

참김 (*Porphyra tenera* Kjellman) 색소 및 형태변이체의 순계주 분리 및 특성

황미숙*·김승오·이영순·박은정·김성철·하동수·공용근·백재민·최한구¹
국립수산과학원 해조류바이오연구센터, ¹한국해양연구원 부설 극지연구소 극지생명과학연구부

Isolation and Characterization of Pure lines of Pigmentation and Morphological Mutants in *Porphyra tenera* Kjellman (Bangiales, Rhodophyta)

Mi Sook Hwang*, Seung-Oh Kim, Young-Soon Lee, Eun-Jeong Park,
Seong-Cheol Kim, Dong-Soo Ha, Yong Gun Gong, Jae-Min Baek
and Han-Gu Choi¹

Seaweed Research Center, NFRDI, Mokpo 530-831, Korea
¹Division of Life Sciences, Korea Polar Research Institute,
KORDI, Incheon 406-840, Korea

Pure lines were isolated from young gametophytic blades of pigmentation and morphological mutants in *Porphyra tenera*. Growth, blade-shape and photosynthetic pigment content of pure lines were compared with the wild type. Growth of blade length in the wild type (W, R-B), with round shape and brown color, was fastest at 5~10°C and became slower as temperature increased. The blade-shape of the wild type changed from linear to round as temperature increased. The green type (R-G), with round shape and green color, showed slower growth, and the red type (R-R) 'with round shape and red color' showed faster growth than the wild type. The blade-shapes of the green and red types changed from elliptical or linear to round as temperature increased. The phycoerythrin (PE) / phycocyanin (PC) ratio of the green type was markedly lower and the PE/PC ratio of the red type was markedly higher than that of the wild type. The linear type (L-B), with liner shape and brown color, showed faster growth in blade length than the wild type at 10~20°C and maintained its linear shape at 5~15°C. The content of photosynthetic pigments of the linear type was similar to that of the wild type. Each of the pure lines of pigmentation and morphological mutants that were isolated in the present study showed particular patterns in growth, blade-shape and photosynthetic pigment composition. Therefore, they are expected to be useful as new varieties by themselves and to be available for breeding and biotechnological studies.

Key Words: Breeding, Growth, Mutant, Photosynthetic pigment, *Porphyra tenera*, Pure line

서 론

김 (*Porphyra*)은 산업적으로 가장 비중 있는 해조류 중의 하나이다. 전 세계적으로 양식 김 생산액은 연간 18억 달러에 이르며 (He and Yarish, 2006), 우리나라에서는 연간 2,000억 원 내외로 생산되고 있다. 우리나라에서는 주로 참김 (*P. tenera*), 방사무늬김 (*P. yezoensis*), 모무늬돌김 (*P. seriata*) 및 잇바디돌김 (*P. dentata*)이 양식되고 있으며 (Hwang et al., 2005), 일본에서는 방사무늬김, 그리고 중국에서는 방사무늬김과 *P. haitanensis*가 주로 양식되고 있다.

그 중 참김은 부드러운 촉감과 고유의 향미를 지니고 있어 예로부터 우리나라와 일본에서 가장 널리 양식되어 온 종이다. 그러나 인공채묘 기법이 보급된 이후 환경적응성이 뛰어난 방사무늬김에 그 자리를 내어주게 되었다 (Kang, 1972; Miura, 1988; Hwang et al., 2005). 참김은 현재 일본에서 멸종위

기중으로 지정된 상태이며 (Miura, 1998; Yoshida et al., 1999; Yoshida, 2000), 우리나라에서도 자연 개체군이 점차 사라지고 있으며 통영, 하동, 진도 등 소수 지역에서만 생육이 확인되고 있어 참김의 다양한 유전자원 확보가 시급한 실정이다.

김의 색소변이체는 양식장 또는 실내배양을 통해 발견되거나 (Kobara et al., 1976; Migita and Fugita, 1983; Aruga and Miura, 1984; Tanida and Masuda, 1994), 화학적 돌연변이 유도제 (Katayama, 1983; Mitman and van der Meer, 1994; Yan and Aruga, 1997, 2000; Tomimatsu et al., 2006; Li et al., 2008), 감마선 (Wang et al., 2000; Yan et al., 2005b), heavy-ion beam (Niwa et al., 2009) 등에 의해 인위적으로 유도되었다. 색소변이체들은 광합성 색소의 함량과 조성이 달라 적색, 녹색, 황색, 주황색, 보라색 등의 색을 나타내므로 유전자 마커로 이용될 수 있어 유전학적 연구에 다양하게 활용되어 왔으며 (Ohme et al., 1986; Hamada et al., 1994; Yan and Aruga, 2000; Niwa et al., 2002; Yan et al., 2004), 야생형과 색소변이체 간의 교잡

*Corresponding author: mishwang@nfrdi.go.kr

으로 새로운 양식 품종이 개발되기도 하였다 (Miura and Shin, 1989; Shin et al., 1997).

한편, 김에서는 각포자 (conchospore)가 발아하는 시기에 감수분열이 일어나기 때문에 (Ohme et al., 1986; Mitman and van der Meer, 1994; Yan et al., 2005a), 포자체 세대인 사상체가 이형접합체인 경우에는 각포자에서 발아한 배우체 즉 엽체가 유전적 모자이크 현상을 나타내게 된다. 따라서 김을 순계주 (pure line)로 만들기 위해서는 유전적 단일화 및 자가수정 (self-fertilization) 과정을 거쳐야 하는데, 단포자 (monospore)를 방출하는 참김, 방사무늬김 등은 단포자 발아체의 자가수정을 통하여 비교적 쉽게 순계주를 개발할 수 있다 (Kobara et al., 1976; Niwa et al., 2004; Park, 2006; Niwa et al., 2009).

산업적 측면에서 볼 때 엽체의 색은 양식 김의 품질을 결정하는 중요한 요인 중 하나이고 엽체의 형태는 양식 김의 용도를 결정하는 요인 중 하나이므로 다양한 색소변이체 및 형태 변이체의 수집과 이에 대한 연구는 김 육종에 매우 중요하다 (Niwa et al., 1993, 2002; Li et al., 2008). 본 연구에서는 참김의 육종을 위하여 실내배양 중에 발견된 자연발생적인 색소 및 형태변이체를 순계주로 분리하였으며, 이들의 성장 특성과 색소 조성을 야생형과 비교하였다.

재료 및 방법

색소 및 형태변이체의 순계주 사상체 (포자체) 분리

본 연구에 사용된 참김 사상체 HM009 계통주는 국립수산과학원 해조류바이오연구센터에서 보존해온 것으로, 2004년 3월 18일 전남 진도에서 채집한 자연개체군의 한 엽체에서 유도한 것이다. HM009 계통주는 SSU rDNA 염기서열 분석을

통해 참김으로 동정되었다 (GenBank Accession No. HQ317428). HM009 계통주의 사상체로부터 유도된 유엽을 15°C, 40µmol·m⁻²·sec⁻¹, 단일 (10L:14D) 조건에서 배양하였을 때, 대부분의 엽체는 원형이고 적갈색인 야생형 (Wild type: round and red-brown, W(R-B))이었다. 그러나 일부는 원형이고 녹색인 녹색형 변이체 (Green type: round and green, R-G), 원형이고 적색인 적색형 변이체 (Red type: round and red, R-R) 그리고 엽형이 길고 적갈색인 세장형 변이체 (Linear type: linear and red-brown, L-B)였으며, 이들로부터 순계주를 유도하였다 (Fig. 1).

야생형과 각 변이체의 순계주를 유도하기 위하여 우선 유엽 1개체를 면도칼로 잘게 잘라 15°C, 80µmol·m⁻²·sec⁻¹, 단일 (10L:14D) 조건에서 단포자를 방출시켰다. 방출된 단포자들 중 1개만을 분리시켜 2주 동안 배양함으로써 새로운 엽체를 얻어내고 다시 이 엽체로부터 단포자를 유도하는 과정을 3회 반복하여 최종적으로 1개의 엽체를 선별하였다. 이 엽체를 자가수정시킨 후 형성된 접합포자 (zygospore)로부터 사상체를 얻어내어 순계주 사상체를 확보하였다 (Park, 2006).

색소 및 형태변이체의 순계주 엽체 (배우체) 유도 및 채묘

각각의 순계주 사상체를 20°C, 40µmol·m⁻²·sec⁻¹, 장일 (14L:10D) 조건에서 PES (Provasoli, 1968) 배지로 배양한 후, 단일 (10L:14D) 조건으로 옮겨 각포자낭을 형성시켰다. 그리고 각포자낭이 충분히 성숙하였을 때 배양온도를 15°C로 내려 주어 각포자 방출을 유도하였다. 채묘를 위해 배양용기에 나일론 섬유를 넣어 각포자를 부착시킨 후 새로운 순계주 엽체를 유도하였다.

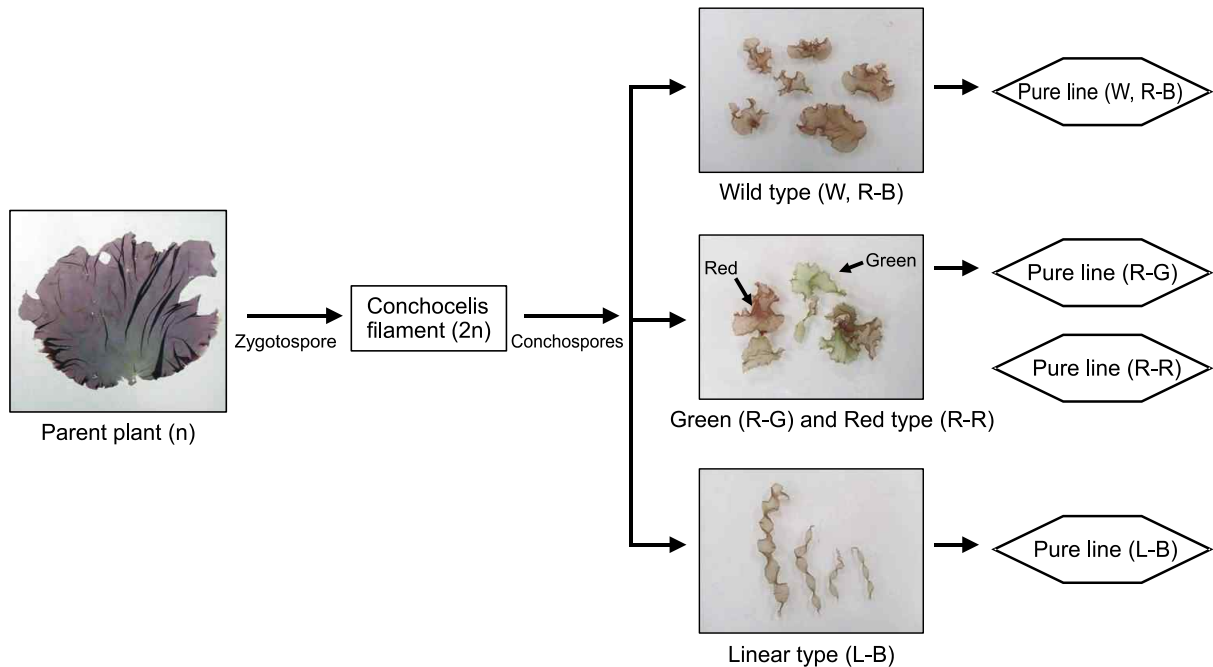


Fig. 1. Procedure for inducing pure lines of pigmentation and morphological mutants of *Porphyra tenera*.

생장 특성 및 엽체 형태 조사

생장 특성을 조사하기 위하여 광도 $40\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ 와 단일 (10L:14D) 조건하에서 5°C, 10°C, 15°C 및 20°C의 온도별로 12주 동안 순계주 엽체를 배양하며 1주 간격으로 20 개체씩 엽장과 엽폭을 조사하였다. 또한 엽체 형태를 나타내는 지수로서 엽장/엽폭 비를 조사하였다. 엽체 배양에는 엽상형 해조류의 배양에 효과적인 배지로 알려져 있는 MGM (Modified Grund' Media, McLachlan, 1973)을 사용하였으며 1주일 간격으로 교환하였다.

광합성 색소 함량 분석

광합성 색소 함량을 분석하기 위하여 12주 동안 배양한

순계주 엽체의 chlorophyll *a* (Chl. *a*), phycoerythrin (PE) 및 phycocyanin (PC) 함량을 분석하였다. Chl. *a*는 80% 아세톤으로 용출시켜 663 nm에서 (Meeks, 1974), PE와 PC는 증류수로 용출시켜 565 nm 및 615 nm에서 흡광도를 측정한 후 아래 식에 따라 계산하였다 (Fujiwara, 1955; Hattori and Fujita, 1959).

$$\text{Chl. } a = E_{663 \text{ nm}} \times 11.9$$

$$\text{PE} = E_{565 \text{ nm}} \times 124.3 - E_{615 \text{ nm}} \times 62.4$$

$$\text{PC} = E_{615 \text{ nm}} \times 171.2 - E_{565 \text{ nm}} \times 2.25$$

통계분석

측정결과는 SAS 프로그램 (Release 6.12)을 이용하여

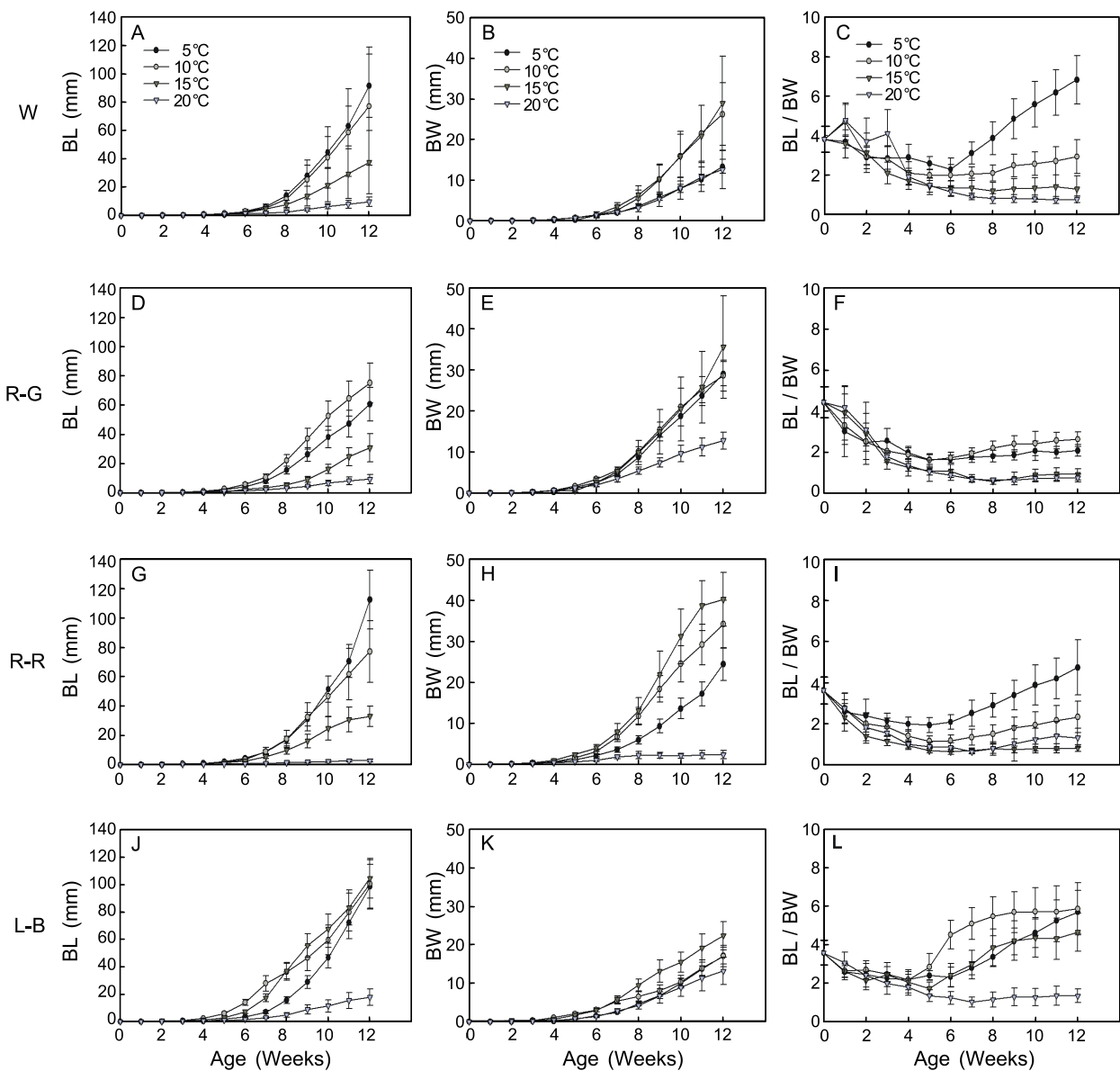


Fig. 2. Blade length (BL), blade width (BW) and BL/BW of pure lines of pigmentation and morphological mutants of *Porphyra tenera* under different temperatures. Error bars indicate standard deviation.

ANOVA-test를 실시한 후 Tukey 다중비교 검증방법으로 95% 유의수준에서 분석하였다.

결 과

생장 특성 및 엽체 형태

색소 및 형태변이체 순계주의 생장 특성을 파악하기 위하여 12주 동안 엽장 및 엽폭을 조사한 결과, 야생형 (W, R-B) 순계주의 엽장은 12주 째 5°C와 10°C에서 각각 91.4 ± 22.3 mm 및 77.1 ± 41.5 mm로서 생장이 빨랐으며, 15°C에서 37.6 ± 22.2 mm, 20°C에서 9.8 ± 3.4 mm로서 온도가 높아질수록 엽장 생장이 느려지는 경향을 나타냈다 (Fig. 2A). 배양 12주 째 엽폭은 10°C와 15°C에서 각각 26.2 ± 7.7 mm 및 28.9 ± 11.5 mm로서 빠른 성장을 보였으며, 5°C와 20°C에서는 각각 13.4 ± 1.7 mm 및 12.6 ± 4.7 mm로서 느린 성장을 보였다 (Fig. 2B).

녹색형 (R-G) 순계주의 엽장은 12주 째 10°C에서 75.2 ± 13.5 mm로서 가장 빠른 성장을 보였으며 ($P < 0.05$) 5°C에서 60.7 ± 11.5 mm, 15°C에서 30.9 ± 9.7 mm, 그리고 20°C에서 9.6 ± 3.2 mm였다 (Fig. 2D). 엽폭은 12주 째에 15°C에서

35.6 ± 12.5 mm로서 가장 빠른 성장을 보였으며 ($P < 0.05$) 5°C에서 29.1 ± 3.0 mm, 10°C에서 28.6 ± 3.8 mm, 20°C에서는 12.8 ± 2.1 mm였다 (Fig. 2E). 녹색형 순계주는 야생형에 비해 5°C에서 엽장 생장이 느린 특징을 나타내었다 ($P < 0.05$).

적색형 (R-R) 순계주의 엽장은 12주 째 5°C에서 112.2 ± 19.9 mm로서 가장 빠른 성장을 나타내었으며 ($P < 0.05$) 10°C에서 77.0 ± 20.9 mm, 15°C에서 33.1 ± 7.0 mm, 그리고 20°C에서 3.0 ± 1.0 mm으로서 온도가 높아질수록 엽장이 짧아지는 경향을 나타내었다 (Fig. 2G). 엽폭은 12주 째에 15°C에서 40.2 ± 6.5 mm로서 가장 빨리 성장하였으며 ($P < 0.05$) 5°C에서 24.5 ± 3.9 mm, 10°C에서 34.1 ± 5.8 mm, 20°C에서는 2.5 ± 1.0 mm였다 (Fig. 2H). 적색형 순계주는 야생형에 비해 5°C에서 엽장 생장이 빨랐으며 5~15°C에서 엽폭 생장이 빠른 특징을 나타내었다 ($P < 0.05$).

세장형 (L-B) 순계주의 엽장은 7주까지는 10°C에서 가장 빠른 성장을 나타내었으나, 12주 째는 5°C, 10°C 및 15°C에서 각각 98.3 ± 16.4 mm, 100.4 ± 17.6 mm 및 104.4 ± 14.6 mm로서 유사하였으며 20°C에서는 엽장이 18 mm였다 (Fig. 2J). 엽폭은 12주 째 15°C에서 22.4 ± 3.6 mm로서 가장 빨리 성장하였으며

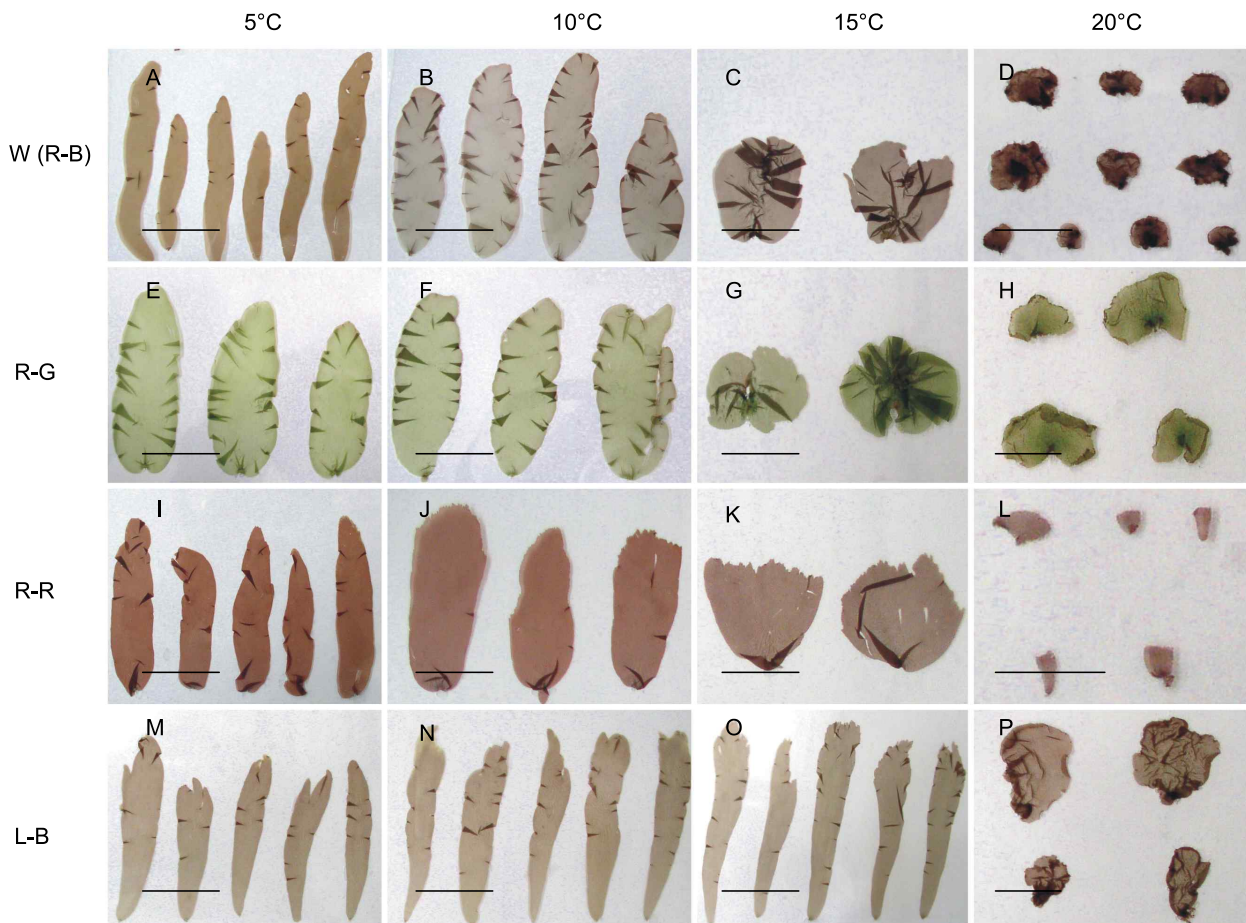


Fig. 3. Morphology of pure lines of pigmentation and morphological mutants of *Porphyra tenera* after culture for 12 weeks under different temperatures. A-D: wild type, E-H: green type, I-L: red type, M-P: linear type. Scale bars: 3 cm (A-C, E-G, I-K, M-O), 1 cm (D, H, L, P).

($P < 0.05$) 5°C와 10°C에서는 각각 17.2 ± 2.2 mm 및 17.1 ± 2.8 mm로 유사하였고 20°C에서는 13.2 ± 3.5 mm였다 (Fig. 2K). 세장형 순계주는 야생형에 비해 10~20°C 범위에서 엽장 생장이 빠른 특징을 나타내었다 ($P < 0.05$).

순계주의 엽체 형태를 파악하기 위하여 12주 동안 엽장/엽폭 비를 조사한 결과, 야생형 순계주는 5°C에서 6.8 ± 1.2 로서 가장 높았고 ($P < 0.05$) 10°C, 15°C 및 20°C에서 각각 2.9 ± 0.9 , 1.3 ± 0.7 및 0.8 ± 0.2 로서, 온도가 높아질수록 세장형에서 점차 원형으로 변화하였다 (Figs. 2C, 3A-D). 녹색형 순계주는 5°C와 10°C에서 각각 2.1 ± 0.3 및 2.6 ± 0.4 로서 타원형이었으나 온도가 높아질수록 점차 원형으로 변하는 경향을 나타내었다 (Figs. 2F, 3E-H). 적색형 순계주는 5°C에서 4.7 ± 1.3 로서 가장 높았고 ($P < 0.05$) 야생형 순계주와 유사하게 온도가 높아질수록 세장형에서 점차 원형 또는 역삼각형으로 변하는 경향을 나타내었다 (Figs. 2I, 3I-L). 세장형 순계주는 5°C와 10°C에서 각각 5.7 ± 1.1 및 5.9 ± 1.4 로서 높은 값을 나타내었고 15°C에서도 4.7 ± 1.0 로서 세장형을 유지하였으며, 20°C에서는 1.4로서 원형에 가까웠다 (Figs. 2L, 3M-P).

광합성 색소 함량 및 조성

광합성 색소인 Chl. a, PE 및 PC의 함량을 분석한 결과, Chl. a의 함량은 1.845~3.558 µg/mg, PE의 함량은 1.404~6.521 µg/mg 범위로서 순계주 간의 차이가 비교적 큰 반면 PC의 함량은 3.149~3.517 µg/mg으로서 순계주 간의 차이가 적었다 (Fig. 4). 야생형은 Chl. a 함량이 2.148 ± 0.026 µg/mg, PE 함량이 4.428 ± 0.129 µg/mg, PC 함량이 3.378 ± 0.352 µg/mg, 총 광합성 색소 함량 (T)이 9.954 ± 0.506 µg/mg이었으며, PE/PC 비율은 1.316 ± 0.074 이었다 (Table 1, Fig. 4). 녹색형은 야생형에 비해 Chl. a와 PE 함량이 낮았고 총 광합성 색소 함량은 6.400 ± 0.276 µg/mg으로서 현저하게 낮았다 (Fig. 4). 색소 함량의 비율에서 녹색형은 PC/Chl. a, Chl. a/T 및 PC/T 값이 비교적 높은 반면, PE/Chl. a, PE/PC 및 PE/T 값은 현저하게 낮았다 (Table 1). 한편, 적색형은 야생형에 비해 Chl. a와 PE 함량이 높았고 총 광합성 색소 함량은 13.456 ± 0.536 µg/mg으로서 현저하게 높았다 (Fig. 4). 색소 함량의 비율에서 적색형은 야생형에

Table 1. Ratios of Chl. a, PE, PC and total photosynthetic pigment content (T) in pure lines of pigmentation and morphological mutants of *Porphyra tenera*. Values are mean ± standard deviation

Ratio	Pure line			
	W (R-B)	R-G	R-R	L-B
PE/Chl. a	2.061 ± 0.026	0.760 ± 0.029	1.843 ± 0.031	1.656 ± 0.013
PC/Chl. a	1.572 ± 0.104	1.706 ± 0.029	0.960 ± 0.083	1.271 ± 0.029
PE/PC	1.316 ± 0.074	0.445 ± 0.003	1.932 ± 0.147	1.303 ± 0.024
Chl. a/T	0.216 ± 0.006	0.289 ± 0.009	0.263 ± 0.008	0.255 ± 0.003
PE/T	0.445 ± 0.007	0.219 ± 0.002	0.485 ± 0.007	0.422 ± 0.002
PC/T	0.338 ± 0.013	0.492 ± 0.007	0.252 ± 0.015	0.324 ± 0.004

비해 PE/PC 값이 현저하게 높았고 Chl. a/T 및 PE/T 값은 비교적 높은 반면 PC/Chl. a, 및 PC/T 값은 현저하게 낮았다 (Table 1). 세장형은 야생형에 비해 Chl. a 함량이 약간 높은 것을 제외하고는 각각의 색소 함량 및 조성에서 야생형과 유사한 값을 나타내었다 (Table 1, Fig. 4).

고 찰

본 연구에서는 참김의 실내배양 중에 발견된 색소 및 형태 변이체로부터 순계주를 유도하였으며, 각각의 순계주는 생장 특성, 엽체 형태 및 광합성 색소 조성에서 뚜렷한 차이를 나타냈다.

야생형 (W, R-B) 순계주는 5°C와 10°C에서 엽장 생장이 빨랐고 온도가 높아질수록 느렸으며, 엽형은 5°C에서는 세장형이었고 온도가 높아질수록 원형으로 변하는 특징을 나타냈다. 각 광합성 색소 함량 및 총 광합성 색소 함량은 녹색형과 적색형의 중간으로서 적갈색을 띠었다.

녹색형 (R-G) 순계주는 10°C에서 엽장 생장이 가장 빨랐고 야생형에 비하여 5°C에서 엽장 생장이 느린 특징을 나타내었다. 엽형은 5°C와 10°C에서는 타원형, 15°C와 20°C에서는 원형이었다. 녹색형은 야생형에 비하여 Chl. a와 PE 함량이 낮았고 총 광합성 색소 함량도 낮았는데 Chl. a/T 및 PC/T의 값이 비교적 높은 반면 PE/PC 및 PE/T 값이 현저히 낮기 때문에 녹색을 띠는 것으로 판단되었다.

적색형 (R-R) 순계주는 5°C에서 엽장 생장이 가장 빨랐고 온도가 높아질수록 느렸다. 엽형은 5°C에서는 장타원형이었고 온도가 높아질수록 원형 또는 역삼각형으로 변화하였다. 야생형과 비교해 볼 때 10°C와 15°C에서는 엽장의 성장속도가 유사하였으나 5°C에서 더 빨리 성장하였고 엽폭의 생장은 5~15°C에서 전반적으로 더 빠른 특징을 나타내었다. 적색형은 야생형에 비하여 Chl. a와 PE 함량이 높았고 총 광합성 색소 함량도 현저히 높았다. Chl. a/T의 값이 야생형보다 높은 것을 고려해 볼 때 본 순계주가 적색을 띠는 것은 PE/T는 높은 반면 PC/T는 낮아 결과적으로 PE/PC 값이 현저히 높기 때문인 것으로 판단되었다.

한편, 세장형 (L-B) 순계주는 야생형에 비하여 10~20°C에서 엽장 생장이 빨랐으며, 5°C부터 15°C까지 넓은 온도 범위에서

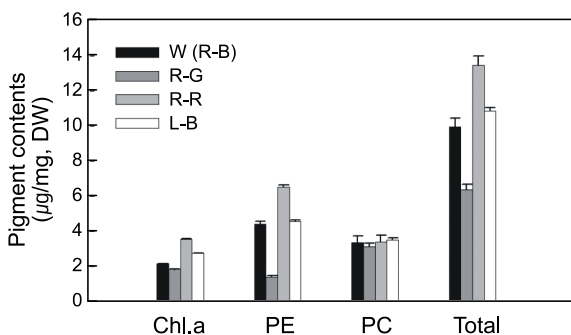


Fig. 4. Content of Chl. a, PE and PC in pure lines of pigmentation and morphological mutants of *Porphyra tenera*. Error bars indicate standard deviation.

세장형을 유지하는 특징을 나타내었다. 세장형이 야생형과 마찬가지로 적갈색을 띤 것은 Chl. *a* 함량이 약간 높은 것을 제외하고는 각 색소 함량 및 조성에서 야생형과 유사하기 때문인 것으로 판단되었다.

본 연구에서 녹색형 순계주는 야생형보다 엽장 생장이 더 느리고 적색형 순계주는 엽장 생장이 더 빠른 특징을 보였다. 녹색형 순계주의 생장이 느린 현상은 방사무늬김의 녹색변이체에서도 유사하였는데 (Migita and Fugita, 1983; Kato and Aruga, 1984; Niwa et al., 2002, 2009) 이에 대하여 Niwa et al. (2002)은 총 광합성 색소 및 PE 함량이 낮아 광합성 효율이 낮아졌기 때문인 것으로 추정하였다. 그러나, 큰참김 (*Porphyra tenera* var. *tamatsuensis*)의 녹색변이체인 HGT-6은 녹색인 사상체와는 달리 엽체가 밝은 갈색을 띠고 야생형보다 Chl. *a*와 PE 함량이 높은 특징을 가지고 있으며 엽장 생장도 더 빠르므로 (Niwa et al., 2008) 본 연구의 녹색형 순계주와는 뚜렷하게 구별되었다.

적색형 순계주는 야생형보다 5°C에서 엽장 생장이 빠르고 전반적으로 엽폭 생장이 빨랐는데 이러한 현상은 광합성 색소 함량이 전반적으로 높아 광합성 효율이 높기 때문인 것으로 추정되었다. 그러나, 방사무늬김의 적색변이체 중에는 야생형보다 광합성 색소 함량이 높음에도 불구하고 생장과 광합성 효율은 더 낮은 경우도 보고되고 있다 (Yan et al., 2000; Niwa et al., 2009).

한편, 야생형과 비교해 볼 때 녹색형 순계주에서 PE/PC 비율이 낮게 나타난 점과 적색형 순계주에서 PE/PC 비율이 높게 나타난 점은 방사무늬김의 자연발생적인 녹색변이체 (Niwa et al., 2002), 화학적 돌연변이 유도제를 이용한 녹색 및 적색변이체 (Yan et al., 2000), 그리고 heavy-ion beam을 이용한 녹색 및 적색변이체 (Niwa et al., 2009)의 연구결과와 유사하였다. Aruga and Miura (1984)는 *in vivo* spectrum을 분석한 결과 녹색형은 주로 phycobilin계 색소의 정량적 변이에서 기인하며, 적색형은 주로 정성적 변이에 기인하는 것으로 추정하였는데, 본 연구에서는 녹색형 순계주의 현저한 색소 함량 감소 현상과 적색형 순계주의 현저한 증가 현상이 관찰되었으므로 정성적 변이의 여부는 확인할 수 없었으나 이들 순계주에서 정량적인 변이는 발생한 것으로 확인되었다.

김 엽체는 주요 광합성 색소로서 Chl. *a*, PE, PC를 가지고 있으며, 엽체의 색은 이들 색소의 상대적인 함량으로 결정된다. 엽체의 색은 양식 김의 품질을 결정하는 요인 중 하나이므로 다양한 색소변이체의 수집 및 유도가 필요하다 (Niwa et al., 1993, 2002; Li et al., 2008). 현재까지 알려진 대부분의 색소변이체는 방사무늬김이었으며 참김은 소수에 불과하였다 (Shin et al., 1997; Niwa et al., 2008). 본 연구에서는 양식장 뿐 아니라 자연개체군에서도 점차 사라져 가고 있는 참김에서 색소변이체를 발견하여 순계주로 분리하였는데 이 순계주들을 활용한다면 향후 참김의 육종과 분자생물학적 연구에 큰 진전을 이룰 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 본 연구에서는 참김의 세장형 순계주를 분리하였는데 이는 참김에서는 처음으로 형태변이체가 분리된 것이라

할 수 있다. 야생형, 녹색형 및 적색형 순계주는 5°C 또는 10°C에서 엽장 생장이 빨랐던 것과 달리 세장형 순계주는 5°C와 10°C 뿐 아니라 15°C에서도 엽장 생장이 빠른 특징을 나타내었다. 또한 다른 순계주들은 온도가 높아질수록 엽체의 형태가 원형으로 변하는 경향이 나타났으나 세장형 순계주는 5°C부터 15°C까지 넓은 온도 범위에서 세장형을 유지하였다. 따라서 세장형 순계주는 넓은 온도 범위에서 생장이 빠르며 엽체의 형태가 세장형인 특징을 가지는 품종으로 확인되었다.

본 연구에서 개발된 참김의 형태 및 색소변이체 순계주는 각각 특징적인 생장 특성과 색소 조성을 나타내고 있으므로 그 자체로서 신품종으로 활용될 수 있을 뿐 아니라, 향후 교잡 육종, 돌연변이육종, 분자육종 등 다양한 분야의 육종 재료로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 전망된다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원의 연구비 지원(RP-2010-AQ-081)으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Aruga Y and Miura A. 1984. *In vivo* absorption spectra and pigment contents of the two types of color mutants of *Porphyra*. Jpn J Phycol 32, 242-250.
- Fujiwara T. 1955. Studies on chromoproteins in Japanese Nori (*Porphyra tenera*). I. A new method for the crystallization of phycoerythrin and phycocyanin. J Biochem 42, 411-417.
- Hamada J, Shin SA and Miura A. 1994. Mapping of centromere distance of light green and light red genes in *Porphyra yezoensis* (Rhodophyta, Bangiales). Jpn J Phycol 42, 401-406.
- Hattori A and Fujita Y. 1959. Spectroscopic studies on the phycobilin pigments obtained from blue-green and red algae. J Biochem 46, 903-909.
- He P and Yarish C. 2006. The developmental regulation of mass cultures of free-living conchocelis for commercial net seeding of *Porphyra leucosticta* from Northeast America. Aquaculture 257, 373-381.
- Hwang MS, Kim SM, Ha DS, Baek JM, Kim HS, Choi HG. 2005. DNA sequences and identification of *Porphyra* cultivated by natural seeding on the southwest coast of Korea. Algae 20, 183-196.
- Kang JW. 1972. Species of cultivated *Porphyra* in Korea. In: Proceedings of the 7th International Seaweed Symposium. Nisizawa K. ed. University of Tokyo Press, Tokyo, Japan. 108-110.
- Katayama K. 1983. Studies of mutations of *Porphyra* - I. Employment of some chemical mutagens. Bull Fish Res Stn Okayama Pref 57, 47-49.

- Kato M and Aruga Y. 1984. Comparative studies on the growth and photosynthesis of the pigmentation mutants of *Porphyra yezoensis* in laboratory culture. *Jpn J Phycol* 32, 333-347.
- Kobara T, Miura A and Aruga Y. 1976. *In vitro* studies on the green type mutant of *Porphyra yezoensis* Ueda. *La Mer* 14, 58-63.
- Li YX, Wang GC, Xu P, Fan JF and Zhou BC. 2008. Induction and characterization of green pigmentation mutant in *Porphyra yezoensis* Ueda. *Aquaculture* 282, 117-123.
- McLachlan J. 1973. Handbook of phycological methods. Growth media-marine. In: Culture Methods and Growth Measurements. Stein JR ed. Cambridge Univ Press. London. U.K. 25-51.
- Meeks JC. 1974. Chlorophylls. In: Algal Physiology and Biochemistry. Stewart WDP ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford, U.K. 161-166.
- Migita S and Fugita Y. 1983. Studies on the color mutant types of *Porphyra yezoensis* Ueda, and their experimental culture. *Bull Fac Fish Nagasaki Univ* 54, 55-60.
- Mitman GG and van der Meer JP. 1994. Meiosis, blade development, and sex determination in *Porphyra purpurea* (Rhodophyta). *J Phycol* 30, 147-159.
- Miura A. 1988. Taxonomic studies of *Porphyra* species cultivated in Japan, referring to their transition to the cultivated variety. *J Tokyo Univ Fish* 75, 311-325.
- Miura A. 1998. Asakusa-nori. In: Data Book of Rare Aquatic Animals and Plants of Japan. Japan Fisheries Resource Conservation Association, ed. 298-299.
- Miura A and Shin JA. 1989. Crossbreeding in cultivars of *Porphyra yezoensis* (Bangiales, Rhodophyta) - Preliminary report. *Kor J Phycol* 4, 207-211.
- Niwa K, Miura A, Shin JA and Aruga Y. 1993. Characterization and genetic analysis of the violet type pigmentation mutant of *Porphyra yezoensis* Ueda (Bangiales, Rhodophyta). *Korean J Phycol* 8, 217-230.
- Niwa K, Mizuta A and Aruga Y. 2002. Genetic characterization of a spontaneous green-type pigmentation mutant of *Porphyra yezoensis* and the significance of using heterozygous conchocelis in nori farming. *Fish Sci* 68, 729-735.
- Niwa K, Kikuchi N, Iwabuchi M and Aruga Y. 2004. Morphological and AFLP variation of *Porphyra yezoensis* Ueda form. *narawaensis* Miura (Bangiales, Rhodophyta). *Phycol Res* 52, 180-190.
- Niwa K, Furuita H, Yamamoto T and Kobiyama A. 2008. Identification and characterization of a green-type mutant of *Porphyra tenera* Kjellman var. *tamatsuensis* Miura (Bangiales, Rhodophyta). *Aquaculture* 274, 126-131.
- Niwa K, Hayashi Y, Abe T and Aruga Y. 2009. Induction and isolation of pigmentation mutants of *Porphyra yezoensis* (Bangiales, Rhodophyta) by heavy-ion beam irradiation. *Phycol Res* 57, 194-202.
- Ohme M, Kunifuji Y and Miura A. 1986. Cross experiments of the color mutants in *Porphyra yezoensis* Ueda. *Jpn J Phycol* 34, 101-106.
- Park EJ. 2006. Genetic polymorphism within *Porphyra yezoensis* related species (Bangiales, Rhodophyta) from Japan and Korea detected by CAPS analysis. Ph.D. Thesis, Nat'l. Univ. Hokkaido, Japan.
- Provasoli L. 1968. Media and prospects for the cultivation of marine algae. In: Cultures and Collections of Algae. Watanabe A and Hattori A. eds. *Jap Soc Plant Physiol*, 63-75.
- Shin JA, Miura A and Fu PF. 1997. Hybrid breakdown and breakthrough in interspecific crosses between *Porphyra yezoensis* and *P. tenera*. *Nat Hist Res Special Issue* 3, 65-70.
- Tanida K and Masuda K. 1994. Fixation of pigmentation mutant of cultured susabi-nori *Porphyra yezoensis* by means of application of its protoplast in the selective breeding. *Hyogo Suisan Kenpo* 31, 63-64.
- Tomimatsu R, Takahashi M, Endo H, Kitade Y, Yasui H and Saga N. 2006. Induction and characterization of a brilliant green mutant in a marine red alga *Porphyra yezoensis* (Bangiales, Rhodophyta). *Fish Genet Breed Sci* 36, 43-47.
- Wang SJ, Zheng YZ, Ma LB, Xu P and Zhu JY. 2000. Gamma-rays induction of mutation in conchocelis of *Porphyra yezoensis*. *Chi J Oceanol Limnol* 18, 47-53.
- Yan XH and Aruga Y. 1997. Introduction of pigmentation mutants by treatment of monospore germings with NNG in *Porphyra yezoensis* Ueda (Bangiales, Rhodophyta). *Algae* 12, 39-54.
- Yan XH and Aruga Y. 2000. Genetic analysis of artificial pigmentation mutants in *Porphyra yezoensis* Ueda (Bangiales, Rhodophyta). *Phycol Res* 48, 177-187.
- Yan XH, Fujita Y and Aruga Y. 2000. Induction and characterization of pigmentation mutants in *P. yezoensis* (Bangiales, Rhodophyta). *J Appl Phycol* 12, 69-75.
- Yan XH, Fugita Y and Aruga Y. 2004. High monospore-producing mutants obtained by treatment with

- MNNG in *Porphyra yezoensis* Ueda (Bangiales, Rhodophyta). *Hydrobiologia* 512, 133-140.
- Yan XH, Li L and Aruga Y. 2005a. Genetic analysis of the position of meiosis in *Porphyra haitanensis* Chang et Zheng (Bangiales, Rhodophyta). *J Appl Phycol* 17, 467-473.
- Yan XH, Liang ZQ, Song WL, Huang J, Ma P and Aruga Y. 2005b. Induction and isolation of artificial pigmentation mutants in *Porphyra haitanensis* Chang et Zheng (Bangiales, Rhodophyta). *J Fish Chi* 29, 166-172.
- Yoshida T. 2000. *Porphyra tenera* Kjellman. In: *Threatened Wildlife of Japan*. Environment Agency of Japan ed. Red Data Book 2nd ed. Vol. 9. p. 218.
- Yoshida T, Kikuchi N and Yoshinaga K. 1999. Wild population of *Porphyra tenera* Kjellman. *Jpn J Phycol* 47, 119-122.

2010년 8월 11일 접수
 2010년 8월 18일 수정
 2010년 10월 4일 수리