$ 로 가장 소형 종이었다. 金(1994)은 *T. tetrathele*의 체적이 $668 \mu\text{m}^3$ 으로 보고하여 본 논문 결과 $652 \mu\text{m}^3$ 와 유사한 경향을 보였으나, 岡内(1988)은 *T. tetrathele*의 체적이 $320 \mu\text{m}^3$ 으로 본 논문의 $652 \mu\text{m}^3$ 와 큰 차이를 보였다. 그리고 朴(1994)은 중국산 *T. sp.*의 체적이 $720 \mu\text{m}^3$ 로 보고하여 본 논문의 $625 \mu\text{m}^3$ 와는 다소 차이를 나타냈다. 이처럼 같은 종에서의 세포용적의 차이는 strain이 다르거나 채집장소, 배양환경이 다르기 때문으로 생각된다 (Harrison et al., 1990).

본 논문의 결과 5종의 *Tetraselmis*의 성장은 수온 $24 \sim 30^\circ\text{C}$ 에서 성장이 좋았으며 저수온 6°C

에서는 성장이 거의 일어나지 않았고 고수온 33°C 에서 세포의 폐사가 나타나 성장이 감소하는 것을 볼수 있었다. 이와같은 결과는 *Tetraselmis*의 배양 수온 범위를 $12 \sim 32^\circ\text{C}$ 로 보고한 Ukeles (1961)의 결과와 유사하였다. 그리고 Maddux and Raymond (1964)는 *T. sp.*의 성장이 $23 \sim 25^\circ\text{C}$ 에서 가장 좋았으며 17°C 이하와 29°C 이상에서는 성장이 좋지 않다고 보고하여 본 논문의 결과와 차이를 보이고 있다. Laing and Helm (1981)은 200l 규모의 *T. suecica* 대량배양시 성장이 $18 \sim 22^\circ\text{C}$ 에서 좋았다고 하여 본 논문의 결과와 약간의 차이를 보였다. 또 岡内(1988)은 *T. tetrathele*가 26°C 에서는 성장이 양호하였으며 7°C 이하에서 성장이 되지 않고 35°C 에서는 폐사하였다고 보고하여 본 논문의 결과와 유사하였다. 그리고 Chen et al. (1978)은 *T. subcordiformis*의 최적배양조건은 조도 $5,000 \sim 10,000 \text{ lux}$, 수온 $20 \sim 28^\circ\text{C}$, 염분 $30 \sim 40\%$ 로 보고하여 본 연구결과와 같은 경향이였다.

본 논문의 결과에서 염분에 따른 성장차이는 크게 나타나지 않았으나 24%보다는 27~33%에서 성장이 좋았다. 岡内(1988)은 35%에서 *T. tetrathele*의 성장이 좋았다고 보고하여 본 논문의 결과와 차이가 있었다. 그러나 Laing and Utting (1980)과 Febregas et al. (1984)은 *T. suecica*의 성장에 적당한 염분은 25~30%로써 31~36%에서는 성장이 둔화된다고 하여 본 논문의 결과와 유사한 경향을 보였다. 또朴(1994)은 중국산 *T. sp.*가 27°C, 6,000lux, 33%에서 성장이 좋았다고 하여 본 논문의 결과와 유사하였다. 이와같이 같은 종일지라도 성장의 차이가 있는 것은 strain에 따른 유전적인 차이와 실험할때의 수온, 염분, 조도 등과 같은 배양환경의 차이때문으로 생각된다.

식물플랑크톤의 영양성분은 먹이를 섭취한 동물의 성장과 생존율에 큰 영향을 주기 때문에 매우 중요하다. Thompson et al. (1990)은 식물플랑크톤의 지방산 함량은 조도의 따라 달라진다고 보고하였고 Harrison et al. (1990)은 영양염과 빛의 제한에 따라 식물플랑크톤의 화학적 조성이 변화한다고 보고하였다.

본 연구에서 5종의 *Tetraselmis* 일반성분을 분석한 결과 조단백질 함량이 *T. suecica*에서 46.8%로 가장 높게 나타났고 *T. subcordiformis*에서 37.6%로 가장 낮게 나타났다. 그리고 조지방 함량은 해운대에서 채집한 *T. sp.*에서 7.13%로 가장 높았으며 중국산 *T. sp.*에서 4.11%로 가장 낮게 나타났다. Febregas et al. (1984)은 *T. suecica*의 단백질 함량은 배양액의 염분과 영양염의 농도에 의해서 변화한다고 보고하였다. Brown (1991)은 *T. suecica*의 조단백질 함량이 31.0%, 조지방 함량은 17.0%로 보고하여 본 논문에서의 조단백질 함량 46.8%, 조지방 함량 6.3%와는 큰 차이를 보였다.

5종의 *Tetraselmis*에서 조개류의 조직형성에 매우 중요한 역할을 하는 아미노산 함량(Brown, 1991)은 비필수 아미노산인 glutamine의 함량이 12.7~14.1%로 높게 나타났고, 필수아미노산인

leucine 함량은 8.0~8.8%로 나타났다. Brown (1991)의 보고에 의하면 *T. suecica*의 glutamine의 함량은 11.2%, leucine 함량은 8.0%로 나타나 본 연구결과에 비해 낮게 나타났다. 그러나 필수 아미노산인 arginine 함량은 13.5%로 나타내 본 연구 결과 7.9%보다 높게 나타났다.

5종의 *Tetraselmis*의 주요지방산은 16:0, 18:0, 14:1 및 18:1 이었다. 포화지방산 함량은 중국산 *T. sp.*가 28.0%로 가장 높게 나타났으며 고도 불포화 지방산 함량 역시 중국산 *T. sp.*가 11.7%로 가장 높게 나타났다. 그러나 20:5n-3 (EPA: eicosapentaenoic acid) 함량은 *T. suecica*에서 4.9%로 높게 나타났다. 그리고 DHA (docosahexanoic acid, 22:6n-3)는 모든 실험종에서 나타나지 않았다. 岡内(1988)은 *T. tetrathele*의 20:5n-3의 함량을 6.4%로 보고하여 본 연구보다 높게 나타났으며 22:6n-3의 함량은 본 연구와 마찬가지로 나타나지 않았다. Langdon and Waldok (1981)와 Ackman et al. (1968)은 황색편모조류인 *Pavloba lutheri*와 규조류 *Skeletonema costatum*의 20:5n-3가 각각 13.8%, 13.8%로 나타났으며, 22:6n-3 역시 각각 7.9%, 1.7%로 보고한바 이와같은 종류들과 비교해볼 때 본 연구에서 조사된 녹색편모조류인 *Tetraselmis*류는 EPA, DHA 등 주요 불포화지방산의 영양가는 매우 낮은 것으로 판단된다. 또 같은종인 경우도 화학성분의 차이가 나는 이유는 미세한 배양환경과 유전적차이 때문으로 해석된다.

본 연구의 결과 5종의 *Tetraselmis*는 광염성, 광온성으로 대량배양이 쉬운 종임을 알수 있었다. 특히 우리나라에서는 중국산 *T. sp.*는 여름철 고수온기, *T. tetrathele*는 겨울철 저수온기에 배양하기 적합한 종으로 생각되며 그외의 계절에는 크기가 작고 성장이 빠르며 영양성분이 높은 *T. suecica*가 대량배양하기 적합한 종으로 판단된다.

요 약

온도와 염분에 대하여 내성이 강하고 대량배양이 쉬워서 조개류의 인공종묘생산시 먹이로서 많

이 사용하고 있는 5종의 *Tetraselmis* (*T. tetra-
thele*, *T. suecica*, *T. subcordiformis*, *T. sp.*
(Haeundae), *T. sp.* (China)) 중 우리나라 기
후 환경에 대량배양이 가장 적합한 종을 선택하기
위해서 최적 배양환경 (온도, 염분)을 조사하고
이때의 세포크기와 영양성분을 조사하였다.

5종의 *Tetraselmis*의 세포크기 및 체적은 *T. sp.*
(Haeundae)가 장경 $17.6 \pm 1.87 \mu\text{m}$, 체적 727
 μm^3 로 가장 대형종이었으며 중국산 *T. sp.*가 장경
 $14.6 \pm 1.46 \mu\text{m}$, 체적 $625 \mu\text{m}^3$ 으로 가장 소형종이
였다.

*Tetraselmis*는 광염성, 광온성이나 최적성장을
위한 수온과 염분 구간은 각각 $24 \sim 30^\circ\text{C}$ 와 $27 \sim$
 30% 였다. 5종의 *Tetraselmis*에서 고수온에 대한
내성은 중국산 *Tetraselmis*, 저수온에 대한 내성은
*T. tetrahele*가 높은 것으로 나타났다.

5종의 *Tetraselmis*중 배양밀도가 가장 높았던
종은 *T. suecica* 였으며, 이 종은 배양 7일째 24°C ,
 30% 에서 세포수가 $141 \times 10^4 \text{ cells/ml}$ (s.g.r., 0,
3906)로 성장이 가장 좋았다.

5종의 *Tetraselmis*의 화학성분중 조단백질 함
량은 *T. suecica*가 44.50% 로 가장 높게 나타났고,
조지방은 해운대산 *T. sp.*가 7.13% 로 높게 나타
났다. 필수아미노산은 해운대산 *T. sp.*에서 50.40
 $\%$ 로 가장 높게 나타났고, 불포화지방산은 중국산
*T. sp.*에서 11.7% 로 가장 높게 나타났다.

5종의 *Tetraselmis*의 성장과 영양성분 결과로
보아 우리나라에서 대량배양이 가장 적합한 종은
*T. suecica*임을 알수 있었다.

참 고 문 헌

- Ackman, R. G., C. S. Tocher and J. McLachlan. 1968. Marine phytoplankton fatty acids. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 25(8) : 1603~1620.
- Ben-Amotz, A., T. G. Tornabene and W. H. Thonas, 1985. Chemical profile of selection species of microalgae with emphasis on lipids. *J. Phycol.*, 21 : 72~81
- Brank, L. E. and R. R. L. Guillard., 1981. The effect of continous light and light intensity on the reproduction rates of twenty-two species of marine phytoplankton. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 50 : 119~132.
- 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.
- Brown, M. R. and S. W. Jeffery., 1992. Biochemical composition of microalgae from the green algal classes Chlorophyceae and Prasinophyceae. 1. Amino acids, sugars and pigments. *Aquaculture*, 161 : 91~113.
- Chen, M. Y., S. Y. He, C. X. Chen and G. X. Dai., 1978. Preliminary report on the culture and effect of *Dicrateria zhanjiangensis* Hu sp. nov. for the breeding. *Shuichan yu Jiaoyu.*, 1978(2) : 37~51(in Chinese).
- Enright, C. T., G. F. Newkirk, J. S. Craigie and J. D. Castell. 1986. Evaluation of phytoplankton as diets for juvenile *Ostrea edulis* L. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 96 : 1~13.
- 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.
- Fabregas, J. J., C. Abalade, B. Herrero, Cabezas. and M. Veiga. 1984. Growth of the marine microalgae *Tetraselmis suecica* in batch culture with different salinities and nutrient concentration. *Aquaculture*, 42 : 207~215.
- Fabregas, J., C. Herrero, J. Abalde and B. Cabezas. 1985a. Growth, chlorophyll and protein of the marine microalga *Isochrysis galbana* in batch cultures with different salinities and high nutrient concentrations. *Aquaculture*, 50 : 1~11.
- Fernandez-Reiriz, M. J., A. Perez-Camacho, M. J. Ferreira, J. Blanco, M. Planas, M.J. Compos and U. Labrata. 1983. Biochemical production and variation in the Biochemical profile (total protein, carbohydrates, RAN, lipids and fatty acids) of seven species of marine microalgae. *Aquaculture*, 83 : 17~37.
- Guillard, R. L. and J. H. Ryther. 1962. Studies for marine planktonic diatoms. I. *Cyclote-*

- Ila nana* Hustedt and *Detomnule conferracea* (Cleve). Gram. Can. J. Microbiol., 8 : 229~239.
- Guillard, R. L. 1973. Growth measurement. In Hand book of physiocological method. J. Mar. Biol. Assoc. U. K., 53 : 673~684.
- Harrison, P. J., P. A. Thompson and G. S. Calderwood. 1990. Effects of nutrient and light limitation on the biochemical composition of phytoplankton. J. Applied 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.
- Jitts, H. R., C. D. McAllister, K. Stephens and J. D. H. Strickland. 1963. The cell division rates of some marine phytoplankton as a function of light and temperature. Fish. Res. Bd. Canada., 21(4) : 139~157.
- Laing, I, and S. D. Utting, 1980. The influence of salinity on the production of two commercially important unicellular marine algae. Aquaculture, 21 : 79~86.
- Laing, I. and M. M. Helm. 1981. Factors affecting the semi-continuous production of *Tetraselmis suecica* (Kilin) Buth. in 200-l vessels. Aquaculture, 22 : 137~148.
- Langdon, C. J. and M. J. Waldock. 1981. The effect of algal and artificial diets on the growth and fatty acid composition of *Crasostrea gigas* spat. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 61 : 431~448.
- Maddux, W. S. and F. J. Raymond. 1964. Some interaction of temperature, light intensity, and nutrient concentration during the continuous culture of *Nitzschia closterium* and *Tetraselmis* sp. Simnol. Oceanogr., 9 : 79~86.
- Mclachlan, J. 1961. Effect of salinity on growth and chlorophyll content in representative classes of unicellular marine algae. Can. J. Microbiol., 7 : 399~406.
- 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 : 278~200.
- Ukeles, S. R., 1961. The effect of temperature on the growth and survival of several marine algal species. Biol. Bull., 120 : 255~264.
- Utting, S. D. 1985. Influence of nitrogen availability on the biochemical composition of three unicellular marine algae of commercial importance. Aquaculture Engineering, 4 : 175~190.
- Webb, K. L. and F. L. Chu. 1983. Phytoplankton as a food source for bivalve larvae. In : G. pruder, C. J. Langdin and D. E. Conkilin(Editors), Proceedings of the Second International Conference of 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.
- 岡内正典, 1988. 테트라셀리스 *Tetraselmis tetra-thele* の 大量培養法と餌料價値 Bull. Natl. Res. Inst. Aquaculture, 14 : 1~123.
- 金惠英, 1994. 실내사육에서의 가리비(*Patinopecten yessoensis*) 치패의 먹이효과. 부산수 산대학교 석사학위 논문. pp 15.
- 朴斗元, 1985. 식물성 먹이생물 *Pavlova lutheri*의 성장에 미치는 조도와 온도의 영향. 부산수산대학교 석사학위 논문. pp 41.
- 朴正銀, 1994. 식물성 먹이생물 4종의 최적배양환경. 부산수산대학교 석사학위 논문. pp 24.
- 裴晋晞, 1995. 해산 규조류 7종의 먹이효과 비교. 한국양식학회지, 8(4) : 355~366.