한국환경생태학회지 31(1): 88-92, 2017
Korean J. Environ. Ecol. 31(1): 88-92, February 2017

pISSN 1229-3857 eISSN 2288-131X
http://dx.doi.org/10.13047/KJEE.2017.31.1.088

단색광이 방사무늬김(*Pyropia yezoensis*) 사상체의 생장에 미치는 영향[1a]

정상목[2] · 강슬기[2] · 손지수[2] · 전재혁[2] · 이한주[2] · 전지영[2] · 박태희[2] · 이광수[3] · 신현웅[2*]

Influence of Monochromatic Light on Conchocelis Growth and Maturation in *Pyropia yezoensis* (Rhodophyta)[1a]

Sang-Mok Jung[2], Seul-Gi Kang[2], Ji-Su Son[2], Jae-Hyuk Jeon[2], Han-Joo Lee[2], Ji-Young Jeon[2], Tae-Hee Park[2],Kwang-Soo Lee[3], Hyun-Woung Shin[2*]

요 약

본 연구는 방사무늬김(*Pyropia yezoensis*) 사상체의 생장에 대한 단색광의 영향을 연구하기 위해 blue light(480 ㎚), green light(550 ㎚), yellow light(600 ㎚) and red light(730 ㎚)에서 방사무늬김(*P. yezonesis*)의 유리 사상체를 배양한 후 colony 직경, chlorphyll *a* 함량, 각포자낭 형성률을 측정하여 생장특성을 비교 분석하였다. 그 결과, colony 직경과 chlorophyll *a* 함량이 480(blue light) ㎚에서 각각 2,472.6±27.0 ㎛ and 1.55±0.03 mg g.dw^{-1}로 최대값이 나타났고 각포자낭 형성률 역시 37.87±1.08 %로 blue light에서 최대값으로 확인되었다. 따라서 blue light는 다른 단색광(green, yellow, red light)에 비해 김 사상체의 성장 및 성숙을 촉진하는 데에 효과적으로 작용하며, 본 연구결과는 향후 김의 실내 양식 기술 개발에 활용될 수 있을 것이라 사료된다.

주요어: 해조류, 파장, 성장, 성숙, 색소

ABSTRACT

This study investigated the growth and maturation of free conchocelis of *Pyropia yezoensis* under monochromatic light of blue light(480 ㎚), green light(550 ㎚), yellow light(600 ㎚) and red light(730 ㎚) which measured the colony diameter, content of chlorophyll *a* and conchosporangium formation. In the result, the most of colony diameter and chlorophyll *a* showed under the blue light, 2,472.6±27.0 ㎛ and 1.55±0.03 mg g.dw^{-1}. Also, the chlrophyll *a* content of conchocelis was under the blue light. Therefore, the blue light might be favorable for the growth and maturation of conchocelis of *P. yezoensis*. This study will lead development of indoor culture technologies.

KEY WORDS: MARINE ALGAE, WAVELENGTH, GROWTH, MATURATION, PIGMENT

1 접수 2016년 12월 9일, 수정 (1차: 2017년 2월 9일, 2차: 2017년 2월 21일), 게재확정 2017년 2월 22일
Received 9 September 2016; Revised (1st: 9 February 2017, 2nd: 21 February 2017); Accepted 22 February 2017
2 순천향대학교 생명시스템학과 Dept. of Life Science and Biotechnology, Soonchunhyang Univ., Asan 31538, Korea
3 순천향대학교 스포츠학과 Dept. of Sport Sclence, Soonchunhyang Univ., Asan 31538, Korea
a 이 논문은 농림축산식품부, 해양수산부, 농촌진흥청 및 산림청의 Golden Seed Project(213004-04-4-SBA50)와 순천향대학교의 지원에 의하여 연구되었음.
* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-41-530-1284, Fax: +82-41-530-1256, E-mail: hwshin@sch.ac.kr

서 론

김은 홍조식물문(rhodophyta), 홍조식물강(rhodophyceae), 보라털목(bangiales), 보라털목과(bangiacea)에 속하며, 김은 전 세계적으로 약 140여종, 우리나라에는 약 16종이 알려져 있다. 국내 주요 서식종으로는 방사무늬김(*Pyropia yezoensis*), 잇바디돌김(*P. dentata*) 및 참김(*P. tenera*)이 있다(Yosihie *et al.*, 1993). 김은 식이섬유 및 미네랄, 아미노산 등의 영양분을 다량 함유하고 있어 영양 공급원으로서 이용되고 있으며(Kim and Kim, 2007), 영양소 함량은 높으나 열량이 매우 낮아 기능성 식품으로도 주목받고 있다(Hwang and Wang, 2004). 최근 우리나라는 수산물에 대한 소비자들의 인식 변화로 인해 김, 미역과 같은 해조류의 생산량이 증가하면서 해조류 양식기술의 발달 및 개발이 요구되고 있다(Hwang *et al.*, 2007). 국내 해조류 생산량은 어업 전체 생산량의 21.7 %를 차지하고 있으며, 주로 생산되는 김, 미역 및 다시마는 총 해조류 생산량의 95 %를 차지한다. 특히 김은 해조류 총 생산량의 약 34 %를 차지하고 있다(Korean Statistical Information service, 2013).

자연에서 김은 11월 초순 이후 엽체의 크기가 5 cm 이상이 되면 유성생식기관이 형성되기 시작하여 11월 중순부터 과포자를 방출하기 시작한다. 과포자는 생육말기에 과포자가 유실될 때까지 계속해서 방출되며 방출된 과포자는 이매패류 껍데기에 부착하여 가지를 내면서 사상체가 된다. 7월 경부터는 포자낭이 형성되기 시작하고 9월 하순에서 11월 상순에 많은 각포자를 방출하게 된다. 각포자는 일조시간이 짧은 날에 많이 형성되어 방출된다. 김 양식에는 생활사를 인위적으로 제어하여 김발의 포자 부착 조절이 필요하며, 특히 사상체의 질과 양을 제어하는 것은 성공적인 김 양식에 중요하다(Stekoll, 1998). 환경요인의 변화는 사상체 단계의 생리적 반응을 결정하는 사상체의 빛 에너지 이용과 흡수에 중요한 역할을 하며, 사상체의 생화학적 요소 및 생리과정, 사상체의 높은 질과 양 생산에 엄청난 영향을 미칠 것이다. 사상체 단계는 이형 생활사의 영양번식 단계의 핵심이며, 사상체의 광합성 색소 함량은 질에 대한 잠재적 지표로 보고된 바 있다(Yarish *et al.*, 1984). 김 생장에 필요한 환경요인으로는 수온, 염분, 광도, 일조 시간, 영양염류 등이 있는데 이들의 변화는 김의 일반적인 생활사인 배우체의 발아기, 발육 생장기, 생장 최성기의 발생시기와 광합성율에 영향을 미친다(Iwasaki, 1965; Tada *et al.*, 2010).

현재까지 김 사상체에 관한 연구는 Ruangchuay and Notoya(2003)와 López-Vivas *et al.*(2015)의 사상체 colony 직경, 단위 면적당 사상체(%), 각포자낭 형성율을 측정한 생장률 분석이 있다. 하지만 빛의 장에 따른 김 사상체의 성장 및 성숙 특성에 대한 연구는 전무하며, 김 뿐만 아니라 모든 해조류 생장에 대한 빛의 파장에 따른 영향 연구가 미비하며 주로 미세조류를 대상으로 연구되어 왔다. 따라서 본 연구는 국내 주요 양식종인 방사무늬김(*P. yezoensis*) 사상체의 성장 및 성숙에 대한 단색광의 영향을 분석하기 위해, blue light, green light, yellow light, red light에 각각 4주간 배양하여 colony 직경, chlorophyll *a* 함량 및 각포자낭 형성률을 측정하여 비교분석하였다.

연구방법

실험에 사용할 재료는 국립수산과학원 해조류바이오연구센터로부터 방사무늬김(*P. yezoensis*)의 유리 사상체를 분양받은 후 믹서기를 이용하여 유리 사상체를 분쇄한 후 PES배지에 온도 20℃, 광주기 16L:8D, 광량 20 umol m^{-2} s^{-1} 조건에서 4주간 배양시켰다. 직경 450-500 ㎛ 크기의 유리 사상체 colony를 선별하여 PES 배지 4 ㎖가 담긴 12well plate에 배양하였으며, 온도 25℃, 광주기 16L:8D, 광량 50 umol m^{-2} s^{-1}로 고정하고 각 blue light, green light, yellow light, red light filter가 설치된 배양실에서 실험을 진행하였다. 유리 사상체 colony 직경은 광학현미경(CK2, Olympus, Japan)의 digital camera(E3C2300, Sony, Japan)를 통해 관찰하여 image measurement software(Topview)를 사용하여 측정하였다. Chlorophyll *a*는 유리 사상체의 무게를 측정한 후 100 % methanol 1 ml로 추출하여 14,000 ×g로 10분간 원심분리하였다. 상층액을 분리하여 UV-VIS spectrophotometer(UV-1601, Simadzu, Japan)로 흡광도(670 ㎚)를 측정하여 아래 계산식을 이용하여 chlorophyll *a* 함량을 산출하였다. 각포자낭 형성율은 광학현미경(CK2, Olympus, Japan)을 사용하여 유리 사상체의 각포자낭 형성을 관찰하여 측정하였으며, 각 well에 배양된 전체 유리 사상체 가지의 수와 각포자낭이 형성된 가지의 수를 계수한 후 백분율(%)로 나타내었다. 결과분석은 SPSS(ver. 17.0)을 이용하여 단색광에 따른 유리 사상체의 성장 및 성숙 특성을 one-way ANOVA를 통해 비교분석하였으며, 사후분석은 tukey's test를 통해 수행하였다.

$$\text{Chlorophyll } a \text{ (mg g.dw}^{-1}) = (19.8 \times A_{670})/\text{sample amount(mg.dw)}$$

결과 및 고찰

1. Colony 직경

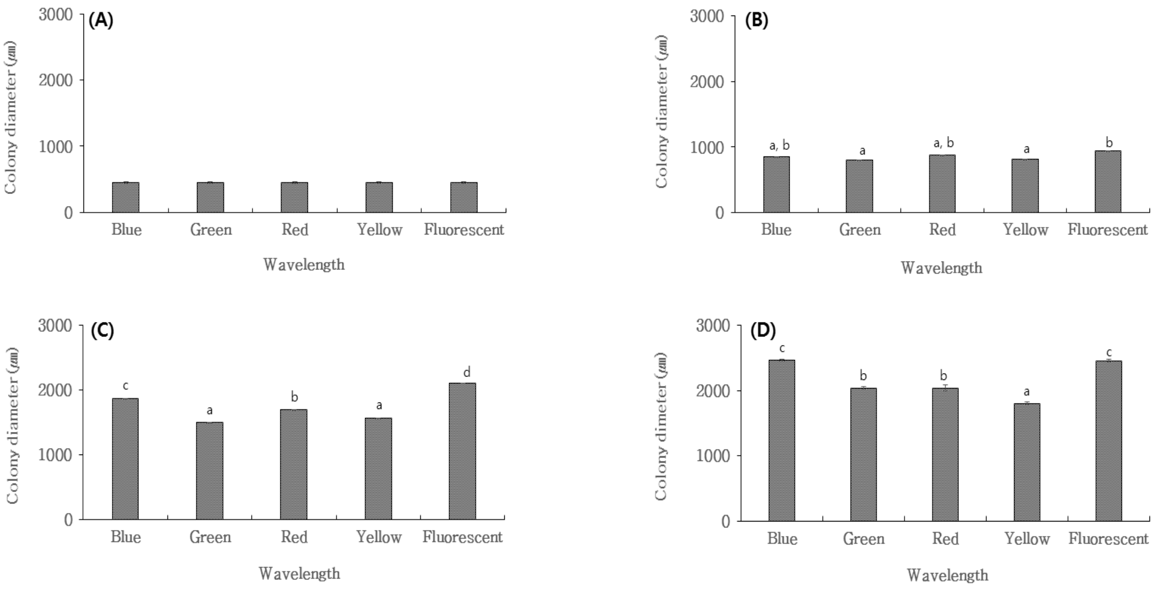

Figure 1. The measurement of diameter of conchocelis colony culturing under blue, green, red, yellow and fluorescent lights($p<0.05$, ANOVA, tukey-HSD, (A):7days, (B):14days, (C):21days, (D):28days)

유리 사상체의 colony 직경을 측정한 결과는 Figure 1과 같이 나타났다. 배양일로부터 14일 후까지는 모든 파장에서 colony의 직경이 약 900 ㎛ 이내로 유사하게 나타났으나, 21일 후부터 blue light에서의 성장률이 다른 파장에 비해 약 1.4배 높게 나타났다. 28일 경과 후 파장별 최대 성장이 나타났으며, blue light는 2,472.6±27.0 ㎛, green light에서는 2,038.5±33.8 ㎛, red light는 2,039.8±84.8 ㎛, yellow light 1,805.2±35.2 ㎛까지 증가하였고, blue light는 fluorescent light의 2,455.5±18.9 ㎛와 유사한 것을 확인할 수 있었다.

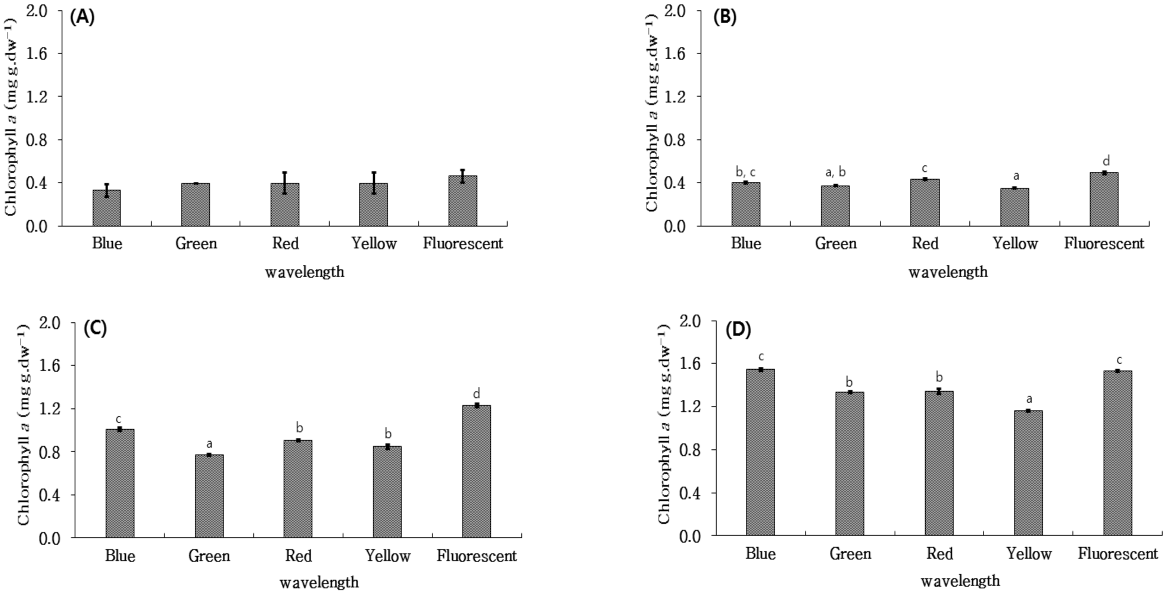

Figure 2. Contents of chlorophyll *a* of conchocelis culturing under blue, green, red, yellow and fluorescent lights($p<0.05$, ANOVA, tukey-HSD, (A):7days, (B):14days, (C):21days, (D):28days)

Table 1. Formation rate of conchosporangium of *Pyropia yezoensis* culturing under blue, green, red, yellow and fluorescent lights (unit : %)

	Days			
	7	14	21	28
Blue	0.00±0.00 1)NS2)	18.10±0.34 c3)	22.27±1.20 c	37.87±1.08 d
Green	0.00±0.00	17.08±0.37 c	19.67±1.80 b	32.85±0.42 c
Red	0.00±0.00	14.62±1.02 b	16.77±0.28 b,c	25.63±3.21 b
Yellow	0.00±0.00	10.03±0.62 a	11.97±0.72 a	18.82±1.74 a
Fluorescent	0.00±0.00	21.69±1.52 d	28.33±0.76 d	36.72±0.44 c,d

1) Mean±SD (n=3)
2) Not Significant
3) p<0.05, ANOVA, Tukey-HSD

2. Chlorophyll *a* 함량

유리 사상체의 chlorophyll *a* 함량을 측정한 결과는 Figure 2와 같이 나타났다. 배양 14일 후, chlorophyll *a*의 최대값은 0.43±0.02 mg $g.dw^{-1}$로 red light에서 나타났으나, 최대 성장률은 blue light에서 나타났고, 21, 28일 이후 blue light에서 최대값이 확인되었다. 최대 chlorophyll *a* 함량은 blue light>red light>green light>yellow light 순으로 각각 1.55±0.03, 1.34±0.05, 1.33±0.02, 1.16±0.02 mg $g.dw^{-1}$로 나타났으며 blue light는 fluorescent light 1.53±0.01 mg $g.dw^{-1}$과 유사하게 나타났다.

3. 각포자낭 형성율

파장별 유리 사상체의 각포자낭 형성율을 측정한 결과, 7일 차까지는 각포자낭이 형성되지 않았고 14일 후부터 각포자낭의 형성을 확인할 수 있었다. 각포자낭의 최대 형성율은 blue light>green light>red light>yellow light 순으로 형성율은 각각 37.87±1.08, 32.85±0.42, 25.63±3.21, 18.82±1.74 %로 나타났다. Green light, red light, yellow light의 각포자낭 형성율은 모든 시기에 fluorescent light보다 약 1.4배 낮았으나, blue light에서는 28일차에 fluorescent light와 유사하게 나타났다.

Félix *et al.*(2006)의 blue 및 red light에 따른 김 엽체의 성장과 pigment 함량 차이에 관한 연구 결과에서 엽체 생장은 red light에서 최대, chlorophyll *a*를 포함한 pigment의 함량은 blue light에서 최대값을 보였다. 본 연구도 blue light에서 chlorophyll *a*의 최대 함량을 보여 Félix *et al.*(2006)의 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 또한, López-FIgueroa and Niell(1989)가 blue light가 홍조류의 색소형성을 촉진시킨다고 보고한바 있다. Oh *et al.*(2015)의 미세조류 4종(*Phaeodactylum tricornutum*, *Nitzschia* sp., *Skeletonema* sp., *Chlorella vulgaris*) 성장에 대한 단색광의 영향을 연구한 결과에서 3종의 미세조류 *P. tricornutum*, *Nitzschia* sp., *Skeletonema* sp.가 blue light에서 최대 성장을 보였으며, blue light, red light, yellow light 순으로 최대 성장을 나타낸 것으로 확인되었다. Das *et al.*(2011)의 연구에서도 미세조류 *Nannochloropsis* sp.의 성장에 대한 빛의 파장의 영향연구를 수행하였으며 그 결과 blue light에서 최대 성장을 나타냈었다. Oh *et al.*(2015)와 Dan *et al.*(2011)의 연구결과와 같이 본 연구결과에서 blue light에서 김의 최대 성장을 확인하였으며, 성장뿐 만아니라 김 사상체의 성숙에도 blue light가 green, red, yellow light에 비해 효과적이며 fluorescent light에서 배양한 경우와 유사한 것을 확인할 수 있었다. 따라서 단색광 blue, green, red, yellow light 중 bule light가 김 사상체의 생장에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보이며, 김 사상체는 파장에 따라 성장특이성을 보여 사상체 배양시 목적에 따라 단색광을 활용한다면 김 양식에 더 효과적일 것이라 사료된다. 본 연구결과를 기반으로 광질 및 기타 요인에 의한 영향 연구를 수행하여 보완한다면 향후 김 사상체 및 엽체에 성장특성에 대한 단색광의 영향 연구뿐 만아니라 김의 실내양식 기술 개발에 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부, 해양수산부, 농촌진흥청 및 산림청의 Golden Seed Project(213004-04-4-SBA50)와 순천향대학교의 지원으로 수행되었기에 이에 감사드립니다.

REFERENCES

Das, P., Lei, W., Aziz, S.S. and J.P. Obbard(2011) Enhanced algae growth in both phototrophic and mixotrophic culture under blue light. Bioresource Technol. 102(4):3883-3887.

Figueroa, F.L., Aguilera, J. and F.X. Niell(1995). Red and blue light

regulation of growth and photosynthetic metabolism in *Porphyra umbilicalis*(Bangiales, Rhodophyta). Eur. J. Phycol. 30(1):11-18.

Hwang, Y.O., Ham, H.J., Kim, A.K., Ryu, S.H., Kim, M.S. and S.G. Park(2007) Contents of lead, mercury, and cadmium in seaweeds collected in coastal area of Korea. Anal, Sci. Technol. 20(3):227-236.(in Korean with English abstract)

Iwasaki H.(1965) Studies on the physiology and ecology of Porphyra tenera. J. Fac. Fish. and Anim. Husb., Hiroshima Univ. 6:171-193.

Kim, K.H. and C.S. Kim(1982) Studies on the manufacture of *Underia pinnatifida* laver and it's physicochemical properties-1. histochemical properties. Korean J. Food Sci. Technol. 14(4):336-341.(in Korean with English abstract)

Korean Statistical Information service(KOSIS)(2013) Retrieved from http://kosis.kr

Lopez-Figueroa, F. and F.X. Niell(1989). Red-light and blue-light photoreceptors controlling chlorophyll a synthesis in the red alga *Porphyra umbilicalis* and in the green alga Ulva rigida. Physiol. Plant. 76(3):391-397.

Lopez-Vivas, J.M., Riosmena-Rodríguez, R., Pacheco-Ruíz, I., and C. Yarish(2015) Growth and reproductive responses of the conchocelis phase of *Pyropia hollenbergii* (Bangiales, Rhodophyta) to light and temperature. J. Appl. Phycol. 27(4):1561-1570.

Oh S.J., Kwon H.K., Jeon J.Y. and H.S. Yang(2015) Effect of Monochromatic light emitting diode on the growth of four microalgae species (*Chlorella vylgaris*, *Nitzschia* sp., *Phaeodactylum tricormutum*, *Skeletonema* sp.). Korean Soc. Mar. Environ. Saf. 21(1):1-8.(in Korean with English abstract)

Ruangchuay, R. and M. Notoya(2003) Physiological responses of blade and conchocelis of *Porphyra vietnamensis* Tanaka et Pham-Hoang Ho (Bangiales, Rhodophyta) from Thailand in culture. Algae. 18(1):21-28.

Stekoll, M.S., Lin, R. and S.C. Lindstrom(1999) Porphyra cultivation in Alaska: conchocelis growth of three indigenous species. Hydrobiologia, 398/399:291-297.

Tada, K., Fujiwara, M. and T. Honjo(2010) Water quality nori (Porphyra) culture in the Seto Inland Sea. Bunseki Kagaku/ Japan Analyst. 59(11):945-955.

Yarish, C., Breeman, A.M., C. Van den Hoek(1984) Temperature, light, and photoperiod responses of some Northeast American and West European endemic rhodophytes in relation to their geographic distribution. Helgol. Meeresunters. 38:273–304.

Yoshie, Y., Suzuki, T., Shirai, T., Hirano, T. and E.H. Lee(1993) Dietary fiber, minerals, free amino acid and fatty acid compositions in dried Nori of several culture places in Korea. J. Tokyo Univ. Fish. 80:197-203.