

## 쇠미역사촌과 미역 포자체의 배양 및 야외 개체군의 성장 비교

박서경·허진석·김보연·송지나·임거영·김하니·최한길\*

원광대학교 생명과학부 / 기초자연과학연구소

### Comparison on the Growth of *Costaria costata* and *Undaria pinnatifida* Sporophytes in Culture and Their Field Populations

Seo Kyoung Park, Jin Suk Heo, Bo Yeon Kim, Ji Na Song,

Geo Yeong Lim, Ha Ni Kim and Han Gil Choi\*

Faculty of Biological Science / Research Institute for Basic Science,  
Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

The effects of temperature, light, and salinity on the growth of *Costaria costata* and *Undaria pinnatifida* juveniles were examined in laboratory cultures. In a cultivation farm, the monthly yield and density were also investigated between December and April for *C. costata* and between December and March in 2007 and 2008 for *U. pinnatifida*. The relative growth rates (RGRs) were greater at 20~60  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$  than at low (0~10  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) and high (100~180  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) irradiance levels. The optimal growth conditions for the two species were 17°C, 35 psu, 60  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , and a daylength of 12 h, indicating that *C. costata* and *U. pinnatifida* have very similar growth responses to temperature, light, and salinity. However, the growth responses of the two species to various environmental factors were different; *C. costata* grew faster than *U. pinnatifida* but the latter species grew well at low salinity. The monthly yield of *C. costata* and *U. pinnatifida* increased steadily over the study period, and it was maximal in March for both species, but the yield of *U. pinnatifida* was greater than that of *C. costata*.

Key words: *Costaria costata*, Growth, Sporophyte, *Undaria pinnatifida*

#### 서 론

국내에서 양식된 해조류의 총 생산량은 2006년 약 764,000 톤에 달하며 (MOMAF, 2007), 양식 대상종은 파래류 (*Ulva* spp.), 매생이 (*Capsosiphon fulvescens*), 청각 (*Codium fragile*), 다시마 (*Laminaria japonica*), 미역 (*Undaria pinnatifida*), 툯 (*Hizikia fusiformis*), 쇠미역사촌 (*Costaria costata*)과 김류 (*Porphyra* spp.)로 국한되어 있다. 양식된 해조류는 식용, 약용, 의약품 및 화장품 원료와 동물사료 등으로 이용되고 있다 (Okazaki, 1971; Chapman and Chapman, 1980; Oh et al., 1990; Lee et al., 2007). 최근에는 온실가스인 CO<sub>2</sub>를 흡수하여 지구온난화를 지연시키고 화석연료의 감소로 인한 에너지과동을 극복하기 위해 해조류를 대량 양식하고 확보된 생물량으로 화석연료를 대체하는 바이오에너지의 원료 (메탄, 에탄올) 확보에 관심을 가지고 있다 (Gao and McKinley, 1994; Chisti, 2007; Hossain and Salleh, 2008).

해조류는 한 종을 동일한 환경에서 양식할지라도 환경이 다른 곳에 서식한 개체군의 기원에 따라서 외부형태와 생장이 다른 것으로 알려져 있다 (Lee and Sohn, 1993; Serisawa et al., 2002). 예를 들면, 감태 (*Ecklonia cava*)의 유엽은 수온이 높은 Tosa Bay (15-29°C)에서 수온이 낮은 Nabeta Bay (13-2

5°C)에 비해 전장과 줄기가 짧는데 이들을 동일한 환경을 가진 장소로 이식한 후에도 그 형태학적 특징은 그대로 유지되었다 (Serisawa et al., 2002). 한편, 완도산 북방형 미역과 일본 산리꾸산 남방형 미역으로 채묘된 유엽을 고히에서 양식한 결과 산리꾸산이 완도산에 비해 체장은 약 20 cm 길고, 중량은 약 300 g 높게 나타났다 (Lee and Sohn, 1993). Bolton and Lüning (1982)은 다시마목 해조류 5종의 포자체는 각기 다른 최적생장온도와 생장률을 가진다는 것을 확인하였으며, 그중에서 *Laminaria saccharina*, *L. longicyuyis*와 *L. digitata*는 동일 종일지라도 개체군별로 생장을 위한 최적 온도와 생장률이 다름을 확인하였다.

대형 갈조류인 쇠미역사촌 (*Costaria costata*)과 미역 (*Undaria pinnatifida*)은 다시마목 (Laminariales)에 속하는 일년생 해조류로서 배우체와 포자체 세대를 세대교번하는 생활사를 가지며, 절간생장 (intercalary growth)을 하는 공통점을 가진다 (Choi et al., 2007). 하지만, 쇠미역사촌은 다시마과 (Laminariaceae)에 속하는 종으로 미역에 비해 짧은 줄기와 직립하는 엽상 (blade)을 가지고 있으며, 포자엽 (sporophyll)은 없고 대신에 엽상의 표면에 자낭반을 형성한다 (Han, 2002). 미역은 미역과 (Alariaceae)에 속하며 중륵 (midrib)이 발달된 난원형 혹은 피침형의 엽상 (blade)을 가지며 줄기 (stipe)의

\*Corresponding author: hgchoi@wku.ac.kr

하부에 포자엽을 형성하는 특징을 보여 분류학적 위치 및 형태에서 쇠미역사촌과는 구분된다. 따라서, 외형과 분류학적인 차이를 보이는 두 종은 환경에 대한 생리 및 성장반응도 다르게 나타날 것으로 예견되에도 불구하고 두 종은 채묘에서 야외양성에 이르기까지 동일한 방법으로 양식되고 있다 (Sohn, 2004).

따라서 본 연구의 목적은 광, 염분 및 온도와 같은 다양한 환경요인이 쇠미역사촌과 미역의 포자체 유엽의 성장에 미치는 영향을 비교하고 동일한 환경을 가진 양식장에서 두 종의 생산량을 비교하기 위하여 포자체의 밀도 및 생산량의 변화를 확인하는 것이다.

## 재료 및 방법

### 실내배양에서 포자체 유엽의 성장 반응

#### 온도-조도 영향

전남 장흥군 이회진항 (34° 28' N, 126° 58' E) 인근에 위치한 양식장에서 2007년 11월에 가이식한 후 30일이 경과한 쇠미역사촌의 유엽 (4.8-5.9 mm)과 40일이 경과한 미역의 유엽 (5.8-9.5 mm)을 현장에서 해수와 함께 플라스틱 샘플병에 넣어 실험실로 운반한 후, 착생된 동·식물 플랑크톤과 미세조류를 여과 및 멸균해수를 사용하여 붓으로 수회 세척하여 제거하였다.

포자체 유엽의 성장에 미치는 온도와 조도의 영향, 특히 최적 성장조도를 파악하기 위하여, PESI배양액 (Tatewaki 1966) 30 ml과 유엽 5개를 넣은 페트리디쉬 (Ø 9 cm)를 42개 준비하였다. 조도별 (0, 2, 10, 60, 100, 180  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )로 반복구 3개를 두었으며 12°C와 17°C로 세팅된 배양기에서 16일간 배양하였다. 배양기의 일장은 12 h로 동일하게 유지하였으며 규조류의 성장을 억제하기 위하여 산화게르마늄 (5  $\text{mg L}^{-1}$ )이 첨가된 배양액 (Shea and Chopin, 2007)을 사용하였으며 배양액은 4일 간격으로 교환하였다.

실험에 사용된 조도의 경우, 암조건은 알루미늄호일로 페트리디쉬를 감싸 만들었으며, 2~60  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 조도는 배양용기를 덮는 검은색 망의 수를 달리하여 만들었다. 고조도 (100, 180  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )는 형광등과 배양용기의 간격을 조절하여 만들었으며, 디지털조도계 (DX-200)로 조도를 측정하였다. 유엽의 50% 이상이 탈색된 조체는 사멸한 것으로 판정하였고 생장은 기부 (holdfast)와 줄기 (stipe)를 제외한 엽장의 길이로 측정하였으며 상대생장률을 엽장의 변화로 계산하였다 (Rueness and Tananger, 1984).

$$\text{RGR} (\% \text{ day}^{-1}) = 100 \ln (L_t / L_0) / 16$$

$L_0$ 는 배양 개시일 유엽길이,  $L_t$ 는 배양 종료시 유엽길이, 16은 배양기간 (day)을 나타낸다.

#### 온도-조도 및 일장-염분의 영향

포자체 유엽의 성장실험을 위한 유엽의 준비, 배양액의 종류 및 용량, 교환 방법과 조도의 설정은 위에서 언급한 온도-조

도 실험과 동일하게 실시하였으나 배양은 12일 동안 수행되었다. 온도와 조도에 대한 포자체 유엽의 성장반응은 다양한 온도 (12, 17, 22, 27°C)와 위의 실험에서 최대생장과 상대적으로 빠른 성장을 보인 2개의 조도 (20, 60  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )의 조합으로 실시되었으며, 이때 일장 (12 h)과 염분 (35 psu)은 동일하였다. 일장과 염분에 대한 포자체 유엽의 성장반응은 다양한 일장 (8, 12, 16, 24 h)과 염분 (5, 15, 25, 35 psu)의 조합으로 실시되었으며, 온도 (17°C)와 광량 (60  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )은 일정하게 유지하였다. 저염분 실험구는 멸균해수에 증류수를 첨가하여 염분계 (Atago, S/Mill-E)로 염분 농도를 측정 후 배양액을 만들어 사용하였다.

#### 야외에서 포자체의 성장

미역과 쇠미역사촌의 야외양성은 국내에서 보편적으로 사용되는 수평연승식 방법 (Kang and Koh, 1977)으로 시설하였다. 본 양성은 길이 10 cm인 씨줄을 친승줄에 10 cm 간격으로 끼워 넣고, 부이 (buoy)를 부착하여 수심 약 1 m에서 성장하도록 시설하였다.

쇠미역사촌의 포자체는 이회진 근해의 양식장에서 2007년 12월부터 2008년 4월까지 그리고 미역은 동일한 양식장에서 2007년 12월부터 2008년 3월까지 월별로 개체별 길이와 무게 그리고 밀도 및 생산량을 측정하였다. 두 종에 대해 각각 친승줄 3개를 무작위로 선택하여 10 cm 내에 부착한 모든 개체의 기부를 칼로 채집하여 각기 다른 플라스틱 봉투에 넣어 실험실로 운반하였다. 실험실에서 친승줄 (10 cm)별 개체수, 밀도, 생물량을 측정하고 개체별 엽장을 측정하였다. 친승줄의 생물량을 단위면적당 ( $\text{g cm}^{-1}$  rope) 수확량으로 계산하였으며 이때 개체별 습중량은 엽체 표면의 수분과 뽕 등을 종이타월로 제거한 후 0.001 g 단위까지 전자저울로 측정하였다. 양식장 주변의 수온과 염분에 대한 자료는 한국해양자료센터의 해양 관측자료 (KODC, www.kodc.nfrdi.re.kr)를 이용하였고, 관측 지점은 장흥과 인접한 지역인 완도 청산지역의 자료를 사용하였다. 연구기간 (2007년 12월-2008년 4월)의 평균수온은 9.8  $1^\circ\text{C} \pm 2.14$ 였고 최저수온은 2008년 2월에 7.41  $^\circ\text{C} \pm 0.44$ 였으며, 최고수온은 2007년 12월에 10.6  $^\circ\text{C} \pm 0.47$ 로 확인되었다.

#### 통계분석

쇠미역사촌과 미역 포자체의 온도-조도와 일장-염분에 관한 상대생장률의 유의차 검정은 One-way와 Two-way ANOVA를 사용하였다. 미역 포자체 유엽의 성장에 온도와 조도가 미치는 영향의 결과와 3가지 온도 (12, 17, 22°C)와 조도가 미역 유엽의 성장에 미치는 영향의 결과에 관한 자료는 변환 (Log transformation)한 후에 ANOVA test를 실시하였으나 유엽의 사멸로 인해 저조도 (0, 2  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) 조건과 온도-조도실험에서 27°C, 그리고 염분과 일장실험에서 5, 15 psu의 조건은 통계분석에서 제외하였다. 자료에 대한 Homogeneity of variance는 Levene's test로 하였고, 평균에 대해 유의차가 발견되면, Tukey's 사후 검정 방법을 사용하였다 (Sokal and Rohlf, 1995). 통계분석을 위해서 사용된 통계 프로그램은 STATISTICA version 7.0 이었다.

결 과

온도-조도의 영향

온도-조도가 쇠미역사촌의 포자체 유엽 (길이 4.8~5.9 mm) 과 미역 유엽 (길이 5.8~9.5 mm)의 성장에 미치는 영향을 확인한 결과, 두 종의 성장에 12°C와 17°C의 0~60  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 범위에서는 조도가 높아질수록 빠르게 나타났으나, 고조도 (100, 180  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )에서는 급격하게 감소하였다 (Fig. 1). 배양 12일 후, 쇠미역사촌은 암조건과 2  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 표면적의 25%가 탈색하였고, 미역은 표면적의 50% 이상이 탈색되어 쇠미역사촌이 미역에 비해 포자체의 유엽단계에서 저조도에 대한 내성이 강한 것으로 확인되었다. 배양 16일 후, 12°C에서 쇠미역사촌은 다양한 조도에서 5.67~7.87 mm (상대성장률, 0.66~2.62%  $\text{day}^{-1}$ ), 미역은 7.53~11.47 mm (0.40~2.10%  $\text{day}^{-1}$ )였고, 두 종의 모두 60  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 최대 성장을 보였으며, 쇠미역사촌의 성장률이 미역에 비해 약간 높았다 (Fig. 1A). 조도가 포자체 유엽의 성장에 미치는 영향은 종에 따라 달랐으며 ( $F_{1,24}=32.67$ ,  $P<0.001$ ), 두 종의 길이 성장에 영향을 주었다 ( $F_{5,24}=29.36$ ,  $P<0.001$ ). 또한, 두 종의 포자체 유엽은 종별로 조도에 대한 성장반응이 다르다는 것을 확인할 수 있었다 ( $F_{5,24}=2.89$ ,  $P<0.05$ ). 쇠미역사촌의 성장은 조도별로 다르게 나타났으며 ( $F_{5,12}=13.79$ ,  $P<0.001$ ), 저조도 (2, 10  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )에 비해 고조도 (20, 60, 100, 180  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )에서 빠른 성장을 보였으나, 성장을 위한 광이 부족한 저조도인 2  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 과 고조도로 인한 광억제가 일어난 180  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서는 성장에 대한 유의차가 없었다 (Tukey test,  $P>0.05$ ). 미역 포자체의 유엽은 암조건을 제외한 모든 조도에서 성장에 대한 차이를 보였다 ( $F_{5,12}=19.05$ ,  $P<0.001$ ). 하지만 사후검정에서 양호한 성장을 보인 60과 100  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서의 유의차가 없었으나, 나머지 실험구에 비해 빠른 성장을 보였다 (Tukey test,  $P<0.05$ ). 미역의 경우 느린 성장을 보인 2~20  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 저조도 사이와 광억제가 일어난 고조도인 180  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서는 성장에 대한 유의차가 없었다 (Tukey test,  $P>0.05$ ). 또한, 미역 유엽의 성장이 2와 180  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에 비해 상대적으로 높았던 조도인 10, 20 및 100  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서는 유의차는 없었다 (Tukey test,  $P>0.05$ ).

17°C에서 16일 동안 배양한 쇠미역사촌의 성장률은 1.09~3.51%  $\text{day}^{-1}$ 였고, 미역은 0.36~2.20%  $\text{day}^{-1}$ 로 두 종은 모두 60  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 최대 성장을 보였고 쇠미역사촌이 미역에 비해 성장이 빠른 것으로 확인되었다 (Fig. 1B). 쇠미역사촌과 미역 유엽의 성장은 조도별로 유의차를 보였으며 ( $F_{1,20}=58.05$ ,  $P<0.001$ ), 두 종간의 성장에도 유의차가 있었으나 ( $F_{4,20}=34.81$ ,  $P<0.001$ ), 종과 조도간의 상호작용은 없었다 ( $F_{4,20}=2.81$ ,  $P>0.05$ ). 쇠미역사촌의 성장은 10~180  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 통계적인 유의차를 보였으며 ( $F_{4,10}=13.64$ ,  $P<0.001$ ), Tukey test 결과, 쇠미역사촌은 60  $\mu\text{mol photons}$

$\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 다른 조도와 구별되는 빠른 성장을 보였으며 ( $P<0.05$ ), 쇠미역사촌은 20과 100  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 180  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에 비해 높은 성장률을 보였으나 ( $P<0.05$ ), 10  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 실험구와 비교하면 유의차가 없었다. 미역의 포자체 유엽도 조도에 따라 성장이 다른 것으로 확인되었다 ( $F_{4,10}=42.85$ ,  $P<0.001$ )고 사후 검정에서 미역 유엽은 60과 100  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 10, 20, 180  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에 비해 빠른 성장을 보였으며, 이들 실험구 사이에는 유의차가 없었다 (Tukey test,  $P>0.05$ ).

쇠미역사촌과 미역 유엽의 온도-조도의 성장 실험에서 두 종은 12°C에 비해 17°C에서 높은 성장을 보였으며, 60  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 최대 성장이 일어나는 것으로 확인되었다. 또한, 유엽단계에서 쇠미역사촌은 미역에 비해 12°C와 17°C의 모든 조도에서 높은 성장률을 보였다 (Fig. 1).

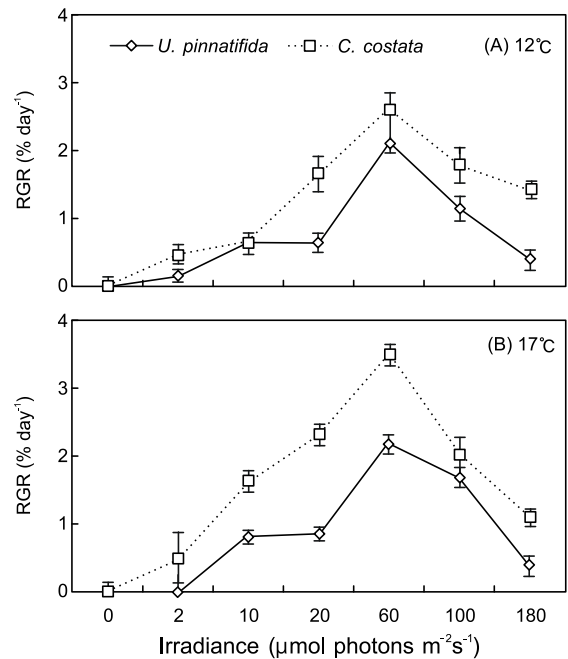


Fig. 1. Average RGR ( $\pm$ SE, %  $\text{day}^{-1}$ ,  $n=3$  replicates) of *Costaria costata* and *Undaria pinnatifida* sporophytes grown at (A) 12°C and (B) 17°C, and various irradiance levels for 16 days. Bars indicate standard errors.

온도-조도 및 일장-염분의 영향

쇠미역사촌과 미역의 유엽은 12~22°C와 20과 60  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 성장하였으며, 27°C에서는 배양 2일 후에 모든 조도에서 탈색 및 사멸되었다. 저염분 (5 psu)에서 쇠미역사촌과 미역의 유엽은 수 시간 이내에 탈색이 발생하여 24시간 안에 모든 엽체가 완전 탈색되었다. 쇠미역사촌은 15 psu에서 실험조도와 상관없이 배양 개시 2일 이내에 모두 탈색되었고, 미역은 8 h와 12 h의 일장에서 엽체가 부분적으로 탈색되었고, 16 h와 24 h의 일장에서는 모든 개체가 완전 탈색되어 사멸하였다 (Fig. 2).

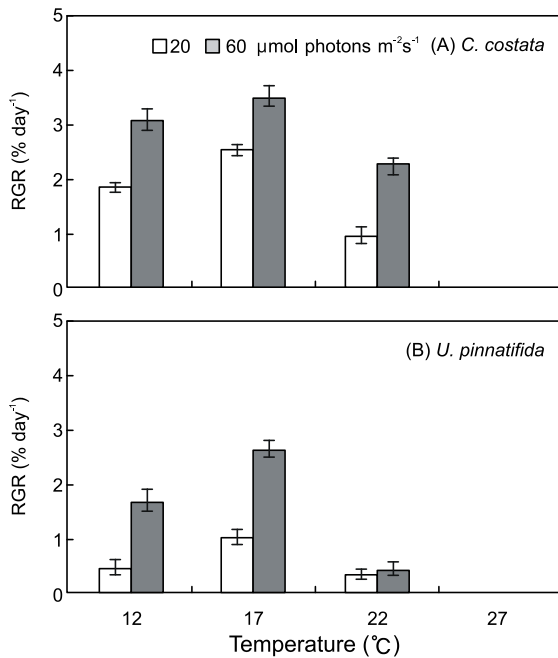


Fig. 2. Average RGR ( $\pm$ SE, % day<sup>-1</sup>, n=3 replicates) of (A) *Costaria costata* and (B) *Undaria pinnatifida* juveniles grown at various temperature and irradiance levels for 12 days. Daylength was kept at 12 h(light). Bars indicate standard errors.

쇠미역사촌은 배양 개시일에 평균 5.17 cm (n=30)이었던 것이 12일 후에 5.80~7.87 cm로 길이 성장을 하였으며, 최대 생장은 17°C의 60 μmol photons m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>에서 일어났다. 쇠미역사촌의 유엽은 생장이 가능한 실험온도 (12~22°C)에서는 20 μmol photons m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>에 비해 60 μmol photons m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>에서 빠른 성장을 보였다 (F<sub>1,16</sub>=66.76, P<0.001). 배양기간에 쇠미역사촌의 성장률은 0.95~3.49 %day<sup>-1</sup>를 보였으며 17°C의 60 μmol photons m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>에서 최대였다 (Fig. 2A). 쇠미역사촌 유엽의 생장은 조도 (F<sub>1,12</sub>=66.76, P<0.001)와 온도의 영향을 받는 것으로 확인되었다 (F<sub>2,12</sub>=32.30, P<0.001). 하지만, 쇠미역사촌 유엽의 성장에 대한 조도와 온도의 상호작용은 없는 것으로 나타났다 (P>0.05). 쇠미역사촌의 유엽은 온도에 따라 성장률이 달랐으며 (F<sub>2,15</sub>=6.07, P<0.02), 22°C의 실험구에 비해 17°C에서 빠른 성장을 보였으나, 12°C에서의 생장은 다른 실험조건과 유의차가 없었다 (Tukey test, P>0.05).

미역 유엽의 길이는 배양 개시일에 평균 5.48 cm (n=55)였고 12일 후에는 5.72~7.53 cm였다. 유엽의 생장이 일어나는 온도에서 성장률은 0.35~2.64%day<sup>-1</sup>로서, 최적 생장은 쇠미역사촌과 동일한 17°C의 60 μmol photons m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>에서 일어났다 (Fig. 2). 미역 유엽의 성장률은 조도 (F<sub>1,12</sub>=44.58, P<0.001)와 온도의 영향을 받는 것으로 나타났다 (F<sub>2,12</sub>=33.39, P<0.001). 또한, 미역 유엽의 생장은 조도-온도의 상호작용에 의해 영향을 받는 것으로 확인되었다 (F<sub>2,12</sub>=10.26, P<0.01). 미역 유엽의 생장은 온도에 따라 달랐지만 유의차는 없었다 (F<sub>2,15</sub>=7.52, P>0.05). 미역의 생장은 쇠미역사촌처럼 22°C에 비해 17°C서

빠른 성장을 보였으나, 12°C와 22°C에서의 성장에 대한 유의차는 없었다 (Tukey test, P>0.05).

쇠미역사촌과 미역 포자체 유엽의 생장은 17°C에서 최대였고 이어 12, 22°C 순서로 나타났다. 조도의 경우는 두 종은 20 μmol photons m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>에 비해 60 μmol photons m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>에서 성장률이 높았으며, 쇠미역사촌은 미역에 비해 모든 온도에서 빠른 성장을 나타냈다.

쇠미역사촌의 유엽을 다양한 일장과 염분에서 배양한 결과, 배양 개시 전에 5.77 cm (n=40)이던 초체가 12일 후에 6.20~8.80 cm로 성장하였으며 최대생장은 12 h의 35 psu에서 일어났다. 연구기간에 쇠미역사촌의 성장률은 0.60~3.52% day<sup>-1</sup>로서 최대 길이생장은 12h의 35 psu에서 일어났다 (Fig. 3A). 쇠미역사촌의 생장은 염분에 의해 영향을 받았으며 (F<sub>1,16</sub>=23.40, P<0.001), 성장에서 일장별 차이를 확인할 수 있었다 (F<sub>3,16</sub>=50.56, P<0.001). 하지만, 쇠미역사촌의 성장에 대한 염분과 일장의 상호작용은 없는 것으로 나타났다 (F<sub>3,16</sub>=0.44, P=0.73). 쇠미역사촌 유엽은 단일조건인 8 h와 24 h의 연속광에 비해 12 h와 16 h의 일장에서 빠른 성장을 보였다 (Tukey test, P<0.05).

미역의 유엽은 다양한 일장과 염분에서 배양 초기에 5.40 cm (n=50)였으며, 12일 후에는 5.57~7.88 cm로 성장하였으며 최대생장은 12 h와 35 psu에서 일어났다. 미역의 성장률은 0.25~3.14% day<sup>-1</sup>로서 최대값은 12 h와 35 psu에서 확인되었다 (Fig. 3B). 미역의 생장은 염분에 따라 다르게 나타났으며 (F<sub>1,16</sub>=47.42, P<0.001), 일장도 성장에 영향을 미치는 것으로

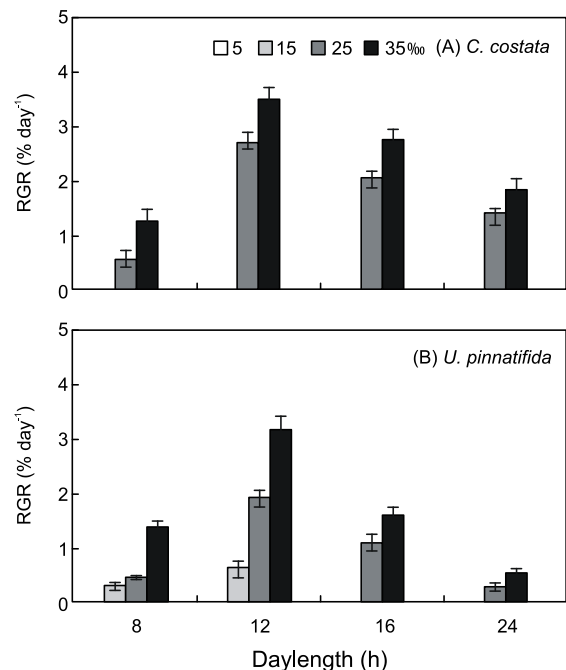


Fig. 3. Average RGR ( $\pm$ SE, % day<sup>-1</sup>, n=3 replicates) of (A) *Costaria costata* and (B) *Undaria pinnatifida* juveniles grown at various daylength and salinity levels for 12 days. Temperature was kept at 17°C. Bars indicate standard errors.

확인되었으며 ( $F_{1,16}=47.42, P<0.001$ ), 또한 염분과 일장의 상호작용이 존재하였다 ( $F_{3,16}=4.24, P<0.05$ ).

쇠미역사촌과 미역 유엽의 생장은 모두 12 h에서 최대였으며, 쇠미역사촌이 미역에 비해 높은 성장률을 보였다. 그리고 쇠미역사촌은 단일조건 (8 h)에 비해 장일조건 (12, 16, 24 h)에서 빠른 성장을 보였으나, 미역은 24 h의 연속광에서 최저 성장을 보였다. 쇠미역사촌은 미역에 비해 모든 일장 (8, 12, 16, 24 h)에서 빠른 성장을 보였으며 두 종은 모두 일장에 관계없이 35 psu의 염분에서 최대생장을 보였다.

야외개체군의 성장

생산량과 밀도

쇠미역사촌의 생산량은 2007년 12월에 최저 ( $0.09\pm 0.002 \text{ g cm}^{-1} \text{ rope}$ ) 였고, 3월에  $186.14\pm 43.98 \text{ g cm}^{-1} \text{ rope}$ 로 최대였으며, 밀도는 2007년 12월에  $16.70\pm 2.10 \text{ plants cm}^{-1} \text{ rope}$ 였고 2008년 1월에 큰 폭으로 증가하여  $30.67\pm 3.78 \text{ plants cm}^{-1} \text{ rope}$ 로 최대였으나, 이후 감소하여 4월에  $1.77\pm 0.55 \text{ plants cm}^{-1} \text{ rope}$ 로 최소를 보였다 (Fig. 4A). 미역의 생산량은 수온이  $9.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 인 2008년 3월에  $1041.81\pm 77.12 \text{ g cm}^{-1} \text{ rope}$  (mean $\pm$ SE)으로 최대였고 2007년 12월에  $7.46\pm 0.61 \text{ g cm}^{-1} \text{ rope}$ 으로 최소였다. 이때 밀도는 2007년 12월에  $12.27\pm 0.69 \text{ plants cm}^{-1} \text{ rope}$ 로 최대였으나, 점차 감소하여 2008년 3월에  $2.90\pm 0.12 \text{ plants cm}^{-1} \text{ rope}$ 를 보였으며 4월에는 모두 사라졌다 (Fig. 4B).

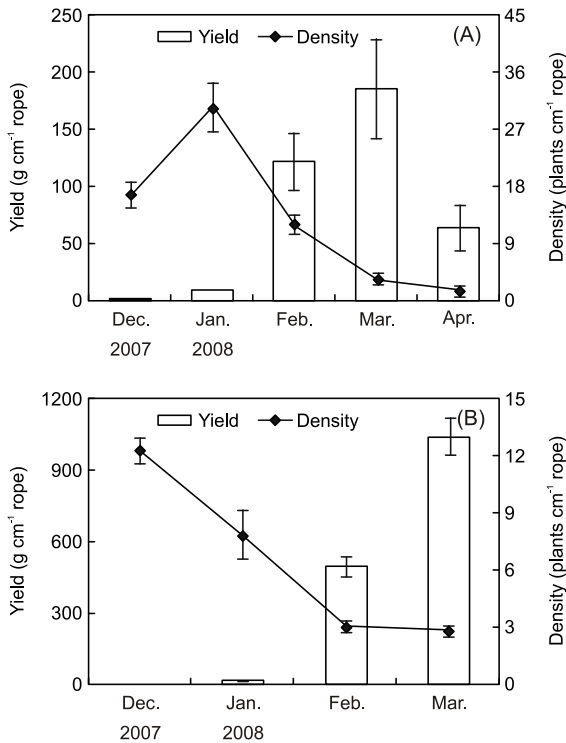


Fig. 4. Monthly variations in mean yield and density of (A) *Costaria costata* and (B) *Undaria pinnatifida*. Bars indicate standard errors (n=3 replicate ropes).

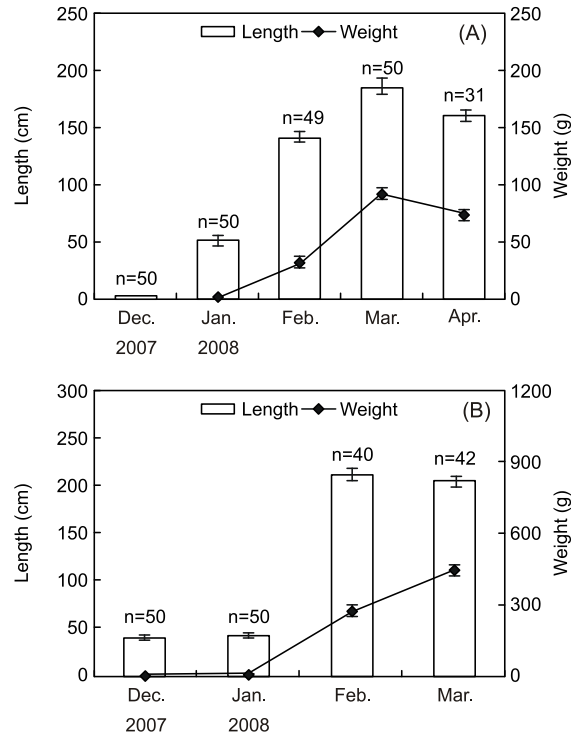


Fig. 5. Monthly variations in mean plant length and wet weight of (A) *Costaria costata* and (B) *Undaria pinnatifida* over the study period. Bars indicate standard errors.

엽장과 습중량

쇠미역사촌 포자체의 엽장은 2007년 12월에  $2.05\pm 0.99 \text{ cm}$ 에서 2008년 3월에  $110.57\pm 14.75 \text{ cm}$ 로 성장하였고, 길이가 140 cm인 조체도 관찰되었으며, 개체별 습중량의 경우도 3월에  $92.40\pm 38.53 \text{ g}$ 로 최대였다 (Fig. 5A). 미역 개체의 평균 엽장은 2007년 12월에  $39.42\pm 11.08 \text{ cm}$ 에서 2008년 2월에  $211.02\pm 40.73 \text{ cm}$ 로 성장하였다 (Fig. 5B). 미역 포자체의 개체별 평균 습중량은 2007년 12월에  $6.13\pm 4.37 \text{ g}$ 로 최소였고 3월에  $441.85\pm 157.23 \text{ g}$ 로 최대였다 (Fig. 5B).

고찰

다시마목 (Laminariales) 해조류는 생활사 단계에 따라 수온과 조도에 대한 성장반응이 다른 것으로 알려져 있다 (Notoya et al. 1992; Han 1993; Morita et al. 2003). Saito (1975)는 미역의 포자체 유엽은  $15\text{-}17^{\circ}\text{C}$ 에서, 성체는  $12\text{-}13^{\circ}\text{C}$ 에서 최대생장이 일어난다고 하여 동일종이라도 생활사에 따라 성장에 대한 최적온도가 다를 수 있음을 확인하였다. 반면에, 동일한 속 (genus)의 미역과 넓미역 포자체의 최적생장온도는  $20^{\circ}\text{C}$ 로 동일하였고 (Morita et al., 2003), 개다시마 (*Kjellmaniella crassifolia*)와 다시마 (*Laminaria japonica*)의 포자체 유엽이 최대로 성장하는 수온역시  $10^{\circ}\text{C}$ 로 동일하였다 (Kang and Koh, 1999). 하지만, 개다시마와 다시마의 성장을 위한 최적조도는  $40$ 과  $70 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 다르게 나타남으로써 다시마목 해조류의 생

장을 비교할 때는 동일한 생활사단계와 환경에서 실험이 수행되어야 한다. 본 연구에서 쇠미역사촌과 미역 포자체 유엽의 최적생장온도 및 조도는 17°C와 60  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로서 두 종의 온도 및 조도에 대한 생리적 반응은 매우 유사한 것으로 확인되었다.

Table 1. Growth rates and optimal growth conditions of various laminarian seaweeds

Species	RGR (%day <sup>-1</sup> )	Temp. (°C)	Irradiance ( $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	Experimental stage	References
<i>Costaria costata</i>	3.52	17	60	Juvenile	This study
<i>Undaria pinnatifida</i>	3.14	17	60		
<i>Laminaria saccharina</i>	15-18	10-15	50		
<i>Laminaria longicuris</i>	19	10	40	Young sporophyte	Bolton and Lüning 1982
<i>Laminaria digitata</i>	9	10	40		
<i>Laminaria hyperborea</i>	6.4	15	40		
<i>Myrocystis pyrifera</i>	0.03	10	30	Young sporophyte	Dean and Jacobsen 1984
<i>Ecklonia cava</i>	1.1-1.5	15	120	Juvenile	Serisawa et al. 2002

미역과 쇠미역사촌의 온도-조도에 대한 성장반응은 매우 유사한 경향을 보였으나, 다양한 온도-조도실험에서 쇠미역사촌은 미역에 비해 생장이 빠른 것을 확인하였다. 비록 생활사 단계와 배양조건은 각기 다르지만, 다시마목에 속하는 종들의 포자체 성장률을 보면 (Table 1), 감태 (*Ecklonia cava*)의 유엽 (줄기길이, <5 cm)은 1.1-1.5 %day<sup>-1</sup>였고 (Serisawa et al., 2002), *L. longicuris*는 19 %day<sup>-1</sup>를 보였다 (Bolton and Lüning, 1982). Dean and Jacobsen (1984)은 *Macrocystis pyrifera*의 포자체 (약 40 cm)는 0.03 %day<sup>-1</sup>로 매우 낮은 성장률을 보였다. 본 연구에서 쇠미역사촌과 미역의 성장률은 각각 3.52 %day<sup>-1</sup>와 3.14 %day<sup>-1</sup>로서 생활사와 실험조건을 고려하더라도 다시마목의 다른 종에 비해 빠른 성장을 보이는 것으로 나타났다.

하지만, 미역과 쇠미역사촌의 유엽은 다양한 환경에 대한 생리반응에서 차이가 있음을 본 연구에서 확인하였다. 예를 들면, 온도-조도에 대한 실험에서 온도의 증가에 따른 2종의 성장 반응은 다르게 나타났다. 즉, Fig. 1에서 보면, 60  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 미역의 성장률은 12°C에서 2.10 %day<sup>-1</sup>이고, 17°C에서 2.20 %day<sup>-1</sup>로 차이가 없었으나, 쇠미역사촌은 12°C에서 2.62 %day<sup>-1</sup>이고, 17°C에서 3.51 %day<sup>-1</sup>로 1.3배의 증가를 보여 쇠미역사촌이 미역에 비해 온도에 매우 민감한 것으로 나타났다. 또한, Fig. 2의 다양한 온도 실험 (12, 17, 22, 27°C)에서 2종 모두 27°C에서 사망하였지만, 22°C의 60  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 쇠미역사촌은 2.28 %day<sup>-1</sup>로 최대성장 (3.49 %day<sup>-1</sup>, 배양조건 17°C, 60  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )에 비해 여전히 높은 성장 (1.5배 감소)을 보였으나, 미역은 최대성장 (2.64 %day<sup>-1</sup>)에 비해 6.3배 감소한 성장 (0.42 %day<sup>-1</sup>)을 보여 고온에 대한 내성이 쇠미역사촌에 비해 낮았다. 반면에 염분의 농도에 대한 2종의 성장을 비교해 보면 (Fig. 3), 2종은

5 psu에서 모두 사멸하였고 15 psu에서는 미역의 유엽만이 단일조건 (8 h, 12 h)에서 0.25와 0.59 %day<sup>-1</sup>로 느린 성장을 보였으나, 25와 35 psu에서는 쇠미역사촌이 오히려 높은 성장을 보였다. 따라서 저염분에 대한 내성은 미역이 쇠미역사촌에 비해 높았으나, 고농도 (25, 35 psu)에서의 생장은 역으로 쇠미역사촌이 빠르게 나타났다.

쇠미역사촌이 미역에 비해 포자체의 유엽단계에서 빠른 성장을 보였으나, 야외양성실험에서 쇠미역사촌의 생산량은 양식줄 1 cm에서 122~201 g이었고 미역은 약 1 kg의 생산량을 보여 단위 면적당 미역의 생산량은 5-8배 높은 것으로 나타났다. 생산량에서 두 종의 차이는 포자체 유엽과 성체의 생활사 단계에 따라 성장률이 달라지는지, 아니면 두 종의 형태차이에 의해서 발생하는 것인지는 현재까지 밝혀지지 않았다. 하지만, 미역은 쇠미역사촌과 구별되는 생식기인 미역귀인 포자엽 (혹은 성실엽)이 2월부터 생성되기 시작하였으며 이 시기를 전후하여 미역의 생산량도 급속히 증가되어 미역귀가 미역의 생산량에 많은 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 하지만, 미역귀의 무게가 생산량에 미치는 영향은 미역귀가 미역의 각 개체의 증량에서 차지하는 비율을 확인한 후에 결론 내릴 수 있을 것이다. Choi et al. (2007)은 부산 인근의 미역 양식장에서 3월에 최대 생산량 (358 g cm<sup>-1</sup> rope)을 보였으나 본 연구에서의 최대생산량 (1,041 g cm<sup>-1</sup> rope)의 1/3배로서 지역에 따라 생산량의 차이가 있음을 확인하였다. 한편, 일본의 Uwajima Bay에서 다시마의 최대 생산량은 38-351 g cm<sup>-1</sup> rope (Suzuki et al., 2008)로서 본 연구의 쇠미역사촌의 생산량 (186-201 g cm<sup>-1</sup>rope)과 유사하였으나 미역에 비해 생산량이 낮은 것으로 확인되었다.

쇠미역사촌과 미역의 유배에서 성장조건과 성장률 및 야외양성에서 생산량을 비교해본 결과, 두 종은 다른 속 (genus)에 속하지만 거의 동일한 최적생장 수온 (17°C) 및 조도 (60  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )를 가지는 것으로 확인되었다. 본 연구의 결과는 야외양성을 위해 씨줄을 관리할 때 두 종은 유엽단계에서 동일한 수온 및 조도 조건에서 관리가 가능함을 확인하였다. 하지만, 동일한 실내조건에서 2종의 씨줄을 관리한 현재까지의 방법 (Sohn, 2004)이 옳은지를 확인하기 위해서는 현미경적인 배우체 단계에서의 온도와 조도에 대한 두 종의 성장반응을 확인하여야 할 것이다.

## 사 사

본 논문은 2011학년도 원광대학교 교비지원에 의해서 수행되었으며, 연구를 도와 주신 장흥군 이회진현의 이인주님과 해남해양수산사무소의 김지환 박사님께 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- Bolton JJ and Lüning K. 1982. Optimal growth and maximal survival temperatures of Atlantic *Laminaria* species (Phaeophyta) in culture. Mar Biol 66, 89-94.
- Chapman VJ and Chapman DJ. 1980. Seaweeds and Their

- Uses. 2nd edn. Chapman & Hall. London, U.K., 334.
- Chisti Y. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnol Adv* 25, 294-306.
- Choi HG, Kim YS, Lee SJ and Nam KW. 2007. Growth and reproductive patterns of *Undaria pinnatifida* sporophytes in a cultivation farm in Busan, Korea. *J Appl Phycol* 19, 131-138.
- Dean TA and Jacobsen FR. 1984. Growth of juvenile *Macrocystis pyrifera* (Laminariales) in relation to environmental factors. *Mar Biol* 83, 301-311.
- Gao K and McKinley. 1994. Use of macroalgae for marine biomass production and CO<sub>2</sub> remediation: a review. *J Appl Phycol* 6, 45-60.
- Han KS. 2002. Cultural studies of *Costaria costata* from Kangnung province. Master Thesis, Kangnung University. Kangnung. Korea, 32.
- Han TJ. 1993. Wavelength dependent effect of high irradiance on early sporophytes of *Laminaria hyperbrea* (Phaeophyta). *Kor J Phycol* 8, 199-205.
- Hossain S and Salleh A. 2008. Biodiesel fuel production from algae as renewable energy. *Am J Biochem Biotech* 4, 250-254.
- Kang JW and Koh NP. 1977. *Seaweed Culture*. Taewha press, Pusan, Korea, 198-236.
- Kang RS and Koh CH. 1999. Germination and growth of *Laminaria japonica* (Phaeophyta) microscopic stages under different temperatures and photon irradiance. *J Kor Fish Soc* 32, 438-443.
- Lee GH, Yoo HI and Choi HG. 2007. Seasonal community structure and vertical distribution of medicinal seaweeds at Kkotji in Taean Peninsula, Korea *Algae* 22, 209-219.
- Lee KY and Sohn CH. 1993. Morphological characteristics and growth of two forms of sea mustard, *Undaria pinnatifida* f. *distans* and *U. pinnatifida* f. *typica*. *J Aquacult* 6, 71-87.
- MOMAF. 2007. *Statistic Database for Fisheries Production* 331-358.
- Morita T, Kurashima A and Maegawa M. 2003. Temperature requirements for the growth and maturation of the gametophyte of *Undaria pinnatifida* and *U. undarioides* (Laminariales, Phaeophyceae). *Phycol Res* 51, 154-160.
- Notoya M, Nagashima M and Aruga Y. 1992. Influence of light intensity and temperature on callus development in young sporophytes of four species of Laminariales (Phaeophyta). *Kor J Phycol* 7, 101-107.
- Oh YS, Lee IK and Boo SM. 1990. An annotated account of Korean economic seaweeds for food, medical and industrial uses. *Kor J Phycol* 5, 57-71.
- Okazaki A. 1971. *Seaweeds and Their Uses in Japan*. Tokai Univ Press. Tokyo, Japan, 165.
- Rueness J and Tananger T. 1984. Growth in culture of four red algae from Norway with potential of mariculture. *Hydrobiologia* 116-117, 303-307.
- Saito Y. 1975. Practical significance of algae in Japan. *Undaria*. In Tokida, J. and Hirose, H. (Eds) *Advance of Phycology in Japan*. VEB Gustav Fischer Verlag Jena. Netherlands, 304-320.
- Serisawa Y, Yokohama Y, Aruga Y and Tanaka J. 2002. Growth of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta) sporophytes transplanted to a locality with different temperature conditions. *Phycol Res* 50, 201-207.
- Shea R and Chopin T. 2007. Effects of germanium dioxide, and inhibitor of diatom growth, on the microscopic laboratory cultivation stage of kelp, *Laminaria saccharina*. *J Appl Phycol* 19, 27-32.
- Sohn CH. 2004. Developments on two newly cultivated species *Capsosiphon fulvescens* and *Costaria costata* in Korea. *J Phycol Suppl* 39, 53-54.
- Sokal RR and Rohlf FJ. 1995. *Biometry*, 3rd edn. Freeman. New York. U.S.A., 887.
- Suzuki S, Furuya K, Kawai T and Takeuchi I. 2008. Effect of seawater temperature on the productivity of *Laminaria japonica* in the Uwa Sea, southern Japan. *J Appl Phycol* 20, 833-844.

---

2010년 10월 25일 접수  
 2010년 12월 6일 수정  
 2011년 2월 10일 수리