

## 배양 조건에 따른 *Spirulina platensis*의 성장 및 phycocyanin 함량 변화

주동식<sup>1</sup> · 정충국 · 이창호\* · 조순영  
 강릉대학교 동해안해양생물자원연구센터, \*강릉대학교 생물학과

### Content of Phycocyanins and Growth of *Spirulina platensis* with Culture Conditions

Dong Sik JOO, Chung Kuk JUNG, Chang Ho LEE\*  
 and Soon Yeong CHO

East Coastal Marine Bioresources Research Center, Kangnung National University, Kangnung 210-702, Korea  
 \*Department of Biology, Kangnung National University, Kangnung 210-702, Korea

The growth of the microalgal *Spirulina platensis* in a batch photobioreactor had been studied to determine the influence of temperature, light intensity, and culture medium on the growth and c-phycocyanin content of the biomass. The most favorable conditions for high biomass and c-phycocyanin production were as follows: light intensity of 3500 lux, temperature of 35°C, NaHCO<sub>3</sub> of 1.0% for pH control, 0.2~0.3% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> for carbon source, and 0.2~0.3% NaNO<sub>3</sub> for nitrogen source. The c-phycocyanin and chlorophyll content on most favorable condition were about 11%, 1.0%, respectively.

**Key words:** *Spirulina platensis*, Photobioreactor, C-phycocyanin

#### 서 론

해양 및 담수에 존재하는 미세조류의 대부분은 녹조나 남조로서 이들은 수중에서 태양 에너지와 이산화탄소, 소량 함유된 무기염류로 생육할 수 있고, 생육속도도 매우 빠르다 (Becker, 1984). 또한 이들 미세조류는 광합성을 행하여 이산화탄소의 고정이라는 중요한 역할을 하고 있으며, 다양한 물질을 생산하기도 한다 (Aaronson et al., 1980). 이러한 미세조류의 배양과 이용에 대한 연구는 여러 나라에서 다양하게 이루어졌으나 (Borowitzka, 1992; Ciferri, 1983; Ciferri et al., 1983), 국내의 경우 자연환경이 미세조류의 배양에 적합하지 못하여 활발한 연구가 이루어지지 않았다. 그러나 최근에는 미세조류의 실내 배양장치 개발 및 물질 생산을 위한 기초적인 연구가 행해지고 있다 (Joo et al., 1998; Sung et al., 1995; Chung et al., 1999).

한편, 다양한 종류의 미세조류가 연구되고 있는데, *Chlorella*속 (Maruyama et al., 1989; Endo et al., 1977), *Spirulina*속 (Boussiba et al., 1980; Boussiba et al., 1979), *Porphyridium*속 (Percival et al., 1989; Cohen et al., 1991), *Dunaliella*속 (Ben-Amotz et al., 1980) 등이 단백질원, 비타민, 색소, 고도불포화지방산 및 당질 등의 생산 원료로 널리 이용되고 있다. 이 중에서도 *Spirulina*속은 남조류로 다른 미세조류에 비해 크고, 알칼리 호염성 조류로 아프리카나 남미 지역의 호수 등에서 매우 잘 자라며, 오래 전부터 열대 지방의 원주민들이 식량으로 이용하였고, 최근에는 식품 첨가물이나 건강식품으로 이용되고 있다 (Becker et al., 1984). 특히, *Spirulina platensis*는 클로로필, 카로테노이드 및 단백질인 phycobilins 등의 색소를 생산하는데, 이 중에서도 수용성 단백질인

phycocyanin은 청색 색소로 아이스크림, 음료, 캔디, 유제품 등의 식품 첨가물 및 화장품 등의 첨가제로 그 용도가 매우 다양하며 (Sautier et al., 1975), 국내에서도 단백질이 첨가물로 수입되어 사용되고 있다.

본 연구에서는 부가가치가 높다고 판단되는 *Spirulina platensis* 유래의 단백질 생산에 대한 기초 데이터를 확보하고자 배양 조건에 따른 *Spirulina platensis*의 성장과 균체의 phycocyanin의 축적 등에 대해 실험하였다.

#### 연구 방법

##### 사용 균주

본 연구에 사용된 균주 *Spirulina platensis* SAG 257.80은 독일 Albrecht-v.-Haller Institute의 Sammlung von Algenkulturen에서 분양받은 것이었다.

##### 배양 배지

*S. platensis* 배양에 사용된 배지는 알칼리성 무기배지 (Schlosser, 1994)로 그 조성은 증류수 1000 mL에 NaHCO<sub>3</sub> 13.6 g, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 4.03 g, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 0.05 g, NaNO<sub>3</sub> 2.5 g, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1.0 g, MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 0.2 g, CaCl<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O 0.04 g, EDTA 0.08 g, FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 0.01 g, Micro soln. [H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 2.0 g, ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 0.01 g, CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O 0.5 g, Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O 1.0 g, MnSO<sub>4</sub> · 4H<sub>2</sub>O 2.0 g, Co (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O 1.0 g, EDTA 0.4 g, FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 0.7 g in 1000 mL D.W.] 5 mL을 가한 다음 멸균한 후 Vitamin B<sub>12</sub> (10 mg/100 mL)를 1 mL 가한 것이었다.

<sup>1</sup>Corresponding author; Kangnung city, Jibyun dong 123, Kangnung National Univ.  
 East Coastal Marine Bioresources Research Center

### 배양 조건 및 형태

배양 조건에 따른 균체량의 변화 및 색소 생산능을 확인하기 위해 배양 온도, 빛 강도, 탄소원 및 질소원의 농도를 변화시키면서 pH 및 균체량의 변화를 측정하였고, 대수증식기 및 정지기 시료를 취하여 색소 함량을 분석하였다. pH 조절을 위하여 인위적으로 CO<sub>2</sub>를 첨가하지는 않았다.

균체 성장 및 색소 축적 조건 규명을 위한 배양 실험은 실린더형 배양 장치를 이용하였는데 (Joo et al., 1998), 공기 주입량은 2.5 vv<sup>-1</sup>m<sup>-1</sup>였으며, 온도 및 빛 강도 조절이 가능한 광배양기 (Versatile Environmental Testing Chamber, Sanyo, Japan)를 이용하였다.

### pH 및 균체량

배양 중 pH 측정은 pH meter를 이용하였으며, 균체량 측정은 620 nm에서 측정된 O.D.값 (optical density)과 건조 균체량과의 상관식을 이용하여 계산하였으며, 상관식은  $Y=1.135X-0.060b$  ( $r^2=0.987$ , X: cell weight, mg, Y: O.D. value) 였다. 이 때 시료의 O.D.값이 0.5를 초과할 경우 적절하게 희석하여 측정값이 0.3~0.5 범위가 되도록 조절하였다. 아울러 건조 균체량은 미리 건조기에 서 건조하여 항량을 구해놓은 microfilter paper (0.2 m)로 배양액 5 mL를 여과하여 여지를 110°C로 조절된 건조기에서 3시간 건조후 얻어진 건조무게로부터 건조 균체량을 계산하여 O.D.값과의 상관식을 구하였다. 한편, 배양 조건별 수확한 미세조류 시료를 동결 건조하여 색소 함량 측정용 시료로 사용하였다.

### 색소 함량 측정

Phycocyanin 함량은 동결 건조한 시료 40 mg을 50 mL 원심관에 취한 다음 10 mL 0.1 M phosphate buffer (pH 7.0)를 가한 다음 15분간 vortex하고 4°C 냉장고에서 하룻밤 방치한후 원심분리 (3,500 rpm, 5 min)한 다음 상층액을 취하여 620 nm에서 O.D.값을 측정하여 아래 식에 의해 phycocyanin 함량을 계산하였다 (Bous-siba et al., 1979).

Crude phycocyanin (CPC, %)

$$= \frac{A_{620} \times 10 \times 100}{3.39 \times \text{Sample (mg)} \times (\% \text{ dry wt})}$$

A<sub>620</sub>: 620 nm absorbance, 3.39: extinction of CPC at 620 nm, 10: total volume (mL), % dry wt: dry weight % of sample

Chlorophyll-a 함량은 35 mL 원심관에 시료를 50 mg과 glass bead를 5 g 넣고, 85% acetone 2.5 mL를 가하고 5분간 vortex한 다음 85% acetone 10 mL를 추가하고 vortex와 원심분리 (3500 rpm, 5 min)하여 상층액을 모으고, 하층에 동일한 조작을 2회 반복하여 최종 50 mL가 되게 한 다음 666 및 642 nm에서 O.D.값을 측정하여 아래식에 따라 chlorophyll-a 함량을 계산하였다 (AOAC, 1995).

$$\text{Chlorophyll-a (\%)} = \frac{[(9.93 \times A_{666}) - (0.777 \times A_{642})] \times 50 \times 100}{\text{Sample (mg)} \times \% \text{ dry wt.}}$$

A<sub>666</sub> & A<sub>642</sub>: 666 nm & 642 nm absorbance, 50: total volume (mL), % dry wt: dry weight % of sample

## 결과 및 고찰

### 빛 강도에 따른 미세조류의 성장 및 색소의 함량

*S. platensis*는 종류에 관계없이 일반적으로 30~35°C 온도 조건에서 가장 양호한 성장을 하는 것으로 널리 알려져 있는데 (Baldia et al., 1991), 본 실험의 초기 온도 조건도 35°C로 고정하여 두고 빛 강도를 변화시키면서 미세 조류의 성장을 측정된 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 3500, 5800 및 8400 lux의 빛 강도에서는 배양 6일째까지 거의 비슷한 증식 속도로 성장하다가 8400 lux의 경우 7일째부터는 성장이 거의 정지한 상태로 배양 15일째까지 지속되었다. 이러한 결과는 과도한 강도의 빛 조건이 미세 조류의 성장을 오히려 억제하거나 심한 경우는 조류의 균체를 산화시켜 사멸시키기도 한다고 하였는데 (Gudin et al., 1980), 8400 lux에서 3500 lux나 5800 lux보다 성장이 억제된 것도 이러한 이유인 것으로 판

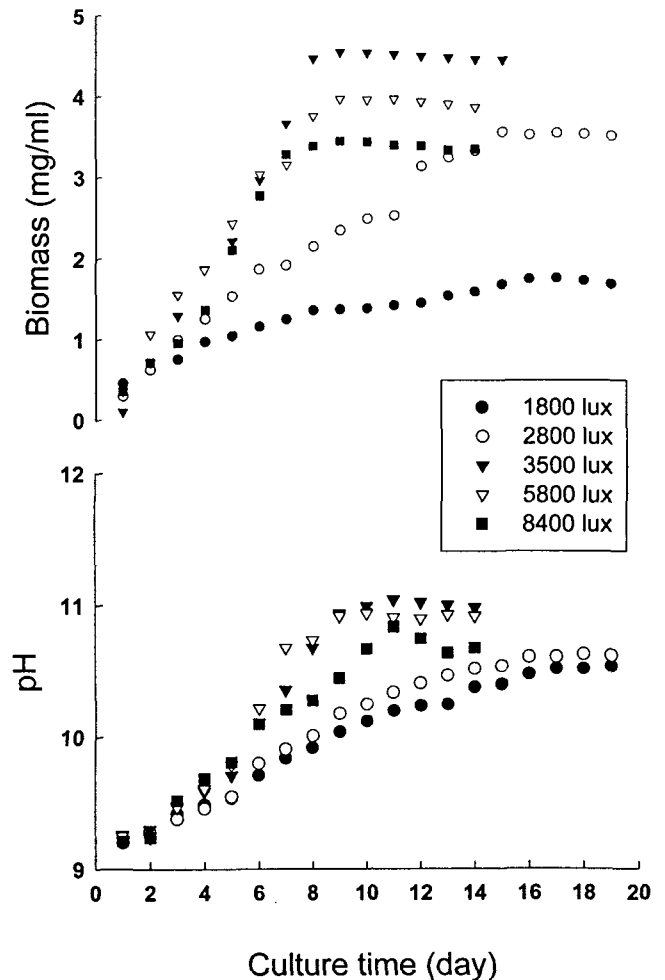


Fig. 1. Change of pH and biomass with culture time on each light intensity at 35°C.

단되었다. 그러나 3500 lux의 빛 강도 조건에서는 배양 8일째까지 대수증식을 하였으며, 9일째부터는 거의 정상 상태를 유지하였는데, 이때의 균체량이 약 4.5 mg/mL로 옥의 대량 배양의 최대 균체량인 3.0 mg/mL 보다 50% 정도 더 높은 균체량을 나타내었다 (Richmond, 1986). 3500 lux 조건에서 비증식 속도 ( $0.065 \text{ h}^{-1}$ )가 가장 컸으며, pH의 변화도 균체의 성장과 함께 pH 11 정도까지 상승한 다음 약간 감소하는 경향을 보였다. 균체의 성장과 pH의 상승을 보여주었다. 한편, 빛 강도 조건에 따라 정상 상태에서 얻어진 미세 조류의 phycocyanin 및 chlorophyll-a 함량을 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 3500 lux의 빛 강도 범위까지는 빛 강도가 높아질수록 phycocyanin의 함량은 증가하였고, 최대 c-phycocyanin 함량은 35°C, 3500 lux에서 10.8%였으며, 5800 lux 및 8400 lux의 빛 강도에서는 약간의 감소하였다. 이는 미세 조류의 성장과 상관성이 있는 것으로 여겨졌으며, 또한 phycocyanin의 함량은 chlorophyll-a 함량과 상관성을 가진다는 것이 알려져 있으나 (Quing et al., 1996), 본 실험에서는 뚜렷한 상관성을 발견하지 못하였다. Chlorophyll-a 함량은 0.63~0.72% 범위로 일반적으로 알려져 있는 1.0% 보다는 다소 낮은 값을 나타내었고, 최종 균체의 단백질 농도나 phycocyanin의 함량과도 관련성이 있는 것으로 알려져 있으나 (Molina et al., 1997), 본 실험에서는 chlorophyll 함량에 차이를 나타내지 않았다.

온도조건에 따른 미세조류의 성장과 색소함량 변화

3500 lux의 빛 강도 조건에서 온도 변화에 따른 미세 조류의 성장과 색소 함량의 변화를 실험하였다. Fig. 3에서 나타낸 것과 같이 35°C 조건에서 균체량이 가장 높게 나타났으며, 배양 8일째까지 급속히 균체량이 증가하다가 8일째 이후 더 이상 증가하지 않았으며, pH는 배양 12일째까지 느리게 상승하였다. 25°C나 30°C 조건에서도 경향은 35°C 온도 조건과 유사하였으나, 성장 정도는 35°C 조건에 미치지 못했다. 한편, 45°C 조건에서는 5일째 이후에는

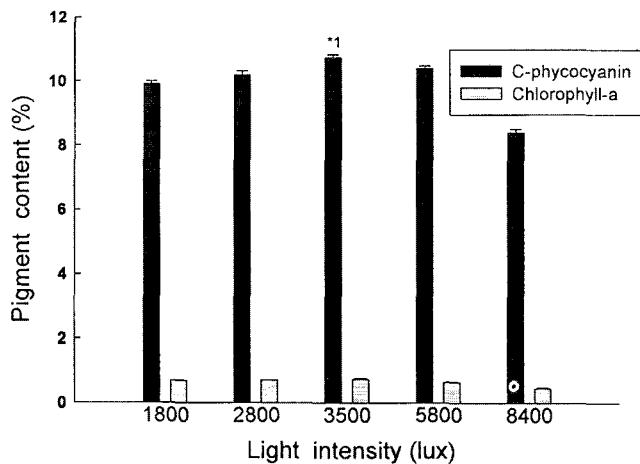


Fig. 2. Comparison of c-phycocyanin and chlorophyll-a content of *S. platensis* according to light intensity at 35°C. \*1 Mean  $\pm$  S.D.

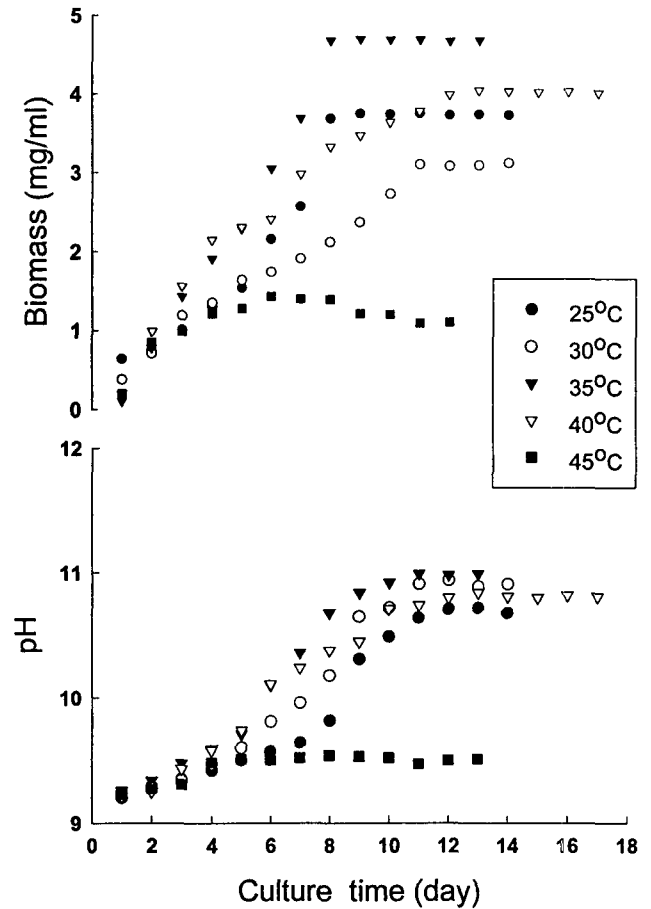


Fig. 3. Change of pH and biomass with culture time on each temperature at 3500 lux-light intensity.

미세조류의 성장이 중지되었고, 그 이후에는 탈색이 일어나면서 사멸하였는데, 이러한 결과로부터 미세 조류의 배양에 빛 강도와 마찬가지로 중요한 것이 온도라는 사실을 확인할 수 있었다. Fig. 4에는 색소 함량을 나타내고 있는데, 앞의 빛 강도 조건과 마찬가지로 미세 조류의 성장과 상관성을 가지고 있었는데, 35°C 조건에서 성장한 미세 조류의 phycocyanin 함량이 가장 높았는데 11% 정도였다. 빛강도 조건에서와 마찬가지로 chlorophyll-a 및 phycocyanin 함량은 특별한 상관성이 확인되지 않았다. 아울러 빛 강도의 조건에서 3500 lux와 유사한 결과를 보였던 5800 lux의 배양 조건에서 온도를 변화시키면서 미세조류의 성장과 색소의 변화를 실험한 결과 (data not shown), 5800 lux의 조건에서는 3500 lux와는 달리 온도 30°C 조건에서 성장이 가장 높은 것으로 확인되었다. 미세 조류의 성장만으로 판단해볼 때, 상대적으로 높은 빛 강도 ( $6391 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ )에서는 낮은 온도 조건 (30°C)이 그리고 다소 낮은 빛 강도 ( $2695 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ )에서는 상대적으로 약간 높은 온도 조건 (35°C)이 좋은 것으로 확인되었다 (Joo et al., 1998). 이러한 결과로부터 3500 lux의 빛 강도에서는 35°C 온도 조건이, 5800 lux의 빛 강도 조건에서는 30°C 온도 조건이 가장 적절한 조건임을 알 수 있었으나 성장 속도가 3500 lux, 35°C 조건이 약간 빠름을 알

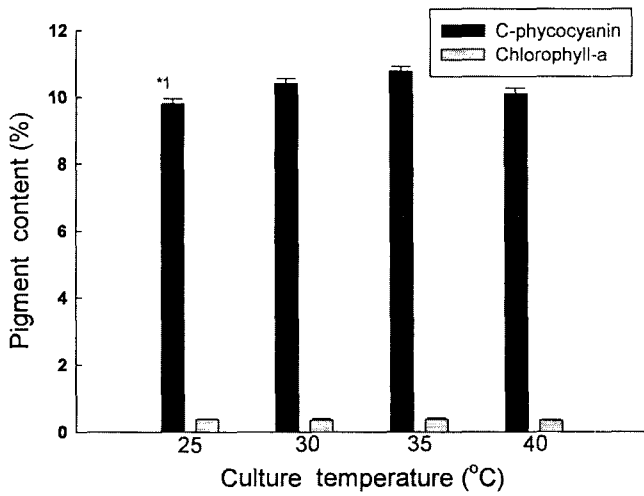


Fig. 4. Comparison of c-phycoyanin and chlorophyll-a content of *S. platensis* according to temperature at 3500 lux. \*<sup>1</sup> Mean  $\pm$  S.D.

수 있었다. C-phycoyanin 함량은 전체적으로 성장 정도와 비례함을 알 수 있었고, 3500 lux와 5800 lux의 빛 강도에 따른 차이는 없었다.

탄산수소나트륨의 농도에 따른 미세조류의 성장

*S. platensis* 배양 배지의 가장 많은 함량을 차지하는 무기원은 NaHCO<sub>3</sub>인데, 이것은 pH 조절에 관련된 무기질로 이것의 농도 변화에 따른 미세 조류의 성장을 Fig. 5에 나타내었다. NaHCO<sub>3</sub>가 첨가되지 않은 경우 배양 7일째 사멸하였으며, 1.5% 농도까지는 첨가 농도가 증가할수록 미세조류의 성장이 촉진되었던 것으로 나타났으나 그 이상의 농도에서는 오히려 미세 조류의 성장이 크게 저하되는 것을 알 수 있었다. NaHCO<sub>3</sub> 첨가 농도에 따라 얻어진 균체의 색소 축적 정도를 실험한 결과 (Fig. 6), 1.0% 농도까지 균체량의 증가와 함께 색소함량도 증가하는 경향을 보였으며, 1.5% 농도에서는 차이가 없었다. 그러나 1.75% 농도에서는 약간 감소하는 것으로 확인되었으나 균체의 phycoyanin 함량 자체는 큰 차이를 발견할 수 없었다. 이상의 결과에서 NaHCO<sub>3</sub>의 첨가 농도는 1.0% 수준이 가장 적절한 성장 및 색소 축적 조건임을 알 수 있었다.

탄산나트륨의 농도에 따른 균체 성장 및 색소함량 변화

배지 중에 탄소원으로 첨가되는 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>의 첨가량에 따른 균체량과 pH의 변화를 Fig. 7에 나타내었다. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>의 첨가 농도가 높을수록 성장 속도 및 균체량도 증가되는 결과를 확인할 수 있었는데, 0.3% 이상의 농도에서는 첨가 농도가 높아도 큰 차이를 확인할 수 없었다. 그러나 색소의 함량에 있어서는 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 0.2~0.3% 첨가 수준에서 최고의 phycoyanin 함량을 나타내었으며, 0.5% 이상 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>가 첨가된 조건에서는 오히려 phycoyanin 함량이 낮아지는 경향이였다 (Fig. 8). 따라서 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>의 첨가 농도는 0.2~0.3% 정도가 적절한 것으로 판단되었다. 질산 나트륨의

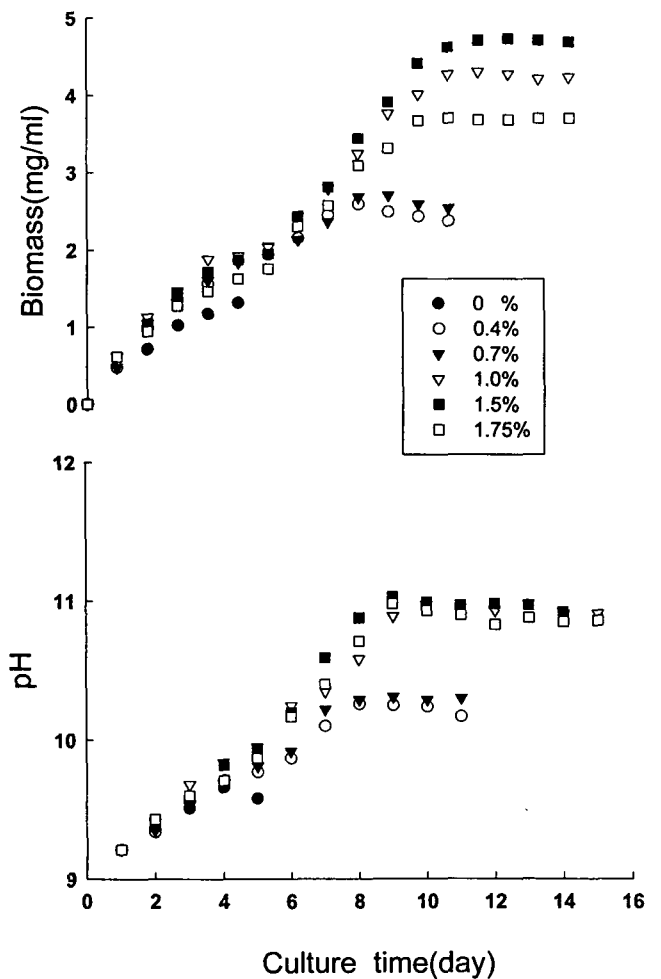


Fig. 5. Change of pH and biomass with culture time on each NaHCO<sub>3</sub> concentration at 3500 lux and 35°C.

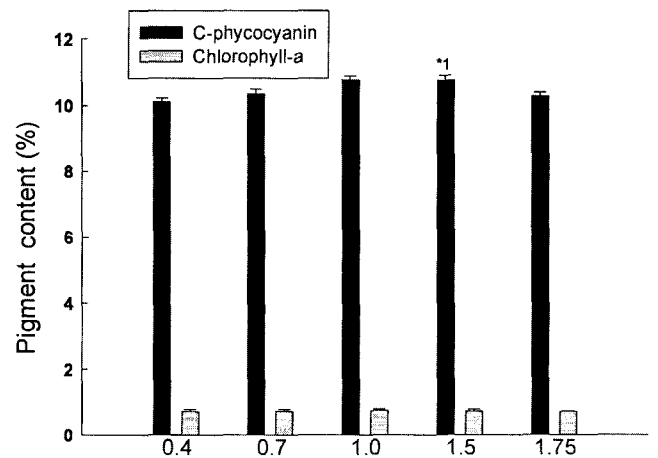


Fig. 6. Comparison of c-phycoyanin and chlorophyll-a content of *S. platensis* according to NaHCO<sub>3</sub> conc. at 3500 lux and 35°C. \*<sup>1</sup> Mean  $\pm$  S.D.

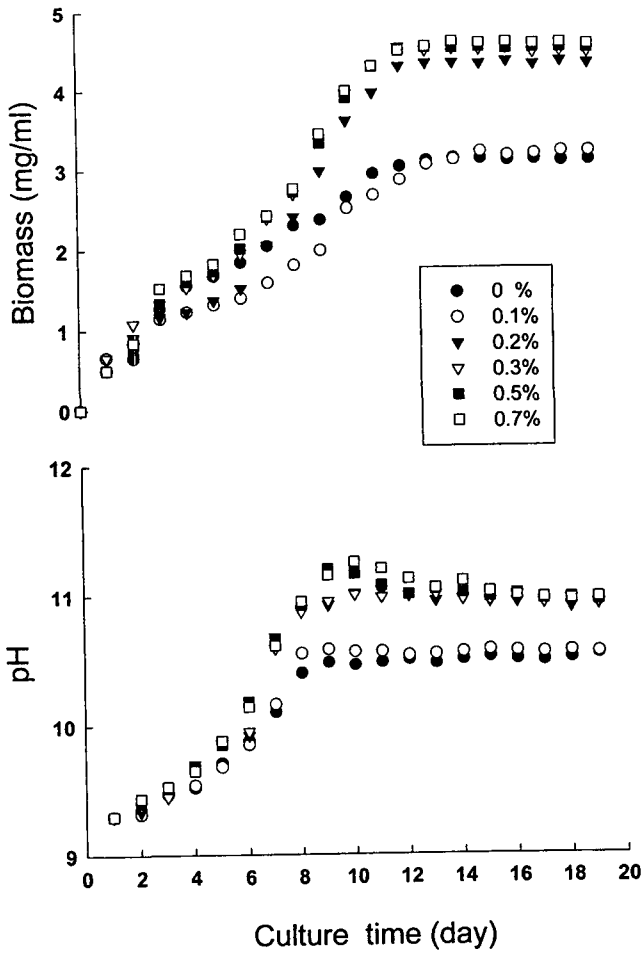


Fig. 7. Change of pH and biomass with culture time on each  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  conc. at  $35^\circ\text{C}$  and 3500 lux.

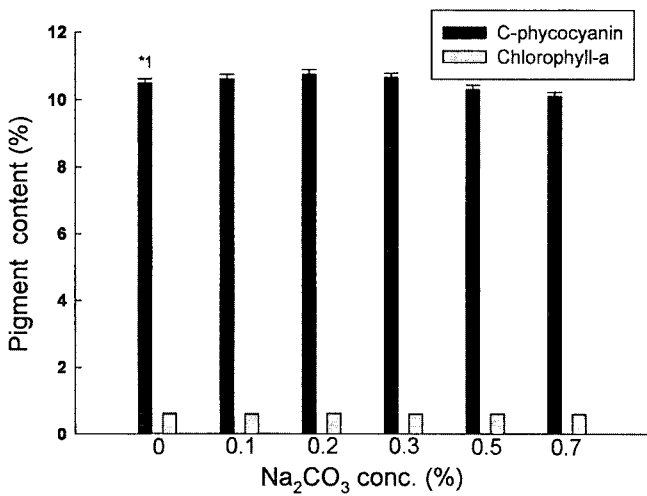


Fig. 8. Comparison of c-phycoerythrin and chlorophyll-a content of *S. platensis* according to  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  conc. at  $35^\circ\text{C}$  and 3500 lux.  
\*<sup>1</sup> Mean  $\pm$  S.D.

농도에 따른 균체 성장 및 색소함량 변화 배지 중의 질소원인  $\text{NaNO}_3$  농도에 따른 균체의 성장 및 pH 변화를 Fig. 9에 나타내었다.  $\text{NaNO}_3$ 가 첨가되지 않은 조건에서는 느린 성장을 보이다가 배양 10일째에 사멸하였으며, 0.05%에서부터 0.5%까지의 농도 범위에서는 첨가농도에 관계없이 비슷한 성장을 보였으며, 13일째에 최대 성장을 나타내었고, 그 이후 17일까지는 성장이 정지되었다. 한편,  $\text{NaNO}_3$  농도에 따른 phycocyanin 함량 (Fig. 10)은  $\text{NaNO}_3$  첨가 농도 0.5%까지 약간씩 증가하였으며, 특히  $\text{NaNO}_3$  0.1% 첨가 수준에서는 9.2% 정도의 phycocyanin 함량을 나타내었으나,  $\text{NaNO}_3$  0.2% 첨가 수준에서는 11.0% 정도의 phycocyanin 함량을 나타내었으며,  $\text{NaNO}_3$  0.2% 이상에서는 색소 함량의 증가는 미미한 수준이었다. 아울러 chlorophyll-a 함량은 농도에 관계없이 큰 변화가 없었다. 이러한 결과는 질소원이 색소 축적에 직접적인 관련이 있다는 보고와 일부분은 일치하는 결과였으나 (Baldia et al., 1991), 특정 농도 이상의  $\text{NaNO}_3$  농도에서는 첨가량과 색소 축적량과는 상관성이 없음을 알 수 있었으며, 이상의 결과에서  $\text{NaNO}_3$  첨가 농도는 0.2~0.3% 범위에서 첨가하는 것이 적절한 것으로 판단되었다.

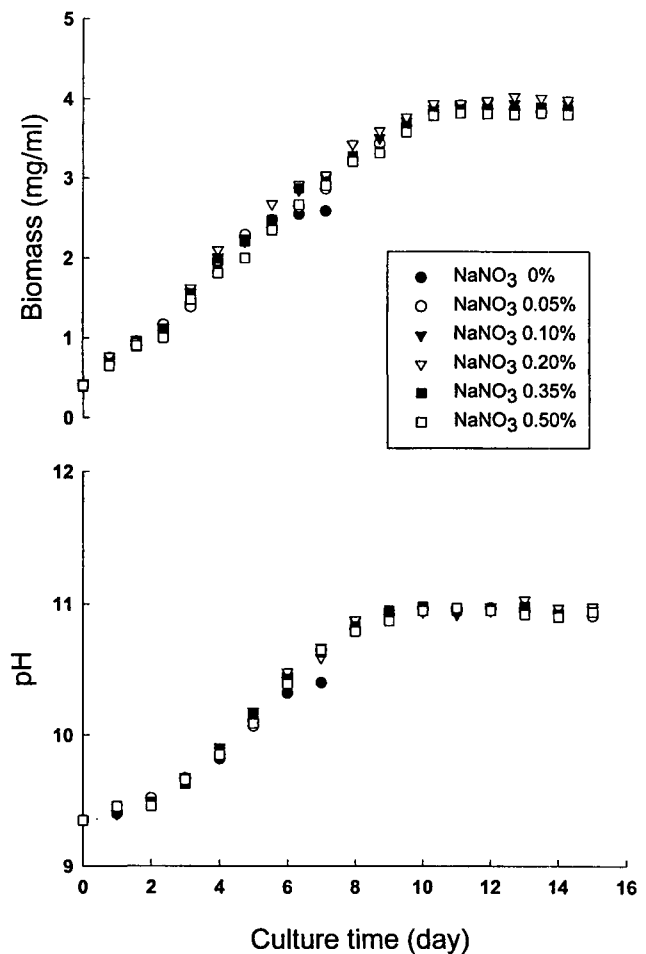


Fig. 9. Change of pH and biomass with culture time on each  $\text{NaNO}_3$  concentration at 3500 lux and  $35^\circ\text{C}$ .

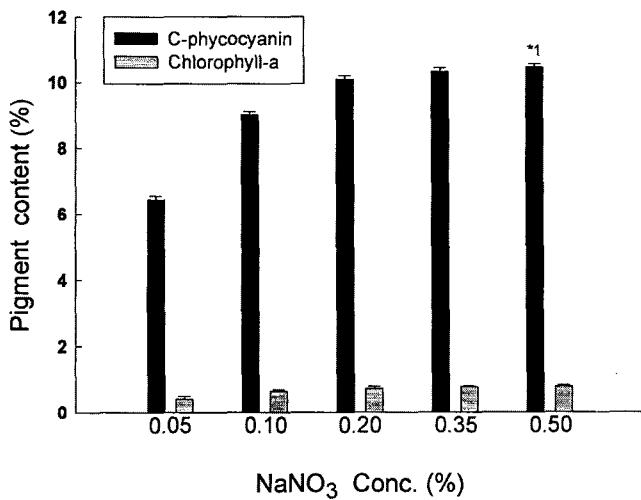


Fig. 10. Comparison of c-phycoerythrin and chlorophyll-a content of *S. platensis* according to NaNO<sub>3</sub> conc. at 3500 lux and 35°C.  
\*<sup>1</sup> Mean  $\pm$  S.D.

## 요 약

미세조류 *S. platensis*의 성장 및 색소 축적에 대한 배양 조건의 영향을 실험한 결과, 배양 온도 및 빛 강도는 각각 35°C, 3500 lux가 가장 적절한 배양 조건이었으며, 온도가 다소 낮은 30°C 조건에서는 빛 강도가 3500 lux보다 다소 높은 조건도 고려해볼만 하였다. 빛 강도 및 온도 조건에서의 phycoerythrin 색소 함량은 조류의 성장 정도와 직접적인 상관을 나타내었으며, chlorophyll-a 함량과는 특별한 상관성을 가지지 않았다. 배지 중의 NaHCO<sub>3</sub> 첨가 농도는 1.0%가 조류의 성장 및 색소 축적에 가장 좋은 조건임을 알 수 있었고, 그 이상의 농도에서는 오히려 phycoerythrin 색소 생산능이 저하됨을 알 수 있었다. 탄소원인 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>는 0.2~0.3% 농도 수준에서 가장 높은 조류의 성장과 phycoerythrin을 축적하는 것으로 나타났으며, 첨가 농도가 높아져도 phycoerythrin 색소 생산능은 증가되지 않았다. 한편, 질소원으로 첨가되는 NaNO<sub>3</sub> 농도도 0.2~0.3% 범위에서 첨가하는 것이 균체의 성장이나 색소 생산에 바람직한 조건으로 확인되었으며, 과도한 첨가는 성장과 phycoerythrin 색소 생산능이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 전체적으로 chlorophyll-a는 phycoerythrin 색소 함량이 증가하면 증가하는 상관을 가졌으나 그 함량은 미미하였다.

## 참 고 문 헌

- Aaronson, S., T. Berner and Z. Dubinsky. 1980. Microalgae as a source of chemicals and natural product. In *Algae Biomass*, ed. by Shelef, G and C.J. Soeder, Elsevier/North Holland, Amsterdam.
- AOAC. 1995. Official Methods of analysis, 3.6.02.
- Baldia, S.F., T. Nishijima, Y. Hata and K. Fukami. 1991. Growth characteristics of a blue-green alga *Spirulina platensis* for nitrogen utilization. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57(4), 645~654.
- Ben Amotz, A. and M. Avron. 1980. Glycerol,  $\beta$ -carotene and dry algal meal production in commercial cultivation of *Dunaliella*. In *Algae Biomass*, ed., G. Shelef & C.J. Soeder, pp. 603~610, Elsevier/North Holland Biomedical Press.
- Becker, E.W. 1984. *Microalgae: Biotechnology and Microbiology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Becker, E.W. and L.V. Vanattaraman. 1984. Production and utilization of the blue green alga *Spirulina* in India. *Biomass*, 4, 105~125.
- Borowitzka, M.A. 1992. Algal biotechnology products and process: Matching science and economics. *J. Appl. Phycol.*, 4, 267~279.
- Boussiba, S. and A.E. Richmond. 1979. Isolation and characterisation of phycoerythrin from the blue-green alga *Spirulina platensis*. *Arch. Microbiol.*, 120, 155~159.
- Boussiba, S. and A.E. Richmond. 1980. C-phycoerythrin as a storage protein in the blue-green alga *Spirulina platensis*. *Arch. Microbiol.*, 125, 143~149.
- Chung, W.J., M.S. Wang, S.I. Choi, J.K. Kim and B.C. Jeong. 1999. High cell density cultures of microalgal *Dunaliella bardawil*. *Kor. J. Biotechnol. Bioeng.* 14(2), 160~166 (in Korean).
- Ciferri, O. 1983. *Spirulina*, the edible microorganism. *Microbiol. Rev.*, 47, 551~578.
- Ciferri, O. and O. Tiboni. 1983. The biochemistry and industrial potential of *Spirulina*. *Ann. Rev. Microbiol.*, 39, 503~526.
- Cohen, Z. and S. Cohen. 1991. Preparation of eicosapentaenoic acid (EPA) concentrate from *Porphyridium cruentum*. *JAOCS*, 68, 16~19.
- Endo, H., H. Hosoya and T. Koibuchi. 1977. Growth yields of *Chlorella regularis* in dark-heterotrophic continuous using acetate. *J. Ferment. Tech.*, 55, 369~370.
- Gudin, C. and D. Chaumont. 1980. A biotechnology of photosynthetic cells based on the use of solar energy. *Biochem. Soc. Trans.*, 8, 481~482.
- Joo, D.S., M.G. Cho, R. Buchholz and E.H. Lee. 1998. Growth and fatty acid composition with growth conditions for *Spirulina platensis*. *J. Korean Fish. Soc.*, 31(3), 409~416 (in Korean).
- Richmond, A. 1986. *Microalgae of economic potential* In *Handbook of Microalgal Mass Culture*. ed. by Richmond A. pp. 199~243, CRC Press, Florida.
- Maruyama, I., Y. Ando, T. Maeda and K. Hirayama. 1989. Uptake of vitamin B<sub>12</sub> by various strains of unicellular algae *Chlorella*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55, 1785~1790.
- Molina Grima, E., F. Garcia camacho, J.A. Sanchez Perez, F.G. Acien Fernandez and J.M. Fernandez Sevilla. 1997. Evaluation of photosynthetic efficiency in microalgal cultures using averaged irradiance. *Enzyme and Microbial Technology*, 21, 375~381.
- Percival, E. and R.A. J. Foyle. 1989. The extracellular polysaccharides of *Porphyridium cruentum* and *Porphyridium aeruginum*. *Carbohydr. Res.*, 72, 165~172.
- Quing, H., A. Richmond. 1996. Productivity and photosynthetic efficiency of *Spirulina platensis* as affected by light intensity, algal density and rate of mixing in a flat plate photobioreactor. *J. Appl. Phycol.*, 8, 139~145.
- Sautier, C. and J. Tremolieres. 1975. Food value in *Spirulina* algae in humans. *J. Ann. Nutr. Aliment.*, 30, 517~522.
- Schlosser, U.G. 1994. SAG-Sammlung von Algenkulturen at the University of Göttingen. *Botanica Acta*, 107, 111~186.

Sung, K.D., J.H. Ann, J.Y. Lee, S.J. Ohh and H.Y. Lee. 1995. Kinetics of cultivating photosynthetic microalga, *Spirulina platensis* in an outdoor photobioreactor. Kor. J. Biotechnol. Bioeng. 10(4), 401~405 (in Korean).

---

2000년 6월 17일 접수  
2000년 9월 29일 수리