

내생녹조 3종의 생장과 감염에 미치는 온도 및 광의 영향

김찬송 · 김영식*

군산대학교 해양생물공학과

Effects of Temperature and Irradiance on Growth and Infection of Three Endophytic Green Algae

Chansong Kim and Young Sik Kim*

Department of Marine Biotechnology, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

The three endophytes, *Blastophyssa rhizopus*, *Bolbocoleon piliferum*, *Ulvella leptochaete*, were isolated in a laboratory culture from a *Grateloupia lanceolata* thallus collected in Jeju. Effects of temperature and irradiance on growth and infection of the three species, were examined. Based on the unialgal cultures, their growth was examined under six temperatures (9, 13, 17, 21, 25, 29 °C) and two irradiance levels (60, 100 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Also, infection experiments to the five hosts (*Ulva intestinalis*, *Scytosiphon lomentaria*, *Gracilaria verimiculophylla*, *Chondrus ocellatus*, and *Grateloupia elliptica*) with three endophytes were carried out under four temperatures (10, 15, 20, 25 °C) and two irradiance levels (60, 100 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). In culture of the endophytes, optimum growth was found in 100 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ in combination with 21 °C. At the end of infection experiment, endophytes were observed at all the hosts. Among three endophytes, *U. leptochaete* was the most common at the five hosts. However, we did not observe any endophytes at all hosts tested under 10 °C condition. Based on this result, it appears that temperature acts as a limiting factor to infection of the three species.

Key words: Endophytic green algae, Temperature, Irradiance, Growth, Infection

서론

미세 사상형 조류는 암반은 물론 다른 생물 표면 또는 내부에서 각각 착생해조(epiphytes)와 내생해조(endophytes)로 서식한다(Correa et al., 1994; Correa, 1997). 많은 미세 사상형 조류는 크기가 큰 숙주(host)의 내부에 깊숙이 박혀 생활하고 있으며, 이 내생조류는 숙주와 공생의 한 형태로 생활한다고 인식되고 있다(Lewis, 1973; Goff, 1982; Douglas and Smith, 1989; Ganuna and Parodi, 2008). 이중 특히 미세 사상형 갈파래과 분류군은 대략 109종이 AlgaeBase에 보고되어 있으나(Guiry and Guiry, 2015), 동정이 쉽지도 않고, 연구도 미흡하여 실질적인 종다양성은 이보다 높을 것으로 예상된다. 일반적으로 미세 사상형 내생조류는 대부분 숙주에 해를 끼치지 않거나 또는 그들의 숙주를 약간만 변형시켜 영향을 주지 않지만, 일부 종들은 숙주 내부에 종양과 같은 병변을 일으켜 다른 해조류 또는

산호의 병원균이 되기도 한다고 알려져 있다(Andrews, 1977; Yoshida and Akiyama, 1979; Nielsen and McLachlan, 1986a, b; Peters, 1991; Correa et al., 1994; Correa, 1997).

특히 상업적으로 유용한 해조의 경우에는 내생조류가 숙주의 생물량과 품질에 영향을 끼칠 수가 있는데, 북미와 유럽에서 유용종으로 활용되고 있는 홍조 진두발류(*Chondrus crispus*)에서는 *Ulvella*, *Phaeophila*, *Bolbocoleon*속(genus)에 속해 있는 내생조류들이 숙주에게 심한 병변과 세포적 손상을 끼친다고 보고 되었다(Correa et al., 1988; Correa and McLachlan, 1991, 1992). 또한 유용 갈조류 미역(*Undaria pinnatifida*)은 내생갈조(e.g. *Streblonema*)에 의해 조직이 두꺼워 지고(Yoshida and Akiyama, 1979), 다시마류 일종인 *Laminaria hyperborea*의 경우에는 내생갈조에 의해 심하게 감염되어 숙주해조의 상업적 가치를 떨어뜨리기도 한다(Lein et al., 1991).

그러므로 해조양식이 많이 이루어지고 있는 아시아 지역에서

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0088>



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.

Kor J Fish Aquat Sci 48(1) 088-095, February 2015

Received 26 January 2015; Revised 2 February 2015; Accepted 2 February 2015

*Corresponding author: Tel: +82. 63. 469. 4597 Fax: +82. 63. 465. 3917

E-mail address: kimys@kunsan.ac.kr

는 양식 해조류에 대한 질병 감염에 다소 민감하다(Cragie and Correa, 1996). 따라서 대규모 해조양식이 행해지고 있는 우리나라의 경우에는 내생조류에 관한 연구가 반드시 필요한 실정 이지만 아직까지 한국산 내생조류에 관한 연구는 미미하다. *Ulvella*속(genus)의 한 종인 한국산 가지녹실딱지(*Ulvella viridis* = *as Entocladia viridis*)는 이미 Lee et al. (1998)에 의해 확인되었지만, 이 종은 홍조 왜비단잘록이(*Griffithsia japonica*) 업체 위에서 서식하고 있는 착생해조로서 보고되었을 뿐이다. 최근 Lee et al. (2013)은 한국산 진두발(*Chondrus ocellatus*) 업체의 내부에 *Ulvella* sp.가 서식하고 있음을 최초로 보고하였다. 그 후 Kim et al. (2014)은 도박류(*Grateloupia* spp.) 업체 내부에 내생조류가 서식하고 있음을 확인하였고, 숙주로부터 이를 분리 배양하여 이들 종이 *Blastophysa rhizopus*, *Bolbocoleon piliferum*, *Ulvella leptochaete*임을 밝혀서 한국산 미기록종으로 보고한 바 있지만 이 내생조류들의 분류와 형태학적 특징을 제외하고는 다른 정보가 거의 없다.

따라서 본 연구는 지금까지 수행되지 않았던 한국산 내생녹조류의 성장과 숙주에 대한 감염에 있어 빛과 온도의 영향을 밝혀 차후 유용해조의 내생조류 감염에 관한 중요한 정보로 활용될 수 있는 기초적 자료를 확보하고자 시도되었다.

재료 및 방법

내생녹조의 성장에 대한 온도와 광 영향 실험

본 연구에 사용된 내생녹조류의 숙주인 가는개도박(*Grateloupia lanceolata*)은 2013년 8월에 제주도 도두동(33°32'N, 126°28'E)의 조하대 5 m 수심에서 채집되었다. 가는개도박의 업체로부터 내생조류의 감염이 의심되는 반점 부분을 Cork borer (직경 2.5 cm)를 이용하여 도려내고, 이 부분을 멸균해수와 붓을 이용하여 수 회 깨끗이 씻어낸 후, 30 mL의 PES배지가 담긴 용기에서 20°C, 100 μmol m⁻²s⁻¹, 16:8 h LD 광주기 조건에서 배양하였다. 구조류의 번식을 억제하기 위해 배양액에 산화게르마늄 5 mgL⁻¹을 첨가하였으며, 매 5일마다 배지를 전량 교체하였다. 2주 후 내생녹조류가 숙주 업체 밖으로 나오면 이 내생녹조류의 일부를 떼어내어 새로운 배양 용기에 옮겨서 배양하였다. 이 과정을 수 회 반복하여 오염되지 않은 단일 종의 내생녹조류 세 종, *U. leptochaete*, *B. piliferum*, *B. rhizopus*을 얻었다. 빛과 온도에 대한 생장 반응 실험을 위하여 분리된 세 종의 내생녹조류 2 g을 각각 멸균해수 10 mL에 넣고 믹서기로 30 초간 분쇄하여 균질화시키고, 용액 1 mL씩을 뽑아 20 mL의 PES배지에 넣어 배양하였다. 실험은 6개의 온도(9, 13, 17, 21, 25, 29°C), 2개의 광도(60, 100 μmol m⁻²s⁻¹)를 조합한 배양기에서 총 21일 동안 수행되었다. 이때 염분은 34 psu였고, 광주기 16:8 h LD이었으며, 매 3일마다 PES배지를 전량 교환하여 주었다. 내생조류의 생장은 각 조건마다 매 3일 간격으로 광학현미경(Leica DM LB, Germany) 하에서 현미경 사진촬영장

치로(Q imaging Micropublisher 5.0RTV camera, Canada) 촬영한 후, Image J 프로그램(1.4s, National Institute of Health, Bethesda, USA)을 이용하여 길이를 측정하였는데, 사상형 업체 가지의 길이를 모두 합하여 산출하였다. 각 실험구별로 내생녹조류 30개체의 길이를 측정하였으며 3개의 반복구를 두었다. 길이를 측정한 후 상대성장률(RGR, relative growth rate)은 아래의 식으로 계산하였다(Kraan et al., 2000).

$$RGR=100 (\ln L_2 - \ln L_1) / t_2 - t_1$$

L₁, 실험 개시 때 업체 길이; L₂는 측정 시 업체 길이, t₁, t₂는 배양일수

생장에 대한 실험 자료는 Duncan multiple range tests를 이용한 일원산분석을 통하여 분석하였고, 모든 통계분석은 SPSS 18.0을 이용하여 수행하였으며 신뢰한계 P<0.05였다.

내생녹조의 숙주 감염에 대한 온도와 광 영향 실험

온도와 빛이 숙주의 감염에 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위하여 생장실험에 사용되었던 세 종의 내생녹조류(*U. leptochaete*, *B. piliferum*, *B. rhizopus*)로 감염 실험을 수행하였다. 내생조류 감염 실험에서 감염시킬 숙주 해조류로는 녹조류 창자파래(*Ulva intestinalis*), 갈조류 고리매(*Scytosiphon lomentaria*), 홍조류 꼬시래기(*Gracilaria vermiculophylla*), 진두발(*Chondrus ocellatus*), 참도박(*Grateloupia elliptica*)이 이용되었다. 녹조류 창자파래는 실험실에서 유주자를 받아 업체로 배양한 개체를 활용하였으며, 나머지 해조류는 전남 완도 정도리 조건대에서 2014년 1월에 채집하여 실험을 수행하였다. 감염 실험에 사용된 숙주는 해부현미경 하에서 멸균해수와 붓을 이용하여 각 해조류의 정단 부분을 씻어내어 착생되어있던 생물들을 모두 제거하였으며, 실험 개시 전 미리 단면을 잘라 내생조류의 감염 여부를 확인하였다. 내생조류가 없음이 확인된 깨끗한 숙주의 정단부로부터 약 2 cm 정도의 크기로 잘라, 대조구에는 숙주 개체만, 감염 실험구에는 숙주 개체와 함께 각 세 종의 내생녹조 2 g을 멸균해수 10 mL에 넣어 믹서기로 균질화시킨 용액 1 mL씩 넣고 각각의 20 mL의 PES배지에 넣어 배양하였다. 실험에 사용된 숙주 개체는 각 실험구마다 5 개체씩이었으며, 3개의 반복구를 두었다. 감염 실험은 4개의 온도(10, 15, 20, 25°C), 2개의 광도(60, 100 μmol m⁻²s⁻¹) 조건하에서 수행하였으며, 염분은 34 psu, 광주기는 16:8 h LD 조건을 유지하였다. 실험 개시 15일 후에 각 실험구로부터 숙주 해조류를 3개체씩 꺼내어 면도날로 절편을 제작, 각 숙주의 단면을 확인하여 숙주 내부에 내생해조의 감염 여부를 확인하였다.

결 과

내생녹조의 성장에 대한 온도와 광 영향

*Blastophysa rhizopus*의 사상형 세포는 길이가 $53.8 \pm 22.2 \mu\text{m}$, 너비가 $10.0 \pm 3.8 \mu\text{m}$ 이며 구형에서부터 튜브 형태까지 다양하며, 다른 두 종의 내생해조와는 형태가 뚜렷이 구별된다 (Fig. 1A). 이 종은 배양 21일 후 $60 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서 온도에 따른 엽체 길이는 17-28 μm 범위였으며, 21°C에서 최대, 9°C에서 최소였다. $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서도 각 온도에 따라 19-32 μm 범위로 성장하였고, 최대값과 최소값을 보인 온도는 각각 21°C와 9°C로 $60 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건과 동일하였다(Fig. 2). 모든 온도 조건에서 초기 길이 [9.28 ± 0.76 (mean \pm SE) μm]에 비하여 2-3배 정도 성장하였다. 상대성장률은 배양 21일에 $60 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서 $2.67\text{-}4.41\%\text{day}^{-1}$ 으로 21°C에서 가장 높았고, 9°C에서 가장 낮았으나 각 온도간 성장률에 있어 통계적인 유의차는 없었다($P < 0.05$) (Table 1). $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서는 성장률이 $2.76\text{-}4.83\%\text{day}^{-1}$ 으로 역시 최대값은 21°C, 최소값은 9°C였고, 21°C를 제외한 나머지 값은 통계적으로 유의차가 없었다(Table 1).

*Bolbocoleon piliferum*은 다소 불규칙한 사상형 세포의 형태로 $214.3 \pm 95.7 \mu\text{m}$ 의 길이와 $39.4 \pm 21.0 \mu\text{m}$ 의 폭에 다소 엷은 녹색을 띠는 내생녹조이다(Fig. 1B). 이 종은 배양 21일 후 $60 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서 엽체의 길이가 각 온도에 따라 38,788-143,620 μm 범위로 성장하였고, 21°C에서 최대, 9°C

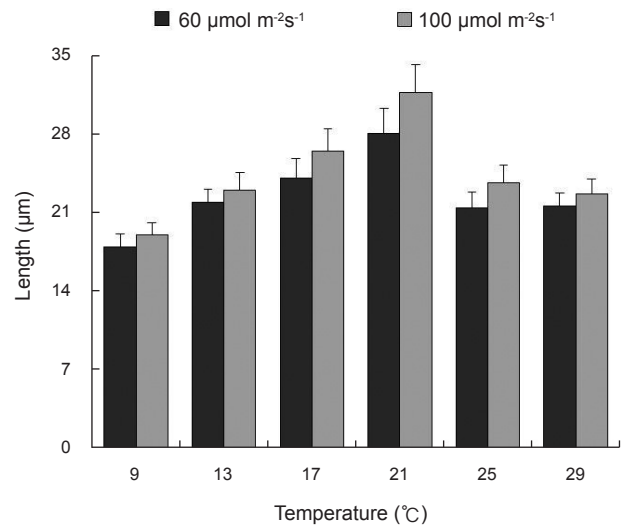


Fig. 2. Length of *Blastophysa rhizopus* were cultured at 21 days under 34 psu, and 16:8 h LD condition (n=3 replicates). Vertical bars indicated errors.

에서 최소였다. $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서는 각 온도에 따라 46,848-187,188 μm 범위로 성장하였고, 최대, 최소값을 보인



Fig 1. Three endophytic species in culture; *Blastophysa rhizopus* (A), *Bolbocoleon piliferum* (B) and *Ulvella leptochaete* (C). Scale bars represent: A, B, 50 μm ; C, 30 μm .

Table 1. Average RGR (% day⁻¹) of *Blastophysa rhizopus*, *Bolbocoleon piliferum* and *Ulvella leptochaete* thallus for 21 days. Culture conditions are 34 psu, and 16:8 h LD. Values are means \pm SE (n=3 replicates)

Host	Irradiance ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Temperature (°C)					
		9	13	17	21	25	29
<i>Blastophysa rhizopus</i>	60	2.669 \pm 0.338	2.729 \pm 0.479	3.811 \pm 0.594	4.409 \pm 2.100	2.892 \pm 1.171	2.893 \pm 0.986
	100	2.756 \pm 0.619 ^A	3.209 \pm 0.966 ^A	3.889 \pm 0.768 ^A	4.832 \pm 2.330 ^B	3.533 \pm 1.384 ^A	3.107 \pm 1.139 ^A
<i>Bolbocoleon piliferum</i>	60	13.975 \pm 5.726	14.526 \pm 3.590	17.847 \pm 7.123	19.124 \pm 9.634	17.915 \pm 7.744	17.603 \pm 8.938
	100	14.033 \pm 5.440	15.209 \pm 8.939	16.962 \pm 7.58	20.351 \pm 10.023	18.031 \pm 7.222	17.586 \pm 9.022
<i>Ulvella leptochaete</i>	60	15.589 \pm 4.318 ^a	22.369 \pm 3.268 ^{ab}	27.081 \pm 3.981 ^{ab}	29.772 \pm 3.832 ^b	24.329 \pm 4.963 ^b	23.450 \pm 2.392 ^c
	100	17.849 \pm 6.067 ^A	24.026 \pm 4.366 ^{AB}	28.876 \pm 1.976 ^{AB}	31.623 \pm 4.191 ^B	27.781 \pm 4.583 ^{AB}	24.617 \pm 2.236 ^{AB}

A-B, a-b, Different superscript letters within rows represent significant differences between treatments (Duncan's multiple test, $P < 0.05$).

온도는 21°C와 9°C였다(Fig. 3). 모든 온도조건에서 초기 길이 ($69.02 \pm 5.91 \mu\text{m}$)에 비하여 많은 성장을 하였다. *B. piliferum*의 상대성장률은 배양 21일에 $60 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서 $13.98\text{--}19.13\% \text{day}^{-1}$ 으로 21°C에서 가장 높았고, 9°C가 가장 낮았으나 각 온도간 상대성장률은 통계적으로 유의한 차가 없는 것으로 확인되었다(Table 1). $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서는 성장률이 $14.03\text{--}20.35\% \text{day}^{-1}$ 으로 역시 최대, 최소값은 $60 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건과 동일한 경향을 보였지만 이 역시 온도간 상대성장률은 통계적으로 유의한 차가 없었다(Table 1).

*Ulvella leptochaete*는 작은 사상형 세포로 길이 17.0 ± 12.3

μm , 너비 $4.5 \pm 2.0 \mu\text{m}$ 로서 녹색을 띠는 내생녹조이다(Fig. 1C). 이 종은 배양 21일 후 $60 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서 엽체의 길이가 각 온도에 따라 $46,546\text{--}506,902 \mu\text{m}$ 범위로 성장하였는데, 21°C에서 최대, 9°C에서 최소값을 기록하였다. $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서는 각 온도에 따라 $57,888\text{--}670,558 \mu\text{m}$ 범위로 성장하였고, 최대값과 최소값을 보인 온도는 $60 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건과 동일하였다(Fig. 4). 이 종도 배양기간 동안 초기 길이 ($42.62 \pm 3.34 \mu\text{m}$)에 비하여 활발한 성장을 하였다. *Ulvella leptochaete*의 상대성장률은 배양 21일에 $60 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서 $15.59\text{--}29.77\% \text{day}^{-1}$ 으로 21°C에서 가장 높았고, 9°C 순으

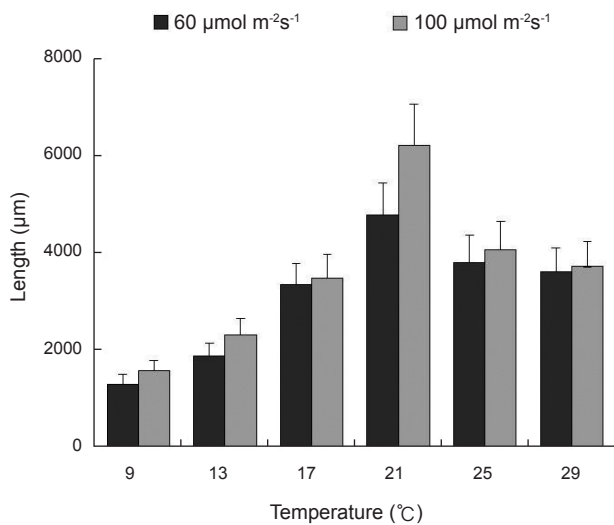


Fig. 3 Length of *Bolbocoleon piliferum* were cultured at 21 days under 34 psu, and 16:8 h LD condition (n=3 replicates). Vertical bars indicated errors.

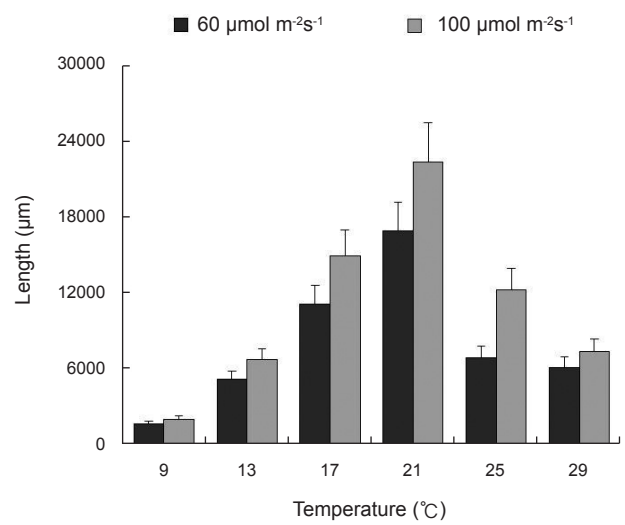


Fig. 4. Length of *Ulvella leptochaete* were cultured at 21 days under 34 psu, and 16:8 h LD condition (n=3 replicates). Vertical bars indicated errors.

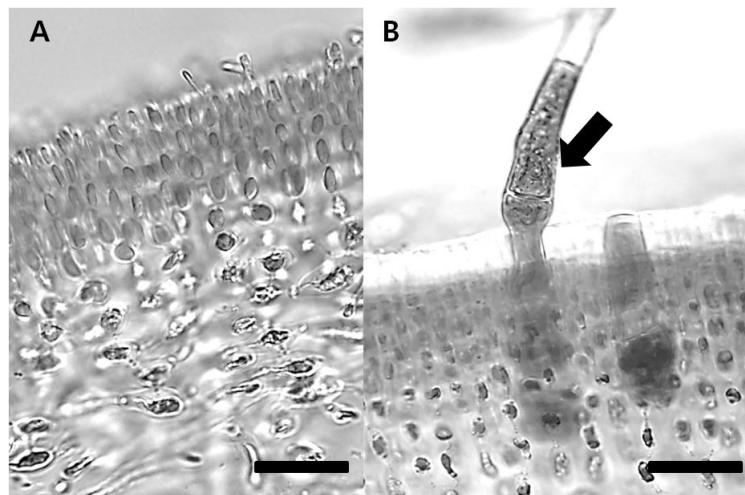


Fig 5. Details of non-infected (A) and infected (B) transversal sections of host *Grateloupia elliptica*. Arrow indicates endophytic algae. Scale bars represent $20 \mu\text{m}$.

로 낮아졌는데, 다른 종과 다르게 온도에 따른 성장률에 있어 통계적인 유의차를 보였다(Table 1). 100 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서는 성장률이 17.85-31.62% day^{-1} 으로 역시 성장률의 최대값과 최소값은 각각 21°C, 9°C를 기록했지만 온도에 따른 통계적 유의차는 없었다.

내생녹조의 숙주 감염에 대한 온도와 광 영향

감염 실험 개시 후 15일 후에 대조구와 감염 실험구를 관찰한 결과 대조구에서는 내생해조가 관찰되지 않았지만 감염 실험

구에서는 내생해조가 관찰되었다(Table 2, Fig. 5). 특히 *U. leptochaete*는 5개의 모든 숙주에서 감염이 확인되었다. 꼬시래기와 진두발 실험구에서는 *U. leptochaete*를 제외한 다른 두 내생해조를 관찰할 수 없었고, 고리매 실험구에서는 *B. rhizopus*를 숙주 내부에서 관찰할 수 없었다. 참도박 실험구에서는 세 종의 내생해조가 숙주에 모두 감염되었다. 그러나 두 조건과 10°C로 조합된 실험구의 경우 숙주 5종 모두에서 어떠한 내생해조도 관찰할 수 없었다.

고 찰

내생조류에 대한 연구는 확인과 동정의 어려움으로 인해 그리 많지 않으며, 이 내생조류의 성장에 관한 연구는 더욱 빈약한 실정이다. 대부분의 연구가 내생조류의 분류나 계통발생학적인 연구에 집중되어있고(O'Kelly et al., 2004; Rinkel et al., 2012; Nielsen et al., 2013, 2014), 각 내생조류와 숙주인 각 해조류와의 상관관계를 밝히려는 연구들이다(Correa et al., 1988; Correa and McLachlan, 1991, 1992, 1994; Lein et al., 1991; Sánchez et al., 1996; Del Campo et al., 1998; Gauna and Parodi, 2008).

*Blastophysis rhizopus*는 중남미(Ballantine and Wynne, 1986; Villaca et al., 2010), 유럽(Brodie et al., 2006; Guiry, 2012), 호주(Bostock and Holland, 2010), 일본(Iima and Tatewaki, 1987) 등 많은 지역의 다양한 숙주에 서식하고 있음이 보고되었지만, 이 연구들 대부분이 단순한 출현종 목록 또는 분포론적인 연구이다. Iima and Tatewaki (1987)는 홍조 미끌도박(*Grateloupia turuturu*) 염체 내부에 일본산 *B. rhizopus*가 서식하고 있음을 보고하면서, 생활사와 숙주 특이성에 대한 연구를 수행하였다. 그들의 배양실험 결과 이 종은 18-22°C의 온도 범위와 14:10 h LD의 장일주기 조건에서 잘 자라지만, 10-14°C의 온도 범위와 10:14 h LD의 단일주기 조건에서는 생장이 억제되고, 5°C에서는 생장이 전혀 이루어지지 않는다고 하였다. 본 연구에서는 60, 100 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 광도 조건 모두 21°C에서 생장이 가장 좋았고, 그 다음으로는 17°C이었다. 비록 일본산 *B. rhizopus*는 광도, 온도 등 배양 조건에 대한 정보가 부족하지만 우리의 연구와 유사한 온도 범위에서 최적 성장을 보이고 있다고 추정할 수 있다.

*Bolbocoleon piliferum*의 경우 배양을 통한 최적 성장 조건을 구명하는 연구는 전무하다. 이 종의 계통발생적 연구를 수행하기 위한 시료 확보 차원에서 배양이 이루어졌고(O'Kelly et al., 2004), 최적의 성장 배양 조건이 아닌 간단한 온도 및 광도 조건만이 제시되었다. O'Kelly et al. (2004)은 미국산 갈조류 다시마목과 해조 *Cymathere triplicate*에 내생하고 있는 *B. piliferum*을 연구하면서 18°C, 5-20 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 12:12 h LD 광주기 조건으로 배양하였다. 또한 Kokame and Yoshida (1988)는 홍조 싹풀(*Glosiophonia capillaris*)에 내생하고 있는 이 종을 일본산 미기록종으로 처음 보고하면서, 배양은 10°C, 16:8 h LD 광주

Table 2. Results of bialgal culture of three endophytic algae with various algal species as hosts under 34 psu, and 16:8 h LD (+, occurrence of infection)

Host	Endophytic algae	Irradiance ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Temperature (°C)			
			10	15	20	25
<i>Ulva intestinalis</i>	<i>U. leptochaete</i>	60		+		
		100		+		
	<i>B. piliferum</i>	60				
		100			+	
	<i>B. rhizopus</i>	60				
		100				+
<i>Scytosiphon lomentaria</i>	<i>U. leptochaete</i>	60				+
		100				+
	<i>B. piliferum</i>	60		+		+
		100				
	<i>B. rhizopus</i>	60				
		100				
<i>Gracilaria vermiculophylla</i>	<i>U. leptochaete</i>	60				+
		100				
	<i>B. piliferum</i>	60				
		100				
	<i>B. rhizopus</i>	60				
		100				
<i>Chondrus ocellatus</i>	<i>U. leptochaete</i>	60			+	+
		100				
	<i>B. piliferum</i>	60				
		100				
	<i>B. rhizopus</i>	60				
		100				
<i>Grateloupia elliptica</i>	<i>U. leptochaete</i>	60		+	+	
		100		+	+	
	<i>B. piliferum</i>	60		+	+	
		100		+	+	+
	<i>B. rhizopus</i>	60				+
		100				

기 조건만을 언급하였다. 다양한 온도와 광도를 조합하여 배양한 실험 연구가 아니기에, 본 연구 결과와 직접적인 비교는 어렵다. 따라서 이종의 생장 최적조건에 대한 다양한 정보가 없는 상황에서 이번 연구는 차후 이종과 관련된 연구를 수행하게 될 때 기초적 자료로 활용될 수 있을 것이다.

*Ulvella leptochaete*가 속한 *Ulvella*속은 현재 48종이 알려져 있어(Guiry and Guiry, 2015), 다른 두 속에 비하여 그 다양성이 높은 편이다. 그렇지만 많은 연구가 분류와 계통발생학적인 연구이고(Rinkel et al., 2012; Nielsen et al., 2013, 2014), 유용종인 서구산 주름진두발(*Chondrus crispus*)과 *Ulvella* (as *Acrochate*) 종의 감염 중, 숙주 특이성, 미세구조 등에 관한 연구들이다(Correa et al., 1988; Correa and McLachlan, 1991, 1992, 1994). 다른 두 종에 비하여 상대적으로 많은 연구가 수행되었음에도 *Ulvella*속 종의 생장에 대한 정보는 빈약한 편으로, *B. piliferum*처럼분류학적 연구를 수행하기 위한 시료 확보 차원에서의 배양 조건만을 제시한 경우가 많았다(Rinkel et al., 2012). Deng et al. (2011, 2012)은 염주말류(*Chaetomorpha*)에 착생했던 *U. leptochaete* (as *Acrochate leptochaete*)을 중국에서 처음으로 보고하면서 다양한 온도와 광도를 조합하여 배양 실험을 수행하였다. 그들의 실험에 의하면 17°C, 36 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 10:14 h LD 조건에서 생장이 가장 좋았다. 최적 생장 온도에 있어 Deng et al. (2012)의 17°C와 본 연구의 21°C와의 차이는 우리 연구의 일부 실험구에서 통계적 유의차가 없는 경우도 있었기에 비교적 큰 차이가 없는 것으로 판단된다. 광도에 있어서 Deng et al. (2012)은 36 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 72, 108 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 으로 증가함에 따라 오히려 생장이 더욱 감소하였다고 한 점은 다소 이례적인 결과로 판단된다. 비록 이번 연구에서 30 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 광도에서의 실험은 수행되지 않았지만 60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 보다는 100 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서 생장률이 유의하게 증가하였으므로 Deng et al. (2012)의 연구와는 매우 상반되었다 할 수 있다. 차후에 이러한 결과가 서식지역, 착생과 내생해조, 구체적인 실험 방법의 차이인지는 보다 정밀하게 구명해봐야 될 것으로 판단된다.

감염 실험 결과 *U. leptochaete*는 5종의 모든 숙주 내부에서 발견되어 가장 쉽게 숙주에 감염 가능한 내생해조로 확인되었다. *U. leptochaete*는 지금까지 보고된 많은 연구에서도 다양한 숙주에서 발견되었다(Deng et al., 2012; Nielson et al., 2014; Kim et al., 2014). 따라서 아직까지 이 종이 발견된 한국산 숙주 해조는 불과 수 종밖에 되지 않지만 차후 지속적인 내생해조 연구를 수행한다면, 보다 많은 숙주해조가 발견될 것으로 예상된다. 또한 다양한 온도와 광도의 조합 실험구중 온도 10°C 조건에서는 5종의 숙주 모두에서 어떠한 내생해조도 관찰되지 않았다. 생장 실험에서 내생해조 3종 모두 비록 높은 온도에 비교해서는 생장이 느렸지만, 9°C에서도 여전히 사멸되지 않고 생장되었기에 낮은 온도가 내생조류 감염을 저해하는 절대적인 요인이라고 단정짓기는 어려울 것으로 판단되며, 장차 야외 개체

군에서 수온, 숙주와 내생해조의 감염률 차이를 확인해보아야 보다 더 명확한 해답을 얻을 수 있으리라 생각된다.

아직까지 선행된 한국산 내생해조의 종류, 생태학적, 생리학적 자료가 많지 않아 이번 연구와 비교 고찰하기가 쉽지 않았다. 그러나 이번 연구가 한국산 내생해조에 대한 기초적 자료가 될 것이라 기대하며, 향후 이 자료가 더욱 축적된다면 우리가 보다 더 관심 갖고 있는 유용 해조류의 내생해조 연구에도 많은 도움이 될 수 있으리라 예상한다.

사 사

이 논문은 해양수산부의 재원으로 해양생명공학기술개발사업 연구개발비 지원 및 2014년도 호남씨그랜트센터 연구개발사업 과제 지원에 의해 수행되었다.

References

- Andrews JH. 1977. Observations on the pathology of seaweeds in the Pacific Northwest. *Can J Bot* 55, 1019–1027. <http://dx.doi.org/10.1139/b77-119>.
- Ballantine DL and Wynne MJ. 1986. Notes on the marine algae of Puerto Rico I. Additions to the flora. *Bot Mar* 29, 131–135. <http://dx.doi.org/10.1515/botm.1986.29.2.131>.
- Bostock PD and Holland AE. 2010. Census of the Queensland Flora. Queensland Herbarium Biodiversity and Ecosystem Sciences, Department of Environment and Resource Management, Brisbane, Australia.
- Brodie J, Maggs CA and John DM. 2007. Green Seaweeds of Britain and Ireland. British Phycological Society, London, 242.
- Campo ED, Garcia-Reina G and Correa JA. 1998. Degradative disease in *Ulva rigida* (Chlorophyceae) associated with *Acrochate geniculata* (Chlorophyceae). *J Phycol* 34, 160–166.
- Correa JA. 1997. Infectious diseases of marine algae: current knowledge and approaches. In: Progress in Phycological Research Vol. 12. Round FE and Chapman DJ eds. Biopress Ltd., Bristol, 149–180.
- Correa JA, Flores V and Garrido J. 1994. Green patch disease in *Iridaea laminarioides* (Rhodophyta), caused by *Endophyton* sp. (Chlorophyta). *Dis Aquat Org* 19, 203–213.
- Correa JA and McLachlan JL. 1991. Endophytic algae of *Chondrus crispus* (Rhodophyta). III. Host specificity. *J Phycol* 27, 448–459. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0022-3646.1991.00448.x>.
- Correa JA and McLachlan JL. 1992. Endophytic algae of *Chondrus crispus* (Rhodophyta). IV. Effects on the host following infections by *Acrochate operculata* and *A. heteroclada* (Chlorophyta). *Mar Ecol Progr Ser* 81, 73–87.
- Correa JA and McLachlan JL. 1994. Endophytic algae of *Chondrus crispus* (Rhodophyta). V. Fine structure of the infection by *Acrochate operculata* (Chlorophyta). *Eur J Phycol* 29,

- 33–47. <http://dx.doi.org/10.1080/09670269400650461>.
- Correa JA, Nielsen R and Grund DW. 1988. Endophytic algae of *Chondrus crispus* Stackhouse II. *Acrochaete heteroclada* sp. nov., *Acrochaete operculata* sp. nov., and *Phaeophila dendroides* (Crouan frat.) Batters (Chlorophyta). *J Phycol* 24, 528–539. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1529-8817.1988.tb04258.x>.
- Craigie JS and Correa JA. 1996. Etiology of infectious diseases in cultivated *Chondrus crispus* (Gigartinales, Rhodophyta). In: Fifteenth International Seaweed Symposium, Springer, Netherlands, 97–104.
- Deng Y, Tang X, Ding L and Lian S. 2011. A new record from China of epiphytic marine algae, *Acrochaete leptochaete* (Chaetophoraceae, Chlorophyta) with its primary experimental biology. *Chin J Ocean Limn* 29, 350–355. <http://dx.doi.org/10.1007/s00343-011-0053-3>.
- Deng Y, Tang X, Huang B, Teng L, and Ding L. 2012. Molecular identification and culture observation on *Acrochaete leptochaete* (Chaetophoraceae, Chlorophyta) from China. *Chin J Ocean Limn* 30, 476–484. <http://dx.doi.org/10.1007/s00343-012-1130-y>.
- Douglas AE and Smith DC. 1989. Are endosymbioses mutualistic? *Trends Ecol Evol* 4, 350–352. [http://dx.doi.org/10.1016/0169-5347\(89\)90090-6](http://dx.doi.org/10.1016/0169-5347(89)90090-6).
- Gauna MC and Parodi ER. 2008. Green epi-endophytes in *Hymenena falklandica* (Rhodophyta) from the Patagonian coasts of Argentina: Preliminary observations. *Phycologia* 46, 172–182. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1440-1835.2008.00499.x>.
- Goff LJ. 1982. Symbiosis and parasitism: another viewpoint. *BioScience* 32, 255–256. <http://dx.doi.org/10.2307/1308531>.
- Guiry MD. 2012. A Catalogue of Irish Seaweeds.: A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 250 pp.
- Guiry MD and Guiry GM. 2015. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Retrieved from <http://algaebase.org> on Jan 24, 2015.
- Iima M and Tatewaki M. 1987. On the life history and host-specificity of *Blastophysa rhizopus* (Codiales, Chaetosiphonaceae), an endophytic green alga from Muroran in laboratory cultures. *Jap J Phycol* 35, 241–250.
- Kim C, Kim YS, Choi HG, and Nam KW. 2014. New records of three endophytic green algae from *Grateloupia* spp. (Rhodophyta) in Korea. *Algae* 29, 127–136. <http://dx.doi.org/10.4490/algae.2014.29.2.127>.
- Kogame K and Yoshida T. 1988. Observations on *Bolbocoleon piliferum* Pringsheim (Chaetophoraceae, Chlorophyta) newly found in Japan. *Jpn J Phycol* 36, 52–54.
- Kraan S, Tramullas VA, and Guiry MD. 2000. The edible brown seaweed *Alaria esculenta* (Phaeophyceae, Laminariales): hybridization, growth and genetic comparisons of six Irish populations. *J Appl Phycol* 12, 577–583. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1026519030398>.
- Lee HB, Kim JI, Lee JW and Oh BG. 1998. Notes on little-known algae in Korea (I). *Algae* 13, 165–172.
- Lee SJ, Park MA, Abel C, Park SK., Kim H, Kim YS and Choi HG. 2013. A study on the growth and disease of *Chondrus ocellatus* in Korea. *J Fish Pathol* 26, 263–272. <http://dx.doi.org/10.7847/jfp.2013.26.3.265>.
- Lein TE, Sjtun K and Wakili S. 1991. Mass-occurrence of a brown filamentous endophyte in the lamina of the kelp *Laminaria hyperborea* (Gunnerus) Foslie along the southwestern coast of Norway. *Sarsia* 76, 187–193. <http://dx.doi.org/10.1080/00364827.1991.10413474>.
- Lewis DH. 1973. Concepts in fungal nutrition and the origin of biotrophy. *Biol Rev* 48, 261–278. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-185X.1973.tb00982.x>.
- Nielsen R and McLachlan J. 1986a. *Acrochaete marchantiae* comb. nov. and *Trichothyra irregularis* gen. et sp. nov. with notes on other species of small filamentous green algae from St. Lucia (West Indies). *Nor J Bot* 6, 515–524. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1756-1051.1986.tb00908.x>.
- Nielsen R and McLachlan J. 1986b. Investigations of the marine algae of Nova Scotia. XVI. The occurrence of small green algae. *Can J Bot* 64, 808–814.
- Nielsen R, Petersen G, Seberg O, O’Kelly CJ and Wysor B. 2013. Revision of the genus *Ulvella* (Ulvellaceae, Ulvophyceae) based on morphology and *tufA* gene sequences of species in culture, with *Acrochaete* and *Pringsheimiella* placed in synonymy. *Phycologia* 52, 37–59. <http://dx.doi.org/10.2216/11-067.1>.
- Nielsen R, Gunnarsson K, Daugbjerg N and Petersen G. 2014. Description of *Ulvella elegans* sp. nov. and *U. islandica* sp. nov. (Ulvellaceae, Ulvophyceae) from Iceland - a study based on morphology of species in culture and *tufA* gene sequences. *Eur J Phycol* 49, 60–67. <http://dx.doi.org/10.1080/09670262.2014.888483>.
- O’Kelly CJ, Bellows WK and Wysor B. 2004. Phylogenetic position of *Bolbocoleon piliferum* (Ulvophyceae, Chlorophyta), Evidence from reproduction, zoospore and gamete ultrastructure, and small subunit rRNA gene sequence. *J Phycol* 40, 209–222. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1529-8817.2004.03104.x>.
- Peters AF. 1991. Field and culture studies of *Streblonema macrocystis* sp. nov. (Ectocarpales, Phaeophyceae) from Chile, a sexual endophyte of giant kelp. *Phycologia* 30, 365–377.
- Rinkel BE, Hayes P, Gueidan C and Brodie J. 2012. A molecular phylogeny of *Acrochaete* and other endophytic green algae (Ulvales, Chlorophyta). *J Phycol* 48, 1020–1027. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1529-8817.2012.01196.x>.
- Sánchez P, Correa JA and Garcia-Reina G. 1996. Host specificity of *Endophyton ramosum* (Chlorophyta), the causative agent of green patch disease in *Mazzaella laminarioides* (Rhodophyta). *Eur J Phycol* 31, 173–179. <http://dx.doi.org/10.1080/09670269600651351>.
- Villaca R, Fonseca AC, Jensen VK and Knoppers B. 2010. Spe-

cies composition and distribution of macroalgae on Atol das Rocas, Brazil, SW Atlantic. Bot Mar 532, 113-122. <http://dx.doi.org/10.1515/BOT.2010.013>.

Yoshida T and Akiyama K. 1979. *Streblonema* (Phaeophyceae) infection in the frond of cultivated *Undaria* (Phaeophyceae). Proc Int Seaweed Symp 9, 219-223.