

해양 미세조류의 생화학적 조성 및 항산화성

김세권^{*} · 백호철 · 변희국 · 강옥주^{*} · 김종배^{**}
 부경대학교 화학과, ^{*}동주대학 식품과학계열, ^{**}군산대학교 식품공학과

Biochemical Composition and Antioxidative Activity of Marine Microalgae

Se-Kwon KIM, Ho-Chul BAEK, Hee-Guk BYUN, Ok-Ju KANG^{*}
 and Jong-Bae KIM^{**}

Department of Chemistry, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

^{*}School of Food Science, Dong-Ju College, Pusan 604-080, Korea

^{**}Department of Food Science and Technology, Kunsan National University, Kunsan 573-702, Korea

The biochemical composition and antioxidative activity of marine microalgae were investigated for the effective utilization of marine resources. Two species of marine microalgae, *Nannochloris oculata* (*N. oculata*) of Chlorophyceae and *Phaeodactylum tricorutum* (*P. tricorutum*) of Bacillariophyceae, were selected. Because these species showed the high growth rate and easy to continuous culture. The contents of crude protein, lipid, and carbohydrate were 54.91%, 11.29%, and 10.15%, for *N. oculata* and 38.07%, 13.19%, and 7.13%, for *P. tricorutum*, respectively. Glutamic acid was the highest concentration for both species. Galactose (3,712.02 mg/100 g), fucose (1,966.03 mg/100 g), and glucose (1,814.25 mg/100 g) were the major carbohydrates for *N. oculata*, and glucose (5,295.45 mg/100 g) and mannose (841.34 mg/100 g) were for *P. tricorutum*. K (12,906.86 mg/100 g), Mg (1,039.15 mg/100 g), Ca (882.57 mg/100 g) and Fe (747.20 mg/100 g) were the major minerals for *N. oculata*, and K (11,718.65 mg/100 g), Ca (2,003.32 mg/100 g), Mg (1,570.84 mg/100 g) and Fe (552.58 mg/100 g) were for *P. tricorutum*. In the composition of nucleotides, ADP (4.77 μmol/g) was the highest in *N. oculata* and hypoxanthine (11.74 μmol/g) in *P. tricorutum*. Large amount of linoleic acid (18:2, ω-6) was contained in *N. oculata*. In contrast 16:1 (ω-7) and 20:5 (ω-3) were major fatty acid in *P. tricorutum*. The antioxidative activities of organic solvent extracts of two microalgae were measured by the 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) assay method. The chloroform extract obtained from *P. tricorutum* was identified to be the most effective in DPPH radical scavenging activity.

Key words: Marine microalgae, *Nannochloris oculata*, *Phaeodactylum tricorutum*, Biochemical composition, Antioxidative activity

서 론

미세조류 (microalgae)는 수권생태계에서 단세포로 부유생활을 하는 생물군들로서 남조류, 규조류, 와편모조류, 녹조류, 황갈색편모조류 및 은편모조류 등이 있으며, 지구상에서 전체 광합성의 90%를 담당하는 것으로 추정되는 생태계의 1차 생산자로서 중요한 위치를 차지하고 있다 (오 등, 1998). 또한 광합성에 의해 에너지원이 되는 당질을 생합성하여 해양에서 기초생산을 담당하고 있으며, 먹이사슬에 관여하는 고등 동식물의 생명을 좌우하는 중요한 생물군으로 분류되어 해양생태계에서의 역할은 대단히 중요하다고 할 수 있다 (幹과 川又, 1992).

미세조류의 산업적 이용에 대한 연구는 1940년대 2차 세계대전 중에 독일에서 규조류를 대량 배양하여 식물성 지방과 oil을 생산하기 위하여 본격적으로 시작되었다. 그 후 녹조류인 *Chlorella*와 *Scenedesmus*로부터 지방, 단백질 등을 생산하기 위한 연구가 독일, 미국, 일본 및 이스라엘 등에서 활발하게 이루어졌다 (Cook, 1951; Gummert et al., 1953).

최근에 국내외적으로 미세조류의 생물공학에 관하여 많이 논의되고 있으며, 생명공학의 새로운 개척분야로 인식되고 있다. 조류

중에서 많은 부분을 차지하고 있는 미세조류의 산업적 이용은 대체에너지원 및 식품으로의 이용성 외에도 건강보조식품, 수산양식용 사료, 의약 원료물질, 생화학물질 등으로 그 응용분야가 넓어지고 있다 (오와 이, 1999).

미세조류의 효율적인 이용을 위해서는 영양학적인 평가가 선행되어야 하며, 이와 관련된 연구로서는 건강식품 또는 동물사료원료로 사용하기 위한 단백질 (Brown and Jeffrey, 1992; Fuentes et al., 2000), 식품에서 유화제와 안정제로 사용할 수 있는 탄수화물 (Brown and Jeffrey, 1992; Brown 1991), 그리고 의약품 분야에서 이용이 가능한 불포화 지방산인 arachidonic acid (AA), eicosapentaenoic acid (EPA) 및 docosahexaenoic acid (DHA)에 관한 연구 (Belarbi et al., 2000; Carvalho and Malcata, 2000; Shamsudin, 1992; Viso and Marty, 1993; Volkman et al., 1989)가 보고되어 있다.

식품 및 화장품의 착색제로 이용할 수 있는 색소는 phycocyanin과 phycoerythrin 등의 phycobilin계 색소로 홍조류인 *Cyanobacteria*로부터 쉽게 분리할 수 있으며, phycocyanin, myxoxanthophyll, zeaxanthin 등은 약리작용을 나타내는 물질이 다량 함유되어 있어 건강식품으로 선호되고 있다 (Brown and Jeffrey, 1992).

수산양식용 사료로서 율충 (Rotifer)을 배양하는데 널리 이용되

^{*}Corresponding author: sknkim@mail.pknu.ac.kr

는 미세조류를 보면 해수산은 *Chlorella*, *Nannochloris oculata*, *Tetraselmis* sp. 등이 있으며, 담수산은 *Chlorella vulgaris*가 사용되고 있다 (Moreno et al., 1999). 윤충은 세포벽이 두꺼운 *Chlorella*를 깨어 먹을 수 있는 강한 이빨이 있어, 지질과 단백질 함량이 높은 *Chlorella*는 윤충의 좋은 먹이생물이 된다. 담수산의 *C. vulgaris*는 해수산 *Chlorella* 보다 세포 크기가 크고 성장이 높지만 반대로 polyunsaturated fatty acid (PUFA) 함량이 적어 영양학적 측면에서 해수산 *Chlorella* 보다 못하다. 특히 PUFA 성분이 적어서 *Tetraselmis*로 배양하는 윤충을 자·치어에 공급하기 전에도 해수산 *Chlorella*로 2차 배양하는 경우가 많다 (Fukusho et al., 1984). 그러나 해수산 *Chlorella*의 경우, 30°C 정도의 고온다습할 경우에는 쉽게 폐사가 생겨서 여름철에 대량 배양하기 까다롭다. 따라서 열대나 아열대에서는 배양온도와 염농도의 범위가 넓은 *Tetraselmis*를 배양하는 경우가 많다.

조개류 유생의 먹이생물로는 황색편모조류인 *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri* 등이 단백질 함량과 PUFA 함량이 높아 많이 이용되며 규조류 중에서는 *Thalassiosira psonana*, *Phaeodactylum tricornutum*, *Skeletonema costatum* 등이 가장 널리 이용된다 (Volkman et al., 1989). 또한, *Spirulina*는 대량 배양을 위한 생리·생태적 특성이 많이 연구된 미세조류로서 식품 또는 사료로서 단백질과 기타 필수 영양소원으로 매우 중요하다 (Tadros et al., 1993).

한편, 최근에는 미세조류로부터 생리활성물질의 추출에 대한 관심이 높아지고 있으며, 미세조류나 적조 및 담수에서 수확을 일으키는 *Cyanobacteria*를 대상으로 다양한 toxin의 기능 및 이들의 이용에 관한 연구가 이루어지고 있다 (Daranas et al., 2001; Stautber, 1998).

해양은 지구표면의 약 71%를 차지하고 있으며, 지구상에 존재하는 전체 생물중에서 80% (약 50만종) 이상이 서식하고 있어, 그 생물종의 다양성에 있어서 해양은 무궁무진한 자원의 보고이다. 특히, 미세조류는 종의 다양성과 그 풍부함에도 불구하고 배양의 어려움과 고비용의 생산으로 인해 아직까지 제한적으로 응용되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 새로운 기능성 소재의 개발을 목적으로 비교적 쉽게 배양이 가능한 녹조강인 *Nannochloris oculata* (*N. oculata*)와 규조강인 *Phaeodactylum tricornutum* (*P. tricornutum*) 2종의 해양 미세조류를 선별하여 이들의 생화학적 성분분석과 항산화성을 검토하였다.

재료 및 방법

1. 재 료

본 실험에서 사용된 미세조류는 해양에서 서식하는 녹조식물문 (Chlorophyta) 중 녹조강 (Chlorophyceae)인 *N. oculata*와 황갈편조식물문 (Chrysophyta) 중 규조강 (Bacillariophyceae)인 *P. tricornutum*을 부경대학교 수산과학연구소의 한국 해양 미세조류 은행 (한국과학재단 특성화 연구사업)으로부터 분양받아 동결건조하여 분석시료로 하였다.

당 표준물질 (rhamnose, fucose, ribose, galactose, arabinose, xylose, mannose, glucose), 핵산관련물질 표준물질 (ATP, ADP, AMP, IMP, hypoxanthine, inosine), 지방산 표준물질 및 DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)는 Sigma사 (St. Louis Mo, USA)의 제품을 사용하였다. 그외의 다른 시약은 특급을 사용하였다.

2. 일반성분 분석

AOAC (1990)에 따라 수분은 상압 110°C 가열건조법, 지방은 Soxhlet법, 조단백질은 semi-micro Kjeldahl법 그리고 회분은 건식 회화법으로 측정하였고 탄수화물 정량은 Dubois et al. (1956)의 phenol sulfuric acid법으로 측정하였다.

3. 아미노산 조성분석

미세조류의 구성아미노산 분석은 동결건조한 미세조류 20 mg을 ampoule에 정평한 후, 6 M HCl 2 mL를 가하여 감압 밀봉한 다음 110°C에서 24시간 동안 가수분해하였다. 이 분해물을 여과한 후 증류수를 가하여 감압 건조를 반복하여 HCl을 완전히 제거한 다음 sodium loading buffer (pH 2.2) 25 mL로 정용하였다. 이 용액을 일정량 취하여 아미노산 자동분석기 (Biochrom 20, Pharmacia Biotech, UK)로 분석하였다.

유리 아미노산 분석은 시료 1 g을 정평하여 70% 에탄올 용액 5 mL를 가하여 10분 동안 sonication한 후 원심분리 (13,680×g, 15 min)하여 그 상층액을 감압 건조한 다음 25 mL로 정용하였다. 이 중 10 mL를 취하여 5-sulfosalicylic acid 0.5 g을 첨가한 후 냉암소에서 1시간 방치시킨 다음 원심분리 (13,680×g, 15 min)하여 상층액 5 mL를 취하여 감압 건조한 후 0.2 M lithium citrate loading buffer (pH 2.2)로 2 mL되게 정용하였다. 이 중 일부를 취하여 아미노산 자동분석기로 분석하였다.

4. 무기질 정량분석

무기질 정량은 건식법에 준하여 동결건조한 미세조류 0.2 g을 도가니에 넣고 100°C에서 30분간 예비가열을 한 다음 550°C에서 회화시킨 후, 6 M HCl 용액을 소량 가하여 녹인 다음 0.5 M HNO₃ 용액으로 정용한 후 이 용액 중 일부를 취해서 HP-4500 ICP (Inductively coupled plasma, Hewlett-Packard Co., CA, USA)를 사용하여 분석하였다.

5. 당 조성분석

동결건조한 미세조류 0.5 g에 CH₂Cl₂ : MeOH : H₂O (2:4:1) 용매 70 mL와 DMSO 2 mL를 가한 후 20분 동안 sonication한 다음 원심분리 (9,500×g, 15 min)하여 침전물을 동결건조하였다. 이 동결건조물 100 mg을 cap tube에 정평한 다음 0.5 M H₂SO₄ 5 mL를 가하여 밀봉한 후 100°C에서 4시간 동안 가수분해시켰다. 이 가수분해물을 여과한 다음 BaCO₃로 중화 (pH 5.0~5.2)시킨 후 원심분리 (9,500×g, 15 min)하여 침전물을 제거하고 상층액을 감압 농축한 후 동결건조하였다. 이 동결건조물과 당 표준물질을 사용하여 Blakeney et al. (1983)의 방법에 따라 alditol acetate 유도체 화시켜 gas chromatography (GC, HP 5890 series II, Hewlett-

Packard Co., CA, USA)로 분석하였다.

6. 핵산관련물질 정량분석

핵산관련물질 정량은 Kitada et al. (1983)의 방법에 따라 동결건조한 미세조류 2.5 g에 10% 냉 과염소산 10 mL를 가한 후 10분 동안 sonication한 다음 원심분리 (11,490×g, 15 min)하여 상층액을 모았다. 여기에 잔사를 다시 2회 반복하여 5% 냉 과염소산 5 mL를 가하여 5분 동안 sonication한 후 원심분리 (11,490×g, 15 min)하여 얻은 상층액을 합하였다. 상층액 전량을 5 M KOH로 중화시켜 원심분리 (11,490×g, 15 min)하여 침전물을 제거하고 상층액을 취해 100 mL 정용한 후 HPLC (P-2000, Spectra Physics Co., CA, USA)로 정량하였다.

7. 지방산 조성분석

동결건조한 미세조류 2 g에 CHCl₃ : MeOH (2:1) 용매 30 mL를 가한 다음 10분 동안 sonication한 후 증류수 10 mL를 가하여 잘 섞은 다음 원심분리 (9,500×g, 15 min)하여 상층액은 모으고 잔사는 동일한 방법으로 2회 더 실시하여 상층액을 모았다. 상층액 전량에 Na₂SO₄를 넣어 탈수 여과한 다음 낮은 온도에서 진공 농축하여 얻은 지용성 획분에 Morrison and Smith (1964)의 방법에 따라 BF₃-methanol 1.5 mL를 가하여 밀봉한 후에 sand bath 95°C에서 60분간 반응시켜 methyl ester 유도체화시킨 다음 hexane 1 mL를 가하여 잘 섞은 다음 상층액을 취해 GC로 분석하였다.

8. 항산화성 측정

동결건조한 미세조류 *N. oculata*와 *P. tricornutum* 50 g에 3배 가량의 methanol을 가하여 80°C에서 2시간 동안 환류 냉각하면서 2회 추출한 다음 여과한 후 감압 건조하여 methanol 추출물로 하였다. Methanol 추출물을 10% methanol로 부유시킨 후 지용성 획분인 hexane, chloroform, ethylacetate 및 butanol 층을 각각 감압 건조시켰다.

항산화성은 Hatano et al. (1988)의 radical scavenging activity (RSA) 방법을 약간 변경하여 측정하였다. 각 획분별로 일정한 농도가 되게 methanol 2 mL에 녹이고, 이를 1.5×10⁻⁴ M DPPH/methanol 용액 0.5 mL와 혼합한 다음 실온에서 30분간 방치한 후, 517 nm에서 흡광도를 측정하여 다음 식을 이용하여 RSA 값을 구하였다. 대조구는 시료용액 대신에 2 mL의 methanol을 넣어 시료용액과 동일한 방법으로 흡광도를 측정하였다. RSA 값은 3회 실시하여 평균하였다.

$$RSA (\%) = \frac{\text{대조구의 흡광도} - \text{시료의 흡광도}}{\text{대조구의 흡광도}} \times 100$$

결과 및 고찰

1. 일반성분

동결건조한 해양 미세조류 *N. oculata*와 *P. tricornutum*의 일반성분을 분석한 결과를 Table 1에 나타내었다. *N. oculata*와 *P. tri-*

Table 1. Proximate compositions of *N. oculata* and *P. tricornutum* (% , dry weight)

	<i>N. oculata</i>	<i>P. tricornutum</i>
Moisture	2.12	12.28
Crude protein	54.91	38.07
Lipid	11.29	13.19
Ash	21.53	29.33
Carbohydrate	10.15	7.13

*cornutum*의 조단백질 및 회분의 함량은 각각 54.91%, 38.07% 및 21.53%, 29.33%였으며, 지방 및 탄수화물의 함량은 각각 11.29%, 13.19% 및 10.15%, 7.13%였다. 조단백질 및 회분의 함량은 *N. oculata*가 *P. tricornutum*보다 다소 높았으나, 지방 및 탄수화물의 함량은 거의 큰 차이가 없었다.

Brown and Jeffrey (1992)는 담수산 녹조류인 Chlorophyceae와 해수산 녹조류인 Chlorophyceae 및 Prasinophyceae의 일반성분을 측정된 결과, 단백질 함량은 건조중량으로 15.2~25.6%, 탄수화물 10.8~16.7%, 지방 8.5~18.4% 범위였다고 보고하였다. 또한, Brown (1991)은 Bacillariophyceae의 단백질 함량은 건조중량으로 30%, 탄수화물 8.4% 그리고 지방은 14%로 보고한 바 있다.

본 연구 결과에서 *N. oculata*의 탄수화물과 지방 함량은 Brown and Jeffrey (1992) 보고한 것과 일치하는 경향을 보였지만 단백질 함량은 2배 정도 높았다.

2. 아미노산 조성

N. oculata 및 *P. tricornutum*의 구성아미노산의 조성을 분석한 결과는 Table 2에 나타내었다. *N. oculata*의 구성아미노산의 조성은 glutamic acid (15.40%), proline (9.90%), leucine (9.07%), alanine (8.82%), aspartic acid (7.73%) 및 lysine (7.09%)의 함량이 높은 반면, cystine (0.75%), serine (1.49%), methionine (1.57%), histidine (2.24%) 및 tyrosine (2.88%)의 함량은 낮았다. 한편 *P. tricornutum*의 아미노산 조성은 glutamic acid (18.24%), aspartic acid (9.51%), alanine (9.27%) 및 leucine (8.39%)의 함량이 높았으며, cystine (1.10%), serine (1.76%), histidine (1.80%), tyrosine (2.35%) 및 methionine (2.48%)의 함량은 낮았다. 구성 아미노산 함량은 두 종 사이에 큰 차이가 없었으며, 필수아미노산의 함량은 두 종 모두 45% 이상이였다.

단백질원으로서 사용하고자 하는 물질의 영양성 평가는 그것의 구성 아미노산 조성 및 함량과 관련이 있으며, 미세조류를 단백질원으로서의 활용하는데 필수 아미노산의 함량이 높을수록 효율적이다 (Webb and Chu, 1983). 따라서 *N. oculata*와 *P. tricornutum*의 구성아미노산 및 필수아미노산 함량으로 보아 분석된 시료의 아미노산 조성은 양적으로나 질적으로 우수하여 해양 미세조류 중 영양성 단백질원으로서 이용되기에 적합한 종으로 생각되며, 또한 생물자원으로서 이용하려는 시도는 바람직한 것으로 생각된다.

Brown and Jeffrey (1992)는 녹조류인 Chlorophyceae와 Prasinophyceae의 아미노산 조성을 분석한 결과, glutamic acid 및 aspartic acid의 함량이 7.1~12.4% 범위로 가장 높았으나 cystine,

Table 2. Amino acid compositions of *N. oculata* and *P. tricornutum*
% (AA/100 g-AA)¹⁾

Amino acids	<i>N. oculata</i>	<i>P. tricornutum</i>
Aspartic acid	7.73	9.51
Threonine*	3.17	3.39
Serine	1.49	1.76
Glutamic acid	15.40	18.24
Proline	9.90	5.44
Glycine	6.74	6.94
Alanine	8.82	9.27
Cystine	0.75	1.10
Valine*	6.55	6.34
Methionine*	2.11	2.48
Isoleucine*	4.83	5.28
Leucine*	9.07	8.39
Tyrosine	2.88	2.35
Phenylalanine*	5.69	5.51
Histidine*	2.24	1.80
Lysine*	7.09	5.37
Arginine*	5.56	6.85
Essential amino acid	46.31	45.41
Total amino acid	100.00	100.00

¹⁾ AA, Amino acid.

*Essential amino acid.

methionine, histidine 및 hydroxyproline 등의 함량은 대부분 3.9% 이하로 매우 낮았다고 보고하였다. 또한 미세조류 *Isochrysis* sp., *Pavlova lutheri* 및 *Nannochloropsis oculata*의 아미노산 조성은 모두 glutamic acid (10.0~11.9%)의 함량이 가장 높았으며 (Brown et al., 1993), *Bacillariophyceae*의 아미노산 조성은 glutamic acid (11.2%), aspartic acid (8.6%), leucine (7.7%) 및 alanine (7.2%)의 함량이 높고, cystine (0.38%), histidine (1.7%) 및 methionine (1.9%)의 함량은 낮았다 (Brown, 1991).

본 연구 결과에서와 같이 *N. oculata*와 *P. tricornutum*의 아미노산 함량은 Brown and Jeffery (1992), 그리고 Brown (1991)이 보고한 결과와 거의 유사하였다. 유리아미노산은 생체 활성물질의 구성 성분으로 중요할 뿐만 아니라 그 자체가 갖는 고유한 맛을 식품에 부여하기도 한다. *N. oculata*와 *P. tricornutum*의 유리아미노산 조성은 Table 3에 나타내었다. *N. oculata*의 유리아미노산은 proline이 35.54%로 가장 많이 함유되어 있었으며, 다음으로 glutamic acid (25.15%), alanine (13.43%) 순이었다. 그리고 *P. tricornutum*의 경우는 glutamic acid (24.86%), alanine (14.58%), arginine (9.45%) 순이었다. 두 종 미세조류의 유리아미노산 조성의 함량은 큰 차이가 없었지만 proline의 경우, *N. oculata*가 약 30% 정도 높았으며, arginine의 함량은 *P. tricornutum*이 9% 정도 높았다.

3. 당 조성

*N. oculata*와 *P. tricornutum*의 당 조성을 분석한 결과는 Table 4에 나타내었다. *N. oculata*의 당 조성은 galactose (3,712.02 mg/100 g), fucose (1,966.03 mg/100 g), glucose (1,814.25 mg/100 g) 및

Table 3. Free amino acid compositions of *N. oculata* and *P. tricornutum*
% (AA/100 g-AA)¹⁾

Amino acids	<i>N. oculata</i>	<i>P. tricornutum</i>
Phosphoserine	0.18	0.44
Taurine	0.29	2.78
Phosphoethanolamine	0.28	0.83
Aspartic acid	1.88	1.29
Threonine	1.18	3.03
Serine	0.93	0.70
Asparagine	2.18	1.48
Glutamic acid	25.15	24.86
Sarcosine	—	—
α -Aminoapicid acid	—	—
Glycine	1.22	3.51
Alanine	13.43	14.58
Citulline	0.20	2.70
α -Aminobutyric acid	0.19	0.38
Valine	1.06	4.58
Cystine	—	—
Methionine	0.56	2.28
Cystathionine	—	—
Isoleucine	0.70	3.68
Leucine	1.03	5.00
Tyrosine	0.50	0.80
β -Alanine	0.52	—
Phenylalanine	0.61	2.94
β -Aminoisobutyric acid	—	—
γ -Aminobutyric acid	4.24	2.55
5-Hydroxylysine	4.39	—
Ornithine	1.67	2.00
Lysine	1.42	1.76
1-Methylhistidine	—	—
Histidine	0.26	0.82
3-Methylhistidine	—	—
Anserine	—	—
Carnosine	—	—
Arginine	0.38	9.45
Hydroxyproline	—	1.66
Proline	35.54	5.91
Total	100.00	100.00

¹⁾ AA, Amino acid.

Table 4. Sugar compositions of *N. oculata* and *P. tricornutum*
(mg/100 g)

Sugars	<i>N. oculata</i>	<i>P. tricornutum</i>
Rhamnose	97.79 (0.96) ¹⁾	274.51 (3.85)
Fucose	1,966.03 (19.37)	256.68 (3.60)
Ribose	758.91 (7.48)	201.78 (2.83)
Arabinose	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
Xylose	212.90 (2.10)	260.25 (3.65)
Mannose	1,588.10 (15.65)	841.34 (11.80)
Glucose	1,814.25 (17.87)	5,295.45 (74.27)
Galactose	3,712.02 (36.57)	0.00 (0.00)

¹⁾ % (sugar×100/total sugars).

mannose (1,588.10 mg/100 g)의 함량이 높은 반면 rhamnose, ribose 및 xylose의 함량은 낮았다. 그리고 *P. tricornutum*의 경우는 glucose (5,295.45 mg/100 g) 및 mannose (814.34 mg/100 g)의 함량이 전체 당의 86.07%를 차지하였으며, xylose, ribose, fucose 및 rhamnose의 함량은 상대적으로 낮았다. *N. oculata*와 *P. tricornutum*은 각각 galactose와 glucose의 함량이 가장 높았으며, 두 종 모두 arabinose는 함유되어 있지 않았다. 특히 *N. oculata*에서는 galactose의 함량이 높았으나 *P. tricornutum*에는 함유되어 있지 않은 것이 특징적이었다. 이상의 결과에서 보면, 두 종 미세조류의 당 조성은 매우 상이한 경향을 보였다.

Parsons et al. (1961)은 당의 영양학적 가치는 glucose의 함량에 따른다고 보고한 바 있다. Brown and Jeffrey (1992)는 glucose가 당의 가장 기본이 되는 것으로서 대부분의 미세조류에서 약 19~88% 범위내로 함유되어 있으며, fucose는 Prasinophyceae보다 Chlorophyceae에 더 많이 함유되어 있다고 보고한 바 있으며, Chlorophyceae 종은 glucose와 galactose의 함량이 각각 19.3~69.2%와 8.7~20.4% 범위였다고 보고한 바 있다.

Whyte (1987)와 Brown (1991)은 담녹조강에서는 galactose의 함량이 높다고 보고한 바 있다. 동일한 종의 미세조류라 할지라도 galactose의 함량 차이가 있는데, 이것은 종의 특성 및 배양조건과 관련이 있으며 (Brown and Jeffrey, 1992), glucose의 경우도 배양 조건에 따라 함량의 차이가 나는 것으로 밝혀졌다 (Whyte, 1987). 본 연구결과와 Brown and Jeffrey (1992), 그리고 Brown (1991) 등이 보고한 결과와 당 함량의 차이가 나는 것은 배양조건이 다르기 때문이라 생각된다.

해양동물이 소화하는 다당류는 다당류의 조성과 해양동물의 소화효소에 의존하기 때문에 미세조류의 다당류의 차이는 영양학적 의미에서 매우 중요하다 (Kristensen, 1972; Onishi et al., 1985). Glucose가 많은 다당류를 함유하고 있는 대부분의 미세조류는 연체동물과 갑각류의 소화기관에 존재하는 amylase에 의해 효과적으로 분해된다 (Kristensen, 1972). 다당류의 조성은 종에 따라 다양하지만 대부분의 미세조류에서 glucose의 함량이 풍부하게 함유되어 있는데 (Brown and Jeffrey, 1992), 본 연구에서도 *P. tricornutum*의 glucose 함량이 74.27%로 매우 높아 이에 대한 활용이 기대된다.

4. 무기질 정량

무기질은 열량을 내지 않지만 효소의 보조인자 역할을 하며, 인지 방질, 인단백질, 호르몬, 헤모글로빈, 비타민, 아미노산, 효소 및 조효소 등의 유기화합물의 구성 성분이기도 하며, 비타민과 같이 생명에 관계되는 많은 생리작용에 관여하므로 생존에 절대적으로 필요한 영양소이다. *N. oculata* 및 *P. tricornutum*의 무기질 정량분석 결과를 Table 5에 나타내었다. *N. oculata*는 칼륨, 마그네슘, 칼슘 및 철의 함량이 각각 12906.86, 1039.15, 882.57 및 747.20 mg/100 g였으며, *P. tricornutum*은 칼륨, 칼슘, 마그네슘 및 철 함량이 각각 11718.65, 2003.32, 1570.84 및 552.58 mg/100 g이었다. 이 외에 알루미늄, 망간, 구리 및 아연이 함유되어 있었다. 두 종 모두 칼륨의 함량이 가장 높았으며, 필수 무기질 원소인 철분의 함량도 500 mg/g

Table 5. Mineral compositions of *N. oculata* and *P. tricornutum* (mg/100 g)

Minerals	<i>N. oculata</i>	<i>P. tricornutum</i>
Mg	1,039.15	1,570.84
Al	198.22	163.98
K	12,906.86	11,718.65
Ca	882.57	2,003.32
Mn	11.27	18.34
Fe	747.20	552.58
Cu	0.97	-
Zn	11.95	2.27

이상으로 높았다. 칼슘은 *P. tricornutum*의 함량이 *N. oculata*에 비해 약 2.5배 정도 높았다.

Shimma et al. (1984)은 부착성 미세조류의 무기질 성분을 분석한 결과, 칼륨, 칼슘, 마그네슘의 함량이 각각 540~730, 450~520, 370~420 mg/100 g 범위였으며, 구리, 아연, 망간은 3.9~5.1, 11.0~20.0, 110~170 mg/100 g이 함유되어 있다고 보고하였다. 본 연구 결과에서는 대체로 무기질 성분의 함량이 높았으며, 그 성분 중에서 주요성분인 칼슘, 마그네슘 그리고 철의 함량이 높은 것이 특징이다.

5. 핵산관련물질 정량

핵산관련물질 상호간의 생성 및 분해과정에서 ATP가 분해되어 생성되는 IMP 등과 같은 핵산관련물질이 생성되는 것으로 알려져 있으며 (Bendall and Davey, 1957). ATP 분해경로는 ATP→ADP→AMP→IMP→inosine→hypoxanthine으로 알려져 있다 (Terasaki et al., 1965).

N. oculata 및 *P. tricornutum*의 핵산관련물질 정량분석 결과는 Table 6에 나타내었다. *N. oculata*는 핵산관련물질 중에서 ADP의 함량이 4.77 $\mu\text{mol/g}$ 으로서 가장 높았으며, 그외 IMP, hypoxanthine, ATP 순이었다. *P. tricornutum*는 hypoxanthine의 함량이 11.74 $\mu\text{mol/g}$ 로서 가장 높았고, 그 다음으로 ADP, inosine, ATP, IMP 순이었다. *N. oculata*의 경우 IMP의 함량이 2.71 $\mu\text{mol/g}$ 으로 비교적 많이 함유되어 있는 편이었다. IMP는 열에 비교적 안정하고 (藤井, 1969), nucleotide 중 맛 성분으로 알려져 있으며 (Kuninaka, 1960; Yamaguchi et al., 1968), 특히 아미노산 중 glutamic acid와 공존하면 상승작용에 의하여 강한 감칠맛을 나타내는 것으로 알려져 있다. 그리고 AMP도 그 자체는 거의 감칠맛을 나타내지 않지만 glutamic acid와 공존할 때 상승효과를 나타낸다. *N. oculata*의 경우, 아미노산 조성 분석 결과에서도 상당히 많은 양의 glutamic acid를 함유하고 있는 것으로 보아 맛에 있어서 높은 상승효과로 인하여 우수한 정미성을 나타낼 것으로 기대되어 이에 대한 활용이 기대된다.

6. 지방산 조성

N. oculata 및 *P. tricornutum*의 지방산 조성은 Table 7에 나타내었다. *N. oculata*의 C₁₁~C₂₄ 사슬의 포화 지방산, C₁₄~C₂₂ 사슬의 단일 불포화 지방산 그리고 C₁₈~C₂₂ 사슬의 다가불포화 지방

Table 6. The amounts of nucleotides and their derivatives in *N. oculata* and *P. tricornutum* ($\mu\text{mol/g}$)

Nucleotides	<i>N. oculata</i>	<i>P. tricornutum</i>
ATP	1.33	0.37
ADP	4.77	2.49
AMP	1.18	—
IMP	2.71	0.21
Hypoxanthine	2.51	11.74
Inosine	—	1.38
Total	12.50	16.19

Table 7. Fatty acid compositions of *N. oculata* and *P. tricornutum* (Area %)

Fatty acids	<i>N. oculata</i>	<i>P. tricornutum</i>
11:0	1.31	0.03
12:0	0.12	0.07
13:0	0.05	0.43
14:0	7.14	11.60
15:0	0.57	1.26
16:0	53.01	29.30
17:0	0.42	0.12
18:0	1.39	1.24
20:0	—	0.09
22:0	—	—
23:0	0.20	—
24:0	2.20	1.38
14:1 (ω -5)	0.89	0.16
15:1 (ω -5)	2.17	0.89
16:1 (ω -7)	4.61	31.18
17:1 (ω -7)	0.67	4.36
18:1 (ω -9)	3.54	0.28
20:1 (ω -9)	0.68	0.16
22:1 (ω -9)	—	—
24:1 (ω -5)	—	0.32
18:2 (ω -6)	17.10	1.61
18:3 (ω -3)	—	0.09
18:3 (ω -6)	—	0.39
20:2 (ω -6)	0.15	—
20:3 (ω -6)	—	—
20:3 (ω -3)	—	0.27
20:4 (ω -6)	—	0.16
20:5 (ω -3)	3.29	12.91
22:2 (ω -6)	—	—
22:6 (ω -3)	0.48	1.70
Saturated acids	66.41	45.52
Monoenoic acids	12.56	37.35
Polyenoic acids	21.02	17.13
Total	100	100

산의 함량은 각각 66.41%, 12.56% 및 21.03%였으며, *P. tricornutum*의 경우는 각각 45.52%, 37.35%, 및 17.13%였다. *N. oculata*는 포화 지방산의 함량이 불포화 지방산 보다 높았으며, *P. tricornutum*은 포화 지방산 보다 불포화 지방산의 함량이 약간 높았다. *N.*

*oculata*는 필수지방산인 18:2 (ω -6) 함량이 17.10%로 *P. tricornutum*의 함량 1.61% 보다 훨씬 높았지만, 반면 생리 기능적으로 중요한 다가불포화 지방산 중 EPA인 20:5 (ω -3)와 DHA인 22:6 (ω -3)의 함량이 각각 3.29%, 0.48%로 *P. tricornutum*의 12.91%, 1.70% 보다 함량이 낮았다. 하지만 prostaglandin의 전구체로 인체 내에서 생합성 되지 않는 필수지방산인 18:2 (ω -6)와 18:3 (ω -3)의 함량은 각각 1.61%, 0.09%로 낮았다.

Viso and Marty (1993)은 필수지방산의 함량이 각각 4.1%, 2.8%로 보고한 바 있다. 이는 본 연구 결과에서의 함량보다 다소 높았지만 큰 차이는 없었다. *N. oculata*는 20:5 (ω -3)의 함량이 3.29%이고 필수지방산인 18:2 (ω -6)와 18:3 (ω -3)의 함량도 각각 2.06%와 18.10%로 이들의 활용이 기대된다고 보고한 바 있다.

미세조류를 사료원으로서 이용하는데 있어 지방산 조성은 배양 유기물의 생존과 성장에 매우 중요한 역할을 한다. 다가불포화 지방산인 ω -3와 ω -6의 비율은 배양 유기물에 있어 영양학적 평가의 지표로 사용되어 왔다 (Watanabe et al., 1983).

본 연구에서 *N. oculata*의 다가불포화 지방산인 ω -3 및 ω -6의 함량은 3.77% 및 17.25%였으며, *P. tricornutum*는 각각 14.97% 및 2.16%였다. Albentosa et al. (1996)은 *P. tricornutum*의 다가불포화 지방산인 ω -3 및 ω -6의 함량이 12.88% 및 4.19%이었다고 보고한 바 있다.

7. 미세조류의 항산화성

*N. oculata*와 *P. tricornutum*의 methanol 획분과 계통분획에 의한 획분들을 DPPH radical 소거능 방법에 의해 구한 항산화성은 IC₅₀ 값으로 계산하여 Table 8에 나타내었다. *N. oculata*와 *P. tricornutum* 2종 모두 지용성 획분인 chloroform 획분에서 각각 84 $\mu\text{g/mL}$ 와 50 $\mu\text{g/mL}$ 로 다른 획분에 비해 DPPH radical 소거능이 높았다. 미세조류를 이용한 항산화성에 관한 연구는 거의 찾아볼 수 없지만 미세조류로부터 carotenoid 및 vitamine이 분리동정 (Del Campo et al., 2000; Brown et al., 1999)됨으로서 이들 물질이 항산화성을 갖는다는 연구보고 (Motensen et al., 1997)에 의해 간접

Table 8. Comparison of antioxidative activities between extracts of *N. oculata* and *P. tricornutum*

Samples	Fraction	IC ₅₀ ¹⁾ ($\mu\text{g/mL}$)
<i>N. oculata</i>	Methanol	286
	Hexane	147
	Chloroform	84
	Ethylacetate	236
	Buthanol	>400
	Water	>400
<i>P. tricornutum</i>	Methanol	210
	Hexane	148
	Chloroform	50
	Ethylacetate	104
	Buthanol	217
	Water	>400

¹⁾ Amount required for 50% reduction of DPPH after 30 min. Values are means of three experiments.

적으로 항산화성을 확인할 수 있다. Choi et al. (1993)은 해조류 18종의 methanol 추출물이 갖는 DPPH radical 소거능을 측정 한 결과, 대부분 480 µg/mL 이상이였으나, *Ecklonia stolonifera*와 *Symphycoladia latiuscula*는 각각 68.8 µg/mL 및 54.2 µg/mL였다고 보고하였다. Le Tutour et al. (1998)은 5종의 갈조류 추출물의 항산화성을 vitamine E와의 상승효과를 검토한 결과, 모든 종에서 13~45% 범위 내에서 상승작용이 있는 것으로 확인하였다. Yan et al. (1999)은 갈조류의 유기용매 추출액의 DPPH radical 소거능을 측정한 결과, *Hijikia fusiformis*가 가장 높은 활성을 나타내었으며, 그 추출액으로부터 분리제한 항산화성물질은 fucoxanthin임을 동정하였다.

본 연구에 사용된 두 종의 미세조류 추출물에서 DPPH radical 소거능이 가장 높은 물질은 수용성이 아닌 지용성 물질임을 알 수 있었고, 가장 활성이 좋은 *P. tricornutum*의 chloroform 희분에서 항산화성이 확인되어 앞으로 물질규명에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 본다.

요 약

해양 미세조류는 해양의 기초생산은 물론 1차 대사산물인 단백질, 지질 및 당질 뿐만 아니라 2차 대사산물인 생리활성물질을 생산하고 있으며, 또한 그 종류도 매우 다양하다. 이러한 해양 미세조류의 효율적인 이용을 목적으로 비교적 성장이 빠르고 배양이 쉬운 녹조식물문 중 녹조강에 속하는 *N. oculata*와 황갈편조식물문 중 규조강에 속하는 *P. tricornutum*을 선정하여 생화학적 성분 및 항산화성을 검토하였다.

*N. oculata*와 *P. tricornutum*의 단백질, 지방, 탄수화물의 함량은 각각 54.91%, 11.29%, 10.15%와 38.07%, 13.19%, 7.13%이었다. *N. oculata*의 무기질 함량은 칼륨, 마그네슘 및 칼슘이 각각 12,906.86, 1,039.15 및 882.57 mg/100 g이었으며, *P. tricornutum*의 경우는 각각 11,718.65, 1,570.84 및 2,003.32 mg/100 g이었다. 두 종 모두 필수 무기질 원소인 철분의 함량도 500 mg/g 이상 함유되어 있었다. 이들 두 종의 주요 구성아미노산 조성은 glutamic acid, proline 및 aspartic acid이었으며, 필수아미노산의 함량은 모두 45% 이상이 었다. 그리고 *N. oculata* 및 *P. tricornutum*의 주요 유리아미노산 조성은 각각 proline (35.54%) 및 glutamic acid (24.86%)이었다. 특히 *P. tricornutum*는 성인병에 유효한 생리기능성 아미노산으로 밝혀진 taurine이 2.78% 함유되어 있었다. *N. oculata*의 당 조성은 galactose, fucose 및 glucose이 전체 당의 73.81%이었으며, *P. tricornutum*의 경우는 glucose 및 mannose가 86.07%를 차지하였다. *N. oculata*는 핵산관련물질 중에서 ADP의 함량이 4.77 µmol/g으로 가장 높았으며, *P. tricornutum*의 경우는 hypoxanthine이 11.74 µmol/g으로 가장 높았다. 특히 *N. oculata*의 경우는 맛 성분으로 알려진 IMP의 함량이 2.71 µmol/g으로 비교적 많이 함유되어 있었다. *N. oculata*의 포화, 단일불포화 및 다가불포화 지방산의 함량은 각각 66.41%, 12.56% 및 21.02%이었으며, *P. tricornutum*는 각각 45.52%, 37.35% 및 17.13%이었다. *N. oculata*의 필수지방산 함량은 17.10%로 *P. tricornutum*의 0.91%보다 훨씬 높았으나

EPA 및 DHA 함량은 각각 3.29% 및 0.48%로 *P. tricornutum*의 12.91% 및 1.70% 보다 낮았다. 두 종의 미세조류 추출물의 DPPH radical 소거능으로 측정된 항산화성은 *P. tricornutum*의 chloroform 희분에서 가장 높게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 1996년도 한국학술진흥재단에서 시행한 대학부설 연구소과제 (관리번호, 1996-005-H0337) 수행에 의한 연구결과이며, 연구비를 지원해 준 한국학술진흥재단에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Albentosa, M., U. Labarta, M.J. Fernandez-Reiriz and A. Perez-Camacho. 1996. Fatty acid composition of *Ruditapes decussatus* spat fed on different microalgae diets. *Comp. Biochem. Physiol.*, 113A, 113~119.
- AOAC. 1990. Official Method of Analysis. 15th edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- Belarbi, E.H., E. Molina and Y. Chisti. 2000. A process for high yield and scaleable recovery of high purity eicosapentaenoic acid esters from microalgae and fish oil. *Process Biochemistry*, 35, 951~969.
- Bendall, J.R. and C.L. Davey. 1957. Ammonia liberation during inosine nucleotide of rabbit muscle. *Biochem. Biophys. Acta.*, 26, 93~98.
- Blakeney, A.B., P.J. Harris, P.J. Henry, R.J. Henry and B.A. Stone. 1983. A simple and rapid preparation of alditol acetates for monosaccharide analysis. *Carbohydrate Research*, 113, 291~299.
- 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. Jeffrey. 1992. Biochemical composition of microalgae from the green algal classes Chlorophyceae and Prasinophyceae. 1. Amino acids, sugars and pigments. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 161, 91~113.
- Brown, M.R., C.D. Garland, S.W. Jeffrey, J.D. Jameson and J.M. Leroi. 1993. The gross and amino acid compositions of batch and semi-continuous cultures of *Isochrysis* sp. (clone TISO), *Pavlova lutheri* and *Nannochloropsis oculata*. *J. App. Phycol.*, 5, 285~296.
- Brown, M.R., M. Mular, I. Miller, C. Farmer and C. Trenerry. 1999. The vitamin content of microalgae used in aquaculture. *J. Applied Phycology*, 11, 247~255.
- Carvalho, A.P. and F.X. Malcata. 2000. Effect of culture media on production of polyunsaturated fatty acids by *Pavlova lutheri*. *Cryptogamie Algol.*, 21, 59~73.
- Choi, J.S., J.H. Lee, H.J. Park, H.G. Kim, H.S. Young and S.I. Mun. 1993. Screening for antioxidant activity of plants and marine algae and its active principles from *Prunus davidiana*. *Kor. J. Pharmacogn.*, 24, 299~303.
- Cook, P.M. 1951. Chemical engineering problems in large scale culture of algae. *Ind. Eng. Chem.*, 43, 2385~2389.
- Daranas, A.H., M. Norte and J.J. Fernandez. 2001. Toxic marine microalgae, *Toxicon*, 39, 1101~1132.
- Del Campo, J.A., J. Moreno, H. Rodriguez, M.A. Vargas, J. Rivas and M.G. Guerrero. 2000. Carotenoid content of chlorophycean micro-

- algae: factors determining lutein accumulation in *Muriellopsis* sp. (Chlorophyta). *J. Biotechnology*, 76, 51~59.
- Dubois, N., K.A. Gillies, J.K. Hamilton, P.A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric method for the determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28, 350~356.
- Fuentes, M.M.R., G.G.A. Fernandez, J.A.S. Perez and J.L.G. Guerrero. 2000. Biomass nutrient profiles of the microalga *Porphyridium cruentum*. *Food Chem.*, 70, 345~353.
- Fukusho, K., M. Okauchi, S. Nuraini, A. Tsujigado and T. Watanabe. 1984. Food value of a rotifer *Brachionus plicatilis*, cultured with *Tetraselmis tetrathele* for larvae of red seabream *Pagrus major*. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, 50, 1439~1444.
- Gummert, F., M.E. Meffert and H. Stratmann. 1953. Non-sterile large-scale culture of chlorella in greenhouse and open air. In *Algal Culture from Laboratory to Pilot Plant*, J.S. Burlew, Ed., Carnegie Institution of Washington Publication, Washington DC, pp. 166~176.
- Hatano, T., H. Kagawa and T. Okawa. 1988. Two new flavonoids and other constituents in licorice wet: their relative astringency and radical scavenging effect. *Chem. Pharm. Bull.*, 36, 2090~2097.
- Kitada, Y., M. Sasaki, K. Tanigawa, Y. Naoi, T. Fukuda, Y. Katoh and I. Okamoto. 1983. Analysis of ATP-related compounds in fish by reversed phase liquid chromatography and investigation of freshness of commercial fish. *J. Food. Hyg. Soc. Japan*, 24, 225~229.
- Kristensen, J.H. 1972. Carbohydrases of some marine invertebrates with notes on their food and on the natural occurrence of the carbohydrases studied. *Mar. Biol.*, 14, 130~142.
- Kuninaka, A. 1960. Studies on tastes of ribonucleic acid derivatives. *J. Agr. Chem. Soc. Sci. Fish.*, 26, 489~492.
- Le Tutour, B., F. Benslimane, M.P. Gouleau, J.P. Gouyguo, B. Saadan and F. Quemeneur. 1998. Antioxidant and pro-oxidant activities of the brown algae, *Laminaria digitata*, *Himantalia elongata*, *Fucus vesiculosus*, *Fucus serratus* and *Ascophyllum nodosum*. *J. Applied Phycology*, 10, 121~129.
- Moreno, G.I., L.M. Lubian and A.M.V.M. Soares. 1999. *In vitro* populations of rotifer *Brachionus plicatilis*. Muller demonstrate inhibition when fed with copper-preaccumulating microalgae. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 44, 220~225.
- Morrison, W.R. and L.M. Smith. 1964. Preparation of fatty acid methyl esters and dimethyl acetate from lipids with boron trifluoride-methanol. *J. Lipid Res.*, 5, 600~608.
- Motensen, A., L.H. Skibsted, J. Sampson, C. Rice-Evans and S.A. Everett. 1997. Comparative mechanisms and rates of free radical scavenging by carotenoid antioxidants. *FEBS Letters*, 418, 91~97.
- Onishi, T., M. Suzuki and R. Kikuchi. 1985. The distribution of polysaccharide hydrolase activity in gastropods and bivalves. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, 51, 301~308.
- Parsons, T.R., K. Stephen K. and J.D.H. Strickland. 1961. On the chemical composition of eleven species of marine phytoplankters. *T. Fish. Res. Board Can.*, 18, 1001~1016.
- Shamsudin, L. 1992. Lipid and fatty acid composition of microalgae used in Malaysian aquaculture as live food for the early stage of penaeid larvae. *J. Appl. Physicol.*, 4, 371~378.
- Shimma, Y., H. Tanaka, Y. Huruta, H. Shimma and K. Ikeda. 1984. Protein, carotenoid, and mineral contents and fatty acids composition of the sessile algae from Chikuma river, *Bull. Japan Soc. Sci.* 50, 1223~1227.
- Stauber, J.L. 1998. Toxicity of chlorate to marine microalgae. *Aquatic Toxicology*, 41, 213~227.
- Terasaki, M., E. Fujita and K. Ishii. 1965. Studies on the flavor of meats. Part 1. Formation and degradation of inosinic acids in meats. *Agric. Biol. Chem.*, 29, 208~214.
- Viso, A.C. and J.C. Marty. 1993. Fatty acids from 28 marine microalgae. *Phytochemistry*, 34, 1521~1533.
- 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.
- Watanabe, T., C. Kitajima and S. Jujita. 1983. Nutrition value of live organisms used in Japan for mass propagation of fish: A review. *Aquaculture*, 34, 115~143.
- Webb, K.L. and F.E. Chu. 1983. Phytoplankton as a food source for bivalve larvae. In *Proceedings of the 2nd International Conference, Aquaculture Nutrition*, No. 2, G.D. Pruder, Ed., World Mariculture Society, Spec. Publ., Louisiana State University, Louisiana, USA, 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.
- Yamaguchi, S., T. Yoshikawa, S. Ikeda and T. Ninomiya. 1968. The synergistic taste effect of monosodium glutamate and disodium 5'-guanylate. *Nippon Nogei Kagaku Kaishi.*, 42, 378~381.
- Yan, X., Y. Chuda, M. Suzuki and T. Nagata. 1999. Fucoxanthin as the major antioxidant in *Hijikia fusiformis*, a common edible seaweed. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 63, 605~607.
- 幹渉, 川又 睦. 1992. 微細藻類の生化学資源としての利用. 微細藻類の利用水産学シリーズ 91 (山口勝己編), 東京, pp. 54~63.
- 藤井 豊. 1969. 呈味核酸關聯物質の變化とその防止. *New Food Industry*, 11, 13~22.
- 오희목, 이석준, 김정석. 1998. 미세조류를 이용한 생물공학산업의 현황과 전망. *Proceedings 한국해양미세조류은행의 현황과 전망, 한국해양미세조류은행 부경대학교 수산과학연구소*, pp. 49~65.
- 오희목, 이석준. 1999. 미세조류로부터 유용물질 생산의 현황 및 전망. *한국산업미생물학회소식지*, 12, 30~35.

2001년 3월 31일 접수

2001년 5월 7일 수리