

## 가시파래(*Ulva prolifera*)의 생장에 미치는 온도 및 조도의 영향

강필준 · 남기완\*

부경대학교 자원생물학과

## Effects of Temperature and Irradiance on Growth of *Ulva prolifera* (Chlorophyta)

Pil Joon Kang and Ki Wan Nam\*

Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

The effects of temperature and irradiance on the growth of *Ulva prolifera* O.F. Müller (Chlorophyta), which has been used commercially as food in Korea, were examined in laboratory culture to conserve the strain. Experiments were conducted under combined factors of temperatures of 5, 10, 15, 20 and 25 °C and irradiances of 30, 50, 80 and 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . The maximum growth of the *U. prolifera* germlings was observed at 20 °C and 80  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , and the minimum growth was recorded at 5 °C and 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Considering these results, the species appears to survive under wide ranges of temperature and irradiance, although growth is inhibited by high irradiances of over 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . This appears to be due to the *in situ* habitat niche of *Ulva prolifera*, which is the middle to lower intertidal zone. In conclusion, optimal conditions for the long-term conservation of *Ulva prolifera* can be established under relatively low temperatures (5 °C) and high irradiance (100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), while the optimal conditions for mass production are 20 °C and 80  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Key words: Chlorophyta, Conservation, Irradiance, Growth, Temperature, *Ulva prolifera*

### 서론

해조류는 1차 생산자로서 광합성을 통하여 지구 온난화의 주범인 CO<sub>2</sub>를 흡수할 뿐만 아니라(Gao and Mckinley, 1994), 해양 동물의 서식처 및 먹이원으로서 해양생태계에서 중요한 역할을 담당하고 있다(Aguilera-Morales et al., 2005).

이러한 해조류의 생존 및 생장은 광, 수온, 염분, 해수유동 및 영양염과 같은 다양한 환경요인에 의해 영향을 받는다(Lobban and Harrison, 1997). 최근 세계의 많은 연안역은 부영양화를 겪고 있는데, 부영양화 해역에서 해조류, 특히 기회성 녹조류는 영양염 흡수를 통해 빠르게 성장하여 해양오염을 완화시키는 역할도 한다. 이 중에서도 가시파래(*Ulva prolifera* O.F. Müller)는 식용, 나아가서 바이오 연료 생산의 원재료와 같이 산업적으로 유용한 생물 소재로서 그 활용가능성이 높은 것으로 알려져 있다(Choi et al., 2002; Zhuang et al., 2012).

따라서 본 연구는 가시파래의 생장에 미치는 온도 및 조도의

영향을 조사하고, 이를 통해 본 종의 최적 성장 및 장기간 보존 조건을 밝힘으로서 유용 자원으로서의 그 잠재적 활용성을 높이고자 수행되었다.

### 재료 및 방법

본 연구를 위한 가시파래 채집은 2014년 4월 17일에 전남 완도 망석리에서 수행되었으며, 현장에서 해수와 함께 즉시 아이스박스에 넣어 연구실로 운반되었다. 채집 지역의 수온자료는 국립해양조사원으로부터 획득되었다. 운반된 가시파래는 유향용 붓을 사용하여 엽체에 착생한 동·식물 및 미세조류를 제거하고 멸균해수로 수회 세척한 후 실험에 사용되었다. 실내배양을 위하여 15 °C의 항온실에서 가시파래가 성숙할 때까지 배양하였다. 성숙한 가시파래에서 방출된 포자는 멸균된 슬라이드 글라스가 들어 있는 페트리 디쉬에 PES배지(Provasoli, 1968)와 함께 마이크로 피펫을 이용하여 200  $\mu\text{L}$ 씩 접종하였다. 추가

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0845>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Korean J Fish Aquat Sci 49(6) 845-848, December 2016

Received 5 October 2016; Revised 23 November 2016; Accepted 29 November 2016

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5922 Fax: +82. 51. 629. 5922

E-mail address: kwnam@pknu.ac.kr

로 규조류 및 남조류의 오염을 방지하지 위하여 산화게르마늄( $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )과 페니실린( $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )을 첨가하였으며, 배양액은 7일 간격으로 전량 교환하였다. 포자의 부착이 이루어진 페트리 디쉬는 12:12h L:D의 광주기  $30, 50, 80, 100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 광도 및  $5, 10, 15, 20, 25^\circ\text{C}$ 의 온도조건에서 각각 7일 간격으로 포자 발아 후의 성장을 관찰하였다. 생장은 디지털 촬영장치가 부착된 도립현미경(LX50, OLYMPUS, Japan)을 이용하여 발아체의 길이를 측정하였다. 성장 측정은 30개의 발아체를 무작위로 선택하여 수행되었고, 3회 반복하였다. 실험은 약 1달 간 수행되었다. 단위 시간 당 포자의 성장을 확인하기 위한 상대 성장률(RGR)은 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{RGR} = 100 \ln(L_2 / L_1) \times T^{-1}$$

(T: 관찰간격,  $L_1$ : 초기 배아 길이,  $L_2$ : 7일 후의 배아 길이)

통계분석은 two-way ANOVA test를 이용하여 유의차를 검정하였고, 데이터 분석을 위해 사용된 통계 프로그램은 SPSS23이었다.

## 결과 및 고찰

성숙된 가시파래의 포자를 받기 위해 실시된 예비실험에서는 온도  $20^\circ\text{C}$ , 조도  $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 가장 성숙이 잘 일어나는 것으로 나타났다. 그러나  $30^\circ\text{C}$ 의 구간에서는 가시파래가 성숙하기 이전에 사멸하였다. 예비실험을 통해 확보된 조건에서 본 실험을 위해 가시파래를 전 배양하였다. 성숙한 가시파래에서 방출된 포자는 원형 내지 타원형의 형태를 띠고 있었다. 가시파래 발아체의 생장은 온도 및 조도의 영향을 받았고(two-way ANOVA,  $P < 0.001$ ), 온도와 조도의 상호작용에도 영향을 받는 것으로 나타났다(two-way ANOVA,  $P < 0.05$ ).

배양 7일 후 가시파래의 생장은  $25^\circ\text{C}$ 의  $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 와  $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 가장 좋은 것으로 나타난 반면,  $5^\circ\text{C}$ 의  $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서는 가장 낮은 성장을 보였다(Fig. 1). 배양 14일 후에는  $20^\circ\text{C}$ 와  $25^\circ\text{C}$ 에서 가장 좋은 성장을 보였고,  $15^\circ\text{C}$  이하에서는 상대적으로 낮은 성장을 보였다. 조도에 있어서는  $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 성장을 보였다(Fig. 2). 배양 21일 후에는 7일 및 14일 후와 비교하여 전체적으로 고른 성장을 보였지만,  $20^\circ\text{C}$ 에서 최대 성장을 보였다. 또한 조도는  $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 빠른 성장을 나타냈다(Fig. 4). 배양 시작 28일 후에도  $20^\circ\text{C}$  및  $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 가장 좋은 성장을 나타내었다(Fig. 4). 이와 유사하게 *Ulva fasciata*의 경우도  $25^\circ\text{C}$ 에서 최적생장을 나타낸다고 보고된 바 있다(Mantri et al., 2011). 반면에 Taylor et al. (2001)은 갈파래속 4종의 성장 실험 결과  $15\text{--}20^\circ\text{C}$ 에서 가장 생장이 좋았고,  $25^\circ\text{C}$  이상에서는 생장이 저해되는 것으로 보고하였다. 이러한 보고에서도 알 수 있는 바와 같이 가시파래의 최적 생장은  $15\text{--}20^\circ\text{C}$ 에서 일어나는 것으로 판단되며, 채집 지역

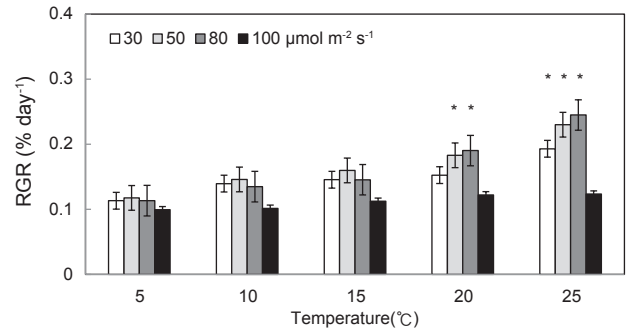


Fig. 1. Effects of temperature and irradiance on growth of *Ulva prolifera* between 0 day and 7 days in culture. Vertical bars indicate standard error. Asterisks indicate statistical significance.

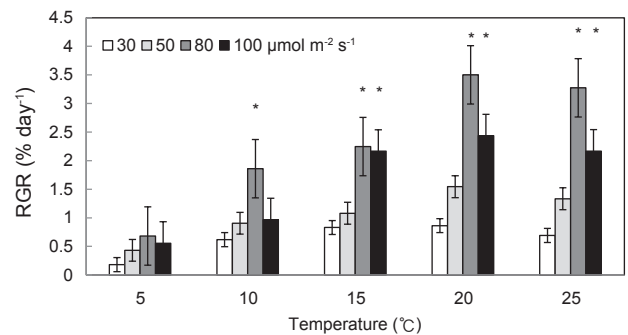


Fig. 2. Effects of temperature and irradiance on growth of *Ulva prolifera* between 7 days and 14 days in culture. Vertical bars indicate standard error. Asterisks indicate statistical significance.

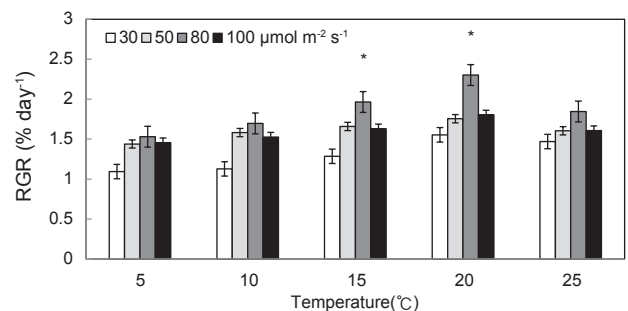


Fig. 3. Effects of temperature and irradiance on growth of *Ulva prolifera* between 14 days and 21 days in culture. Vertical bars indicate standard error. Asterisks indicate statistical significance.

의 수온 자료와 비교하여 보면(Fig. 5), 자연에서는 주로 봄철 이후부터 빠르게 성장하기 시작하여 여름철에 최대로 성장하는 것으로 보인다. 그러나 다른 보고(Taylor et al., 2001; Mantri et al., 2011)와 마찬가지로  $15^\circ\text{C}$  이하의 낮은 온도에서는 상대

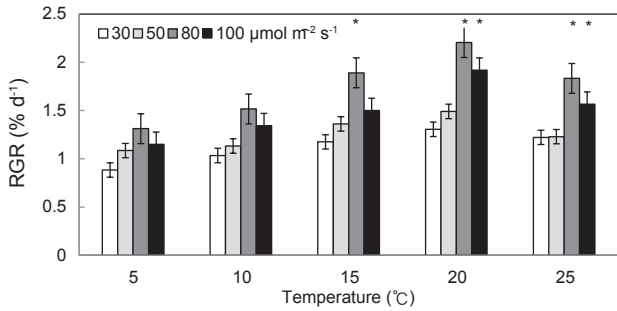


Fig. 4. Effects of temperature and irradiance on growth of *Ulva prolifera* between 21 days and 28 days in culture. Vertical bars indicate standard error. Asterisks indicate statistical significance.

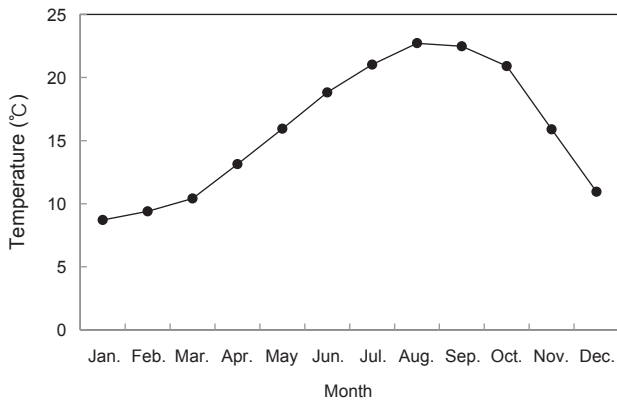


Fig. 5. Seawater temperature of collecting region from January to December in 2014.

적으로 낮은 성장을 보였고, 100 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> 이상의 높은 조도에서는 오히려 성장 저해가 일어나는 것으로 생각된다. 또한 상대적으로 넓은 온도 및 조도 범위에서 일어나는 가시파래의 생장은 주로 조간대 상부 내지 중부에 위치하고 있는 그들의 생육지 환경과 관련이 있는 것으로 생각된다.

최근 중국을 비롯한 여러 지역에서 녹조류 대발생(녹조: Green tide)이 보고되고 있다(Taylor et al., 2001; Shi and Wang, 2009; Hu et al., 2010; Whitehouse and Lapointe, 2015). 이러한 녹조 현상은 주로 수심이 얇은 연안역에서 질소 및 인의 증가에 따른 부영양화에 기인하는데(Bricker et al., 2008; Hu et al., 2010), 여기에 종종 가시파래의 이상 증식도 포함되어 있다(Leliaert et al., 2009). 중국 황해 남부 및 북부 동중국 해역에서 보고된 녹조현상(Choi et al., 2010)도 발생시점의 현장 수온을 고려할 때 위에서 언급한 바와 같이 20°C 부근에 형성되고 있는 가시파래의 최대성장 수온역을 시사한다고 볼 수 있다.

결론적으로 가시파래의 장기간 보존을 위한 억제배양은 5°C의 낮은 온도 및 100 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>의 높은 조도가 필요하고, 이들

을 대량으로 증식시킬 경우 20°C 및 50 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>에서 배양하는 것이 적절한 것으로 생각된다.

사 사

이 논문은 해양수산부의 재원으로 해양수산생명공학기술개발사업 연구개발비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

Aguilera-Morales, Casas-Valdez M, Carrillo-Domínguez S, Gonsález-Acosta B and Pérez-Gil F. 2005. Chemical composition and microbiological assays of marine algae *Enteromorpha* sp. as a potential food source. *J Food Compost Anal* 18, 79-88.

Bricker SB, Longstaff B, Dennison W, Jones A, Boicourt K, Wicks C and Woerner J. 2008. Effects of nutrient enrichment in the nation's estuaries: A decade of change. *Harmful Algae* 8, 21-32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hal.2008.08.028>.

Choi DL, Noh JH, Ryu JH, Lee JH, Jang PK, Lee T and Choi DH. 2010. Occurrence of green macroalgae (*Ulva prolifera*) blooms in the northern east China Sea in summer 2008. *Ocean Polar Res* 32, 351-359. <http://dx.doi.org/10.4217/OPR.2010.32.4.351>.

Choi DS, Koo JG, Ha JH and Yoon JT. 2002. Extraction and chemical composition of soluble polysaccharide from green laver, *Enteromorpha prolifera*. *J Kor Fish Soc* 35, 519-523.

Gao K and McKinley KR. 1994. Use of macroalgae for marine biomass production and CO<sub>2</sub> remediation: a review. *J Appl Phycol* 6, 45-60.

Hu C, Li D, Chen C, Ge J, Muller-Karger FE, Liu J, Yu F and He M-X. 2010. On the recurrent *Ulva prolifera* blooms in the Yellow Sea and East China Sea. *J Geophys Res Oceans* 115, C05017, <http://dx.doi.org/10.1029/2009JC005561>.

Leliaert F, Zhang X, Ye N, Malta E-j, Engelen AH, Mineur F, Verbruggen H and De Clerk O. 2009. Identity of the Qingdao algal bloom. *Phycological Res* 57, 147-151.

Lobban CS and Harrison PJ. 1997. *Seaweed Ecology and Physiology*. Cambridge University Press, New York, U.S.A., 366 pp.

Mantri VA, Singh RP, Bijo AJ, Kumari P, Reddy CRK and Jha B. 2011. Differential response of varying salinity and temperature on zoospore induction, regeneration and daily growth rate in *Ulva fasciata* (Chlorophyta, Ulvales). *J Appl Phycol* 25, 243-250. <http://dx.doi.org/10.1007/s10811-010-9544-4>.

Provasoli L. 1968. Media and prospects for the cultivation of marine algae. In: *Cultures and Collections of Algae*. Watanabe A and Hattori A, eds. Proceeding of the US-Japan Conference, Japanese Society for Plant Physiology, Tokyo, Japan, 63-75.

Shi W and Wang M. 2009. Green macroalgae bloom in the Yellow

- Sea during the spring and summer of 2008. J Geophysical Res 114, C12010, <http://dx.doi.org/10.1029/2009JC005561>.
- Taylor R, Fletcher RL and Raven JA. 2001. Preliminary studies on the growth of selected 'green tide' algae in laboratory culture: effects of irradiance, temperature, salinity and nutrients on growth rate. Bot Mar 44, 327-336.
- Whitehouse LNA and Lapointe BE. 2015. Comparative eco-physiology of bloom-forming macroalgae in the Indian River Lagoon, Florida: *Ulva lactuca*, *Hypnea musciformis*, and *Gracilaria tikvahiae*. J Exp Mar Bio Ecol 471, 208-216. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2015.06.012>.
- Zhuang Y, Guo J, Chen L, Li D, Liu J and Ye N. 2012. Microwave-assisted direct liquefaction of *Ulva prolifera* for bio-oil production by acid catalysis. Bioresour Technol 16, 113-139. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.04.036>.