教育學碩士 學位論文

韓國産 갈파래類 3種 (*Enteromorpha intestinalis*, *E. compressa*, *Ulva conglobata*)의 계절적 소장 및 배아 생장에 대한 照度와 溫度의 영향

2002年 2月

釜慶大學校 教育大學院

科學教育(生物)專攻

方 弘 珪

敎育學碩士 學位論文

韓國産 갈파래類 3種 (*Enteromorpha intestinalis*, *E. compressa*, *Ulva conglobata*)의 계절적 소장 및 배아 생장에 대한 照度와 溫度의 영향

指導敎授 南 基 完

이 論文을 敎育學碩士 學位論文으로 提出함.

2002年 2月

釜慶大學校 敎育大學院

科學敎育(生物)專攻

方 弘 珪

방홍규의 敎育學碩士 學位論文을 認准함.

2001 年 12月

主　審　수산학 박사　이 종 화 ㉤

委　員　이 학 박사　김 영 식 ㉤

委　員　수산학 박사　남 기 완 ㉤

목　　차

Effects of Irradiance and Temperature on the Growth of Germlings and Seasonal Variations of Biomass in Three Ulvacean Species from Korea

Hong Gyu Bang

Science Education (Biology), Graduate School of Education, Pukyong National University

Abstract

Effects of light and temperature on the growth of the germlings of three Korean Ulvacean (Chlorophyta) species, *Ulva conglobata* Kjellman, *Enteromorpha compressa* (L.) Greville and *E. intestinalis* (L.) Link, were examined in culture. Monthly variations of their field populations were also monitored by measurement of frequency, coverage and biomass at Cheongsapo near Busan, Korea from May to September 2001.

For culture experiments, fertile fronds of each species were collected from Cheongsapo in March for *E. intestinalis*, in May for *E. compressa* and August for *Ulva conglobata*. The plants were transported to the laboratory and rinsed with autoclaved seawater. Release of zoospores were induced from the fronds under 20℃, 60 $\mu molm^{-2}s^{-1}$. Zoospore suspensions were inoculated into Petri dishes containing cut-slide

glasses and PES medium, and then cultured for 7 days on a temperature-irradiance gradient table with five temperatures (8, 13, 18, 23 and 32℃) and four irradiance levels (40, 60, 80, 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$).

In culture, the growth of germlings of the three species was influenced by both irradiance and temperature. At 32℃, the germlings of *E. compressa* and *E. intestinalis* died within 1 week at all irradiance levels tested, but those of *U. conglobata* survived and grew. Maximal growth of germlings occurred at 18℃ and 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ for the two *Enteromorpha* species, and at 23℃ and 100μmol$m^{-2}s^{-1}$ for *U. conglobata*. At all temperatures, the growth of the germlings of the three species was stimulated with increasing of the irradiance levels.

In field populations, three species co-occurred in the upper intertidal zone from March to May, but since June 2001 *U. conglobata* was dominantly observed with increasing of seawater temperature. Both in culture and field populations, the germlings of *U. conglobata* grew better at higher temperatures than those of *E. compressa* and *E. intestinalis*. This suggests that growth responses of germlings of *U. conglobata* to temperature are different from those of the latter two species, and that these physiological differences determine their abundances in the field populations.

In conclusion, growth of germings of the three Ulvacean species (*U. conglobata, E. compressa, E. intestinalis)* was influenced by irradiance and temperature, and particularly, temperature was significant for their growth.

Ⅰ. 서　　론

해양생태계에 있어 해조류는 유기물을 생산하는 주요한 일차 생산자로서 해양의 탄소, 질소, 인, 기타 원소 및 물질순환의 중요한 역할을 담당하는데 (Round, 1981), 이들의 생장은 여러 환경요인에 영향을 받는다 (Bliding, 1963).

일반적으로 빛과 수온은 해조류의 생장·생리에 영향을 미치는 주요한 환경 인자로 알려져 있다 (Lobban and Harrison, 1994). 따라서, 이런 요인들에 대한 해조류의 생리적 적응 능력은 개체의 생장, 개체군 유지 및 서식범위 결정과 밀접하게 관련되어 있다. 이와 관련하여 Raven and Smith (1977)는 해조류의 생장에 대한 유용 조도를 보고하였고, Wiencke and Lauchli (1980)는 온도에 따른 해조류 풍도 및 분포를, 그리고 Henry (1988)는 일부 종들은 일년 중 특정한 기간에만 제한되어 나타남을 지적하였다. 이밖에도 해조류의 계절적 소장 (Mathieson and Norall, 1975)과 여러 환경요인에 따른 생장 반응 및 형태적 변이 (Dawes *et al.*, 1976)에 대한 연구들이 있다.

이와 관련한 파래류에 대한 연구로는 Woodhead and Moss (1975) 및 Ohno *et al.* (1981)에 의한 빛, 온도, 영양염을 포함한 다양한 생리·화학적 요인들에 대한 영양세포의 생장 반응과 유주자의 발아연구 및 야외관찰 연구 등이 밖에 다수의 연구(Kapraun, 1970; Innes and Yarish, 1984)를 들 수 있다. 그러나 한국산 파래류에 대하여는 Kim *et al.* (1991)과 Kim and Lee (1996)의 연구를 제외하고는 거의 수행된 바 없다.

따라서, 본 연구는 부산 청사포의 조간대 상부 암반에 혼생하는 한국

산 갈파래과 (Ulvaceae) 3종인, 모란갈파래 (*Ulva conglobata* Kjellman), 납작파래 [*Enteromorpha compressa* (L.) Greville], 창자파래 [*E. intestinalis* (L.) Link]의 배아에 대한 조도와 온도의 생리적 반응을 실내배양을 통하여 밝히고, 아울러, 야외관찰에서 이들 3종의 풍도 (abundance)의 월별 변화 데이터를 수집하여, 이들의 군집구조의 변화에 대한 생태학적 기초 자료를 제공하고자 수행되었다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 야외 관찰

갈파래과 (Ulvaceae) 3종인 모란갈파래 (*Ulva conglobata* Kjellman), 납작파래 [*Enteromorpha compressa* (L.) Greville], 창자파래 [*E. intestinalis* (L.) Link]의 야외 개체군의 계절적 소장은 2001년 3월부터 9월까지 매월 부산 청사포에서 조사하였다 (Fig. 1).

피도는 현장에서 16개의 소형 방형구로 구획된 25×25 cm 크기의 방형구를 사용하여 단위 면적당 피복 백분율로 Braun-Blanquet 피도등급에 따라 측정하였다. 빈도는 전체 방형구에 대한 출현한 소형 방형구의 비로 구하였고 (Saito and Atobe, 1970), 6개의 반복구를 두었다. 방형구내에 피도와 빈도를 측정한 후 출현하는 모든 종은 끌칼을 이용하여 전량 채집하였고, 실험실로 운반한 후 방형구당 습중량을 물기를 제거한 후 전자저울을 이용하여 측정하였고, 단위 면적당 (g/m^2) 생중량으로 환산하였다.

수온 데이터는 국립수산진흥원 (National Fisheries Research and Development)에서 발간하는 해양자료속보 중 2001년도 한국연안수온정보의 부산 지역의 수온 값을 인용하였다 (Appendix I).

Fig. 1. Map showing the sampling site (arrow) at Cheongsapo near Busan, Korea.

2. 실내 배양

배양실험에 사용된 창자파래와 납작파래는 2001년 3, 5월에, 모란갈파래는 8월에 부산 청사포에서 채집하여(Fig. 1), 아이스박스에 넣어 실험실로 운반하였다.

채집된 조체의 부착생물 및 현탁물은 멸균해수에서 유화용 붓으로 제거하였다. 같은 방법으로 수 회 세척한 후, 각 종의 엽체들은 200 ml 멸균해수가 들어있는 비이커에 옮겨 넣고, 유주자 방출을 유도하기 위해 20℃, 60 μmol $m^{-2}s^{-1}$의 연속조도 하에서 48 시간 동안 방치하였다 (Altamirano, 2000).

유주자의 방출은 광학 현미경 (Olympus BX 50) 하에서 확인한 후, 혈구계산기 (Hemocytometer)를 이용하여 유주자 현탁액 농도를 4회 반복 측정한 다음 평균 농도를 구하였다. 현탁액의 농도는 창자파래가 98,000±6,000 ml^{-1} (Mean±SD, n=4), 납작파래가 103,000±7,000 ml^{-1}, 모란갈파래가 93,000±12,000 ml^{-1}였다.

유주자 현탁액의 5 ml를 멸균해수 (50 ml)와 슬라이드 글라스조각들 (2×2 cm)이 담긴 페트리디쉬 (φ9)의 각각에 접종하였다. 약 1시간 후, 유주자의 부착 상태를 확인하고 (Callow, 1997), 2 개의 슬라이드 글라스와 200 ml의 PES (Provasoli, 1968; Appendix II) 배지가 들어있는 비이커에 옮겼다. 규조류 및 박테리아의 오염을 줄이기 위해 산화게르마늄 (GeO_2)과 페니실린 각각 5mg ℓ^{-1} 씩을 배양액에 첨가하였다.

온도와 조도가 배아 (germlings)의 생장에 미치는 영향을 살펴보기 위한 실험은 8, 13, 18, 23, 32℃의 온도와 40, 60, 80, 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ 의 조도

를 조합한 조도·온도구배장치 (Fig. 2)를 이용하여 12:12h L:D (Light: Dark)의 동일한 광주기 조건하에서 7일간 배양하였고, 실험기간 동안 배양액은 교환하지 않았다.

배아의 생장은 가근부를 제외한 배아 (n=80)의 길이를 광학현미경 (Olympus BX50)하에서 측정하였고, 3종의 실험조건별 단위생장을 비교하기 위해서 상대생장률 (Relative Growth Rate)을 다음의 방정식을 이용하여 계산하였다.

$$\mathrm{RGR} = \mathrm{Ln}\ (L_2/L_1) \cdot \mathrm{T}^{-1}$$

(L_1 : 부착 후의 길이, L_2 : 7일 후 길이, T : 배양기간)

3. 자료분석

3종의 배아 생장에 대한 조도 및 온도의 영향은 이원분산분석 (two-way ANOVA, Microsoft 2000 Excel)을 이용하여 분석하였다. 분석에 앞서 모든 자료의 Homogeniety of variance는 Cochran's test를 이용하여 확인하였다. 온도와 조도에 따라 배아의 생장에 대한 유의차가 발견되었을 시, 사후검정은 Tukey HSD (Honest Significant Difference) 분석을 이용하였다 (Sokal and Rohlf, 1981; Zar, 1984).

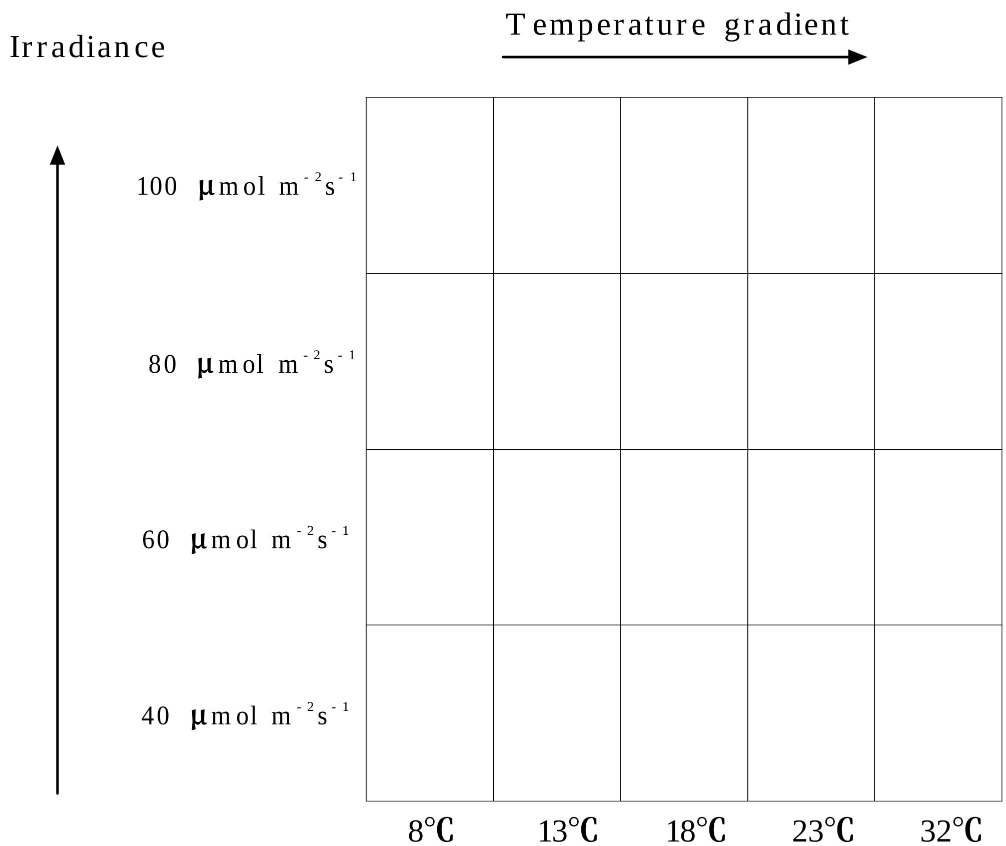

Fig. 2. The temperature-irradiance gradient table used for culture experiments.

Ⅲ. 결　　과

1. 야외관찰

창자파래, 납작파래, 모란갈파래는 부산 청사포 해안의 조간대 상부의 암반에 혼생하였다. 본 조사지역인 부산연안에서 조사기간 (3월 9월)의 수온은 11.9℃ 25.1℃로 측정되었으며, 3월부터 9월까지의 각 종의 방형구당 월별 평균 피도는 창자파래가 0 44.25% (n=6), 납작파래가 0 39.11%, 모란갈파래가 2.54 62.40%의 범위로 나타났고, 빈도는 창자파래가 0 83.33% (n=6), 납작파래가 0 69.79%, 모란갈파래가 15.63 100%의 범위로 조사되었으며, 습중량은 창자파래 0 17.08 (g/m^2), 납작파래 0 16.92 (g/m^2), 모란갈파래 3.12 12.84 (g/m^2)의 범위로 나타났다. 이들의 계절적 소장을 살펴보면, 수온이 18℃ 이하인 5월까지는 창자파래, 납작파래 및 모란갈파래가 모두 출현하였으나, 19℃ 이상인 6월부터는 모란갈파래만이 출현하였다. 3종은 모두 3 5월에 출현하였으며, 3월에는 창자파래가 4, 5월에는 납작파래가 각각 우점하였다. 창자파래는 3월 이후 피도, 빈도 및 생중량에서 급격한 감소를 보였으며, 6월 이후에는 납작파래와 창자 파래는 야외에서 완전히 사라지고 모란갈파래 만이 관찰되었다(Fig. 3).

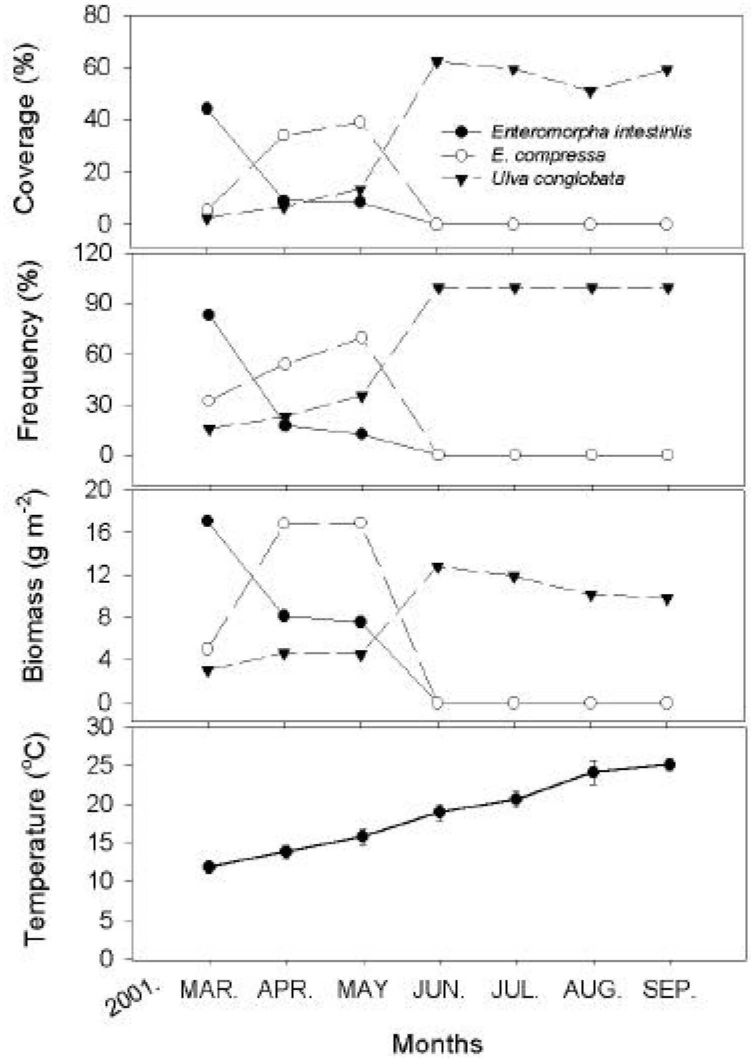

Fig. 3. Monthly variations of seawater temperature, coverage, frequency and biomass of *Enteromorpha intestinalis, E. compressa* and *Ulva conglobata* at Cheongsapo near Busan, Korea.

2. 실내배양

1) 유주자 부착 직후의 초기 배아 생장

갈파래과 세 종의 성숙한 엽체는 연속조명 (24:0h L:D), 20℃ 하에서 유주자를 방출하였고, 유주자는 3시간 이내에 슬라이드 글라스에 부착하였다.

유주자 부착 3시간 후, 무작위로 선택된 3종의 배아의 (n = 80) 길이는 창자파래가 8.78±1.26 ㎛ (Mean±SD), 납작파래가 9.22±1.17 ㎛, 모란갈파래가 6.78±1.14 ㎛로 관찰되었다 (Fig. 4).

2) 창자파래 배아 생장에 대한 조도 및 온도의 영향

창자파래의 유주자는 다양한 온도 (8 32℃)와 조도 (40 100 μmol m^{-2}s^{-1})의 범위에서 발아하였으나, 32℃에서는 조도와 상관없이 수 일 내에 모두 사멸하였다. 창자파래의 배아는 조도와 온도 조건에 다양한 생장 반응을 보였으며, 배양 7일 후의 배아의 길이는 Fig. 5에 나타내었다. 배아는 생장이 가능한 온도 범위 (8 23℃)에서 조도가 높아질수록 빠른 생장을 보였다. 창자파래 배아의 생장은 8 18℃의 범위에서는 온도와 비례적인 관계를 보였으나, 23℃에서는 18℃에 비해 오히려 생장이 억제되었다. 배아의 최적 생장을 위한 온도와 조도의 조합 조건은 18℃의 100 μmol m^{-2}s^{-1}로 나타났다. 배양개시 7일 후, 최적 생장 조건에서 자란 배아의 길이는 377.25±109.04 ㎛ (Mean±SD, n=80)였다. 배아의 생장이 18℃에 비해 상대적으로 낮은 온도 (8, 13, 23℃)에서도 배아의 생장은 조도가 증가할수록 촉진되었으며, 100 μmol m^{-2}s^{-1}

의 조도에서 배아의 길이는 배양개시 7일 후 에 47.72±6.28 ㎛, 187.75±59.09 ㎛, 255.50±48.68 ㎛ 로 각각 측정되었다.

각기 다른 온도와 조도 조건에서 자란 배아의 길이 데이터를 이용하여 계산한 상대생장률 (RGR)은 18℃의 모든 조도 조건에서 0.38 0.54 day^{-1} 값을, 8℃에서 0.13 0.24 day^{-1}, 13℃에서 0.32 0.42 day^{-1}, 23℃에서 0.32 0.43 day^{-1}를 각각 나타냈다 (Fig. 6). 상대생장률에 대한 이원분산분석 (two-way ANOVA)의 결과는 Table 1과 같다.

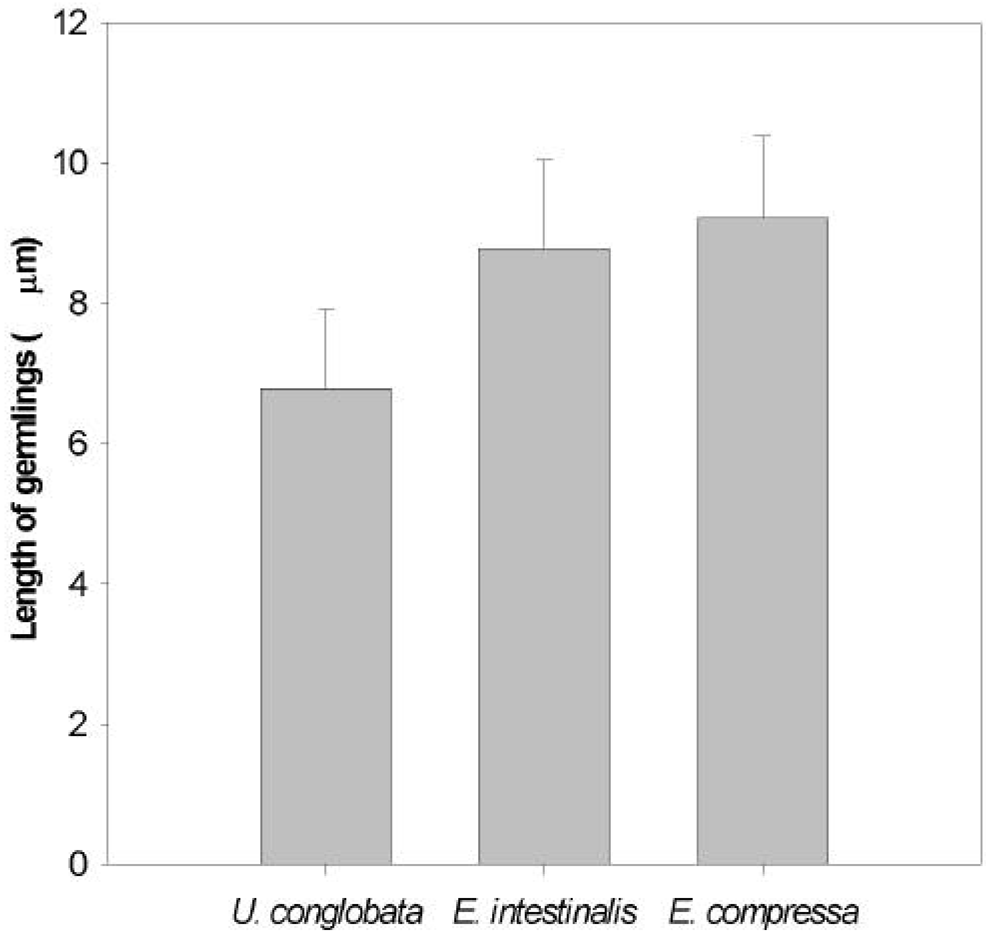

Fig. 4. Mean lengths of germlings (n=80) attached on experimental slide glasses after 3 h from inoculation. Bars represent standard deviation.

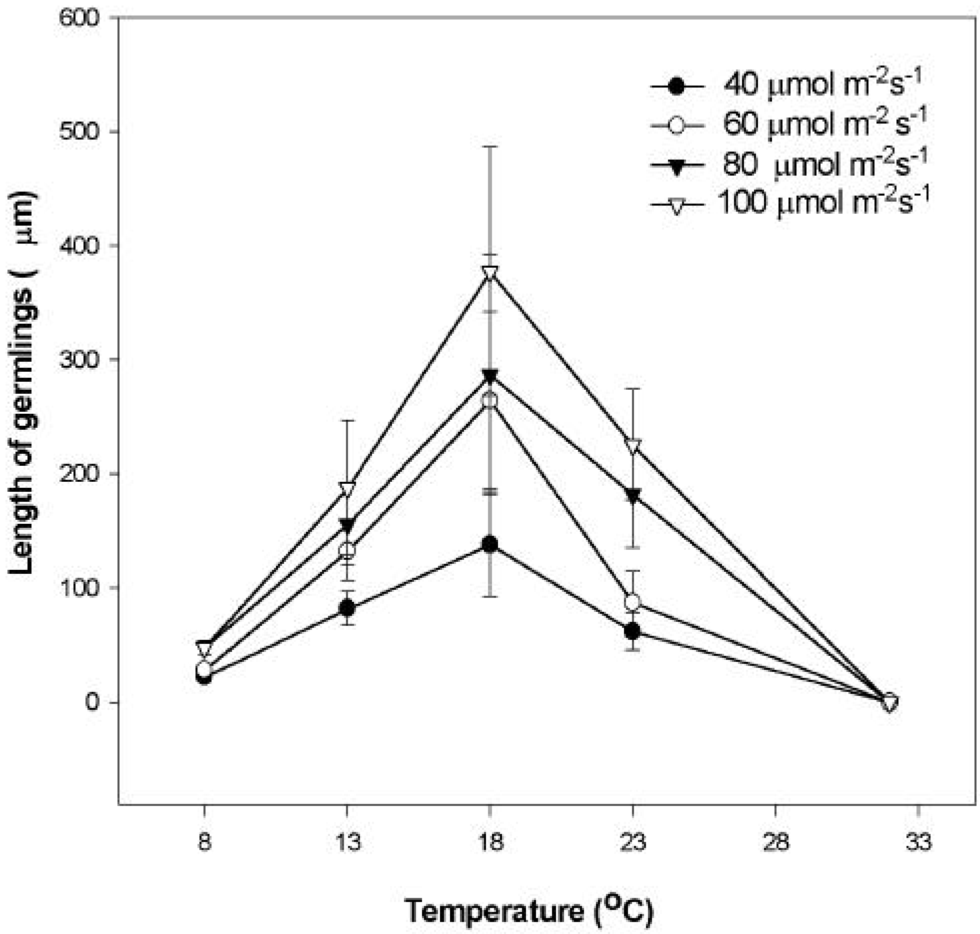

Fig. 5. Mean lengths of germlings of *Enteromorpha intestinalis* grown at various irradiances and temperatures for 7 days. Bars represent standard errors.

3) 납작파래 배아 생장에 대한 조도 및 온도의 영향

납작파래 배아의 발아와 생장을 위한 온도의 범위는 창자파래와 매우 유사하였다. 조도 및 온도 조건에 대한 배아의 생장반응의 결과는 Fig. 7에 나타내었다. 창자파래와 마찬가지로, 배아의 생장은 8 23℃에서 조도가 높아질수록 빠른 생장을 보였고, 8 18℃의 범위에서는 온도 역시 정의상관 관계를 보였으나, 23℃에서는 생장이 억제되었다. 배아의 최적 생장을 위한 온도와 조도의 조합 조건은 18℃의 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$로 나타났다. 이 조건하에서 배양 개시 7일 후, 438±82.83 ㎛ (Mean±SD, n=80)의 크기로 생장했다. 8℃, 13℃, 23℃의 조건에서도 배아는 100μmol $m^{-2}s^{-1}$의 조도 하에서 가장 좋은 생장을 보였으며, 이때 배아의 길이는 49.16±4.83 ㎛, 161±34.27 ㎛, 286.25±70.87 ㎛로 각각 측정되었다.

7일 동안 배양한 배아의 상대생장률은 18℃의 모든 조도 조건에서 0.40 0.55 day^{-1} 값을 나타내었고, 8℃는 0.10 0.24 day^{-1}, 13℃는 0.30 0.40 day^{-1}, 23℃의 경우는 0.32 0.43 day^{-1}였다 (Fig. 8). 상대생장률에 대한 이원분산분석 (two-way ANOVA)의 결과, 납작파래의 배아 생장은 온도와 조도에 따라 유의차가 인정되었다 (Table 2).

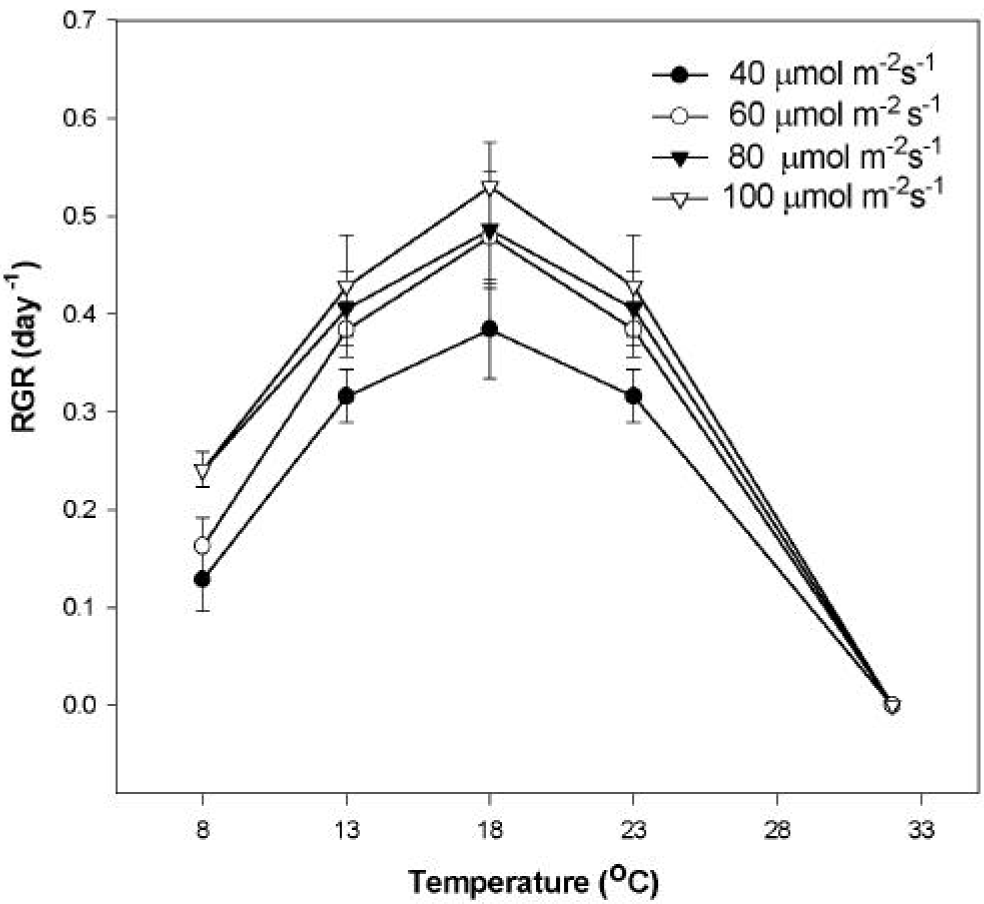

Fig. 6. Relative growth rates (RGR) of germlings of *Enteromorpha intestinalis* at various irradiances and temperature regimes. Bars represent standard errors.

Table 1. Analysis of variance (ANOVA) for the effects of irradiance and temperature on germling growth in *Enteromorpha intestinalis*

Source of variaton	df	Sum of sqares	Mean square	F-ratio	P
Temperature	3	12.96	4.32	2550.78	〈0.01
Irradiance	3	3.66	1.22	720.32	〈0.01
Interaction	9	0.43	0.05	28.36	〈0.01
Residuals	1264	2.14	0.001		
Total	1279	19.20			

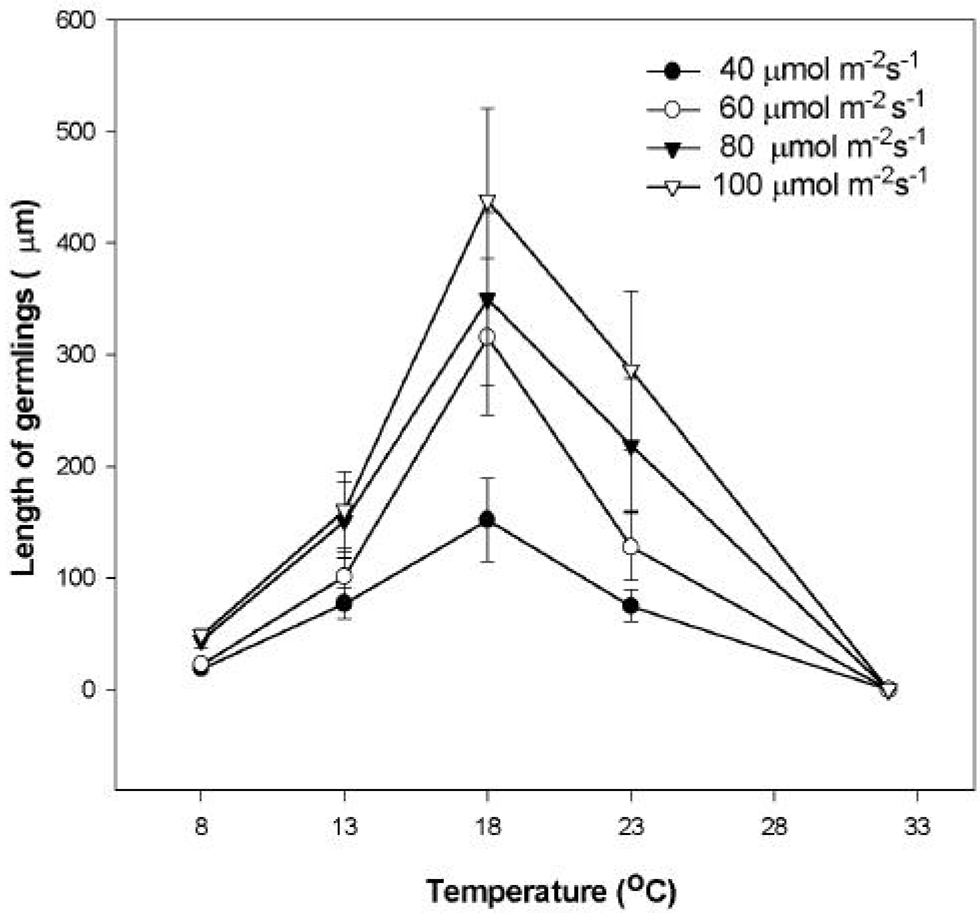

Fig. 7. Mean lengths of germlings of *Enteromorpha compressa* grown at various irradiances and temperatures for 7 days. Bars represent standard errors.

4) 모란갈파래 배아 생장에 대한 조도 및 온도의 영향

다양한 조도 및 온도 조건에서 7일 동안 자란 모란갈파래 (*U. conglobata*)의 배아의 길이는 Fig. 9에 나타냈다. 창자파래 및 납작파래의 최대 생장이 18℃에서 관찰된 것과는 달리, 모란갈파래의 배아는 23℃에서 최대 생장을 나타냈고, 32℃에서도 생장이 가능하였다. 또한, 8℃에서 배아의 생존이 가능하였으나, 다른 온도조건들에 비해 현저히 낮은 생장을 보였다. 본 종 역시 창자파래, 납작파래의 배아처럼 높은 조도 하에서 빠른 생장을 보였다. 모란갈파래의 최적 생장조건은 23℃의 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$로 관찰되었고, 배양 개시 7일 후 배아의 길이는 559.99±61.09 ㎛ (Mean±SD, n=80)였다. 이외의 온도 조건들 (13, 18, 32℃)에서도 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$의 높은 조도 하에서 빠른 생장을 보였으며, 이때 각각의 온도조건에서 자란 배아의 길이는 155.50±33.11 ㎛, 486.75±56.99 ㎛, 108±38.95 ㎛로 기록되었다. 하지만, 8℃에서 자란 배아의 길이 생장은 거의 일어나지 않았다. 모란갈파래 배아의 상대생장률은 23℃의 모든 조도 조건에서 0.52 0.63 day^{-1} 값을 나타냈고, 8℃에서는 0.0001 day^{-1}, 13℃에서는 0.27 0.44 day^{-1}, 18℃의 경우는 0.45 0.60 day^{-1}이었으며, 32℃에서는 0.34 0.39 day^{-1}로 관찰되었다 (Fig. 10).

다양한 온도 및 조도의 조건하에서 자란 모란갈파래 배아의 상대생장률에 대한 이원분산분석 (two-way ANOVA)의 결과는 Table 3과 같다.

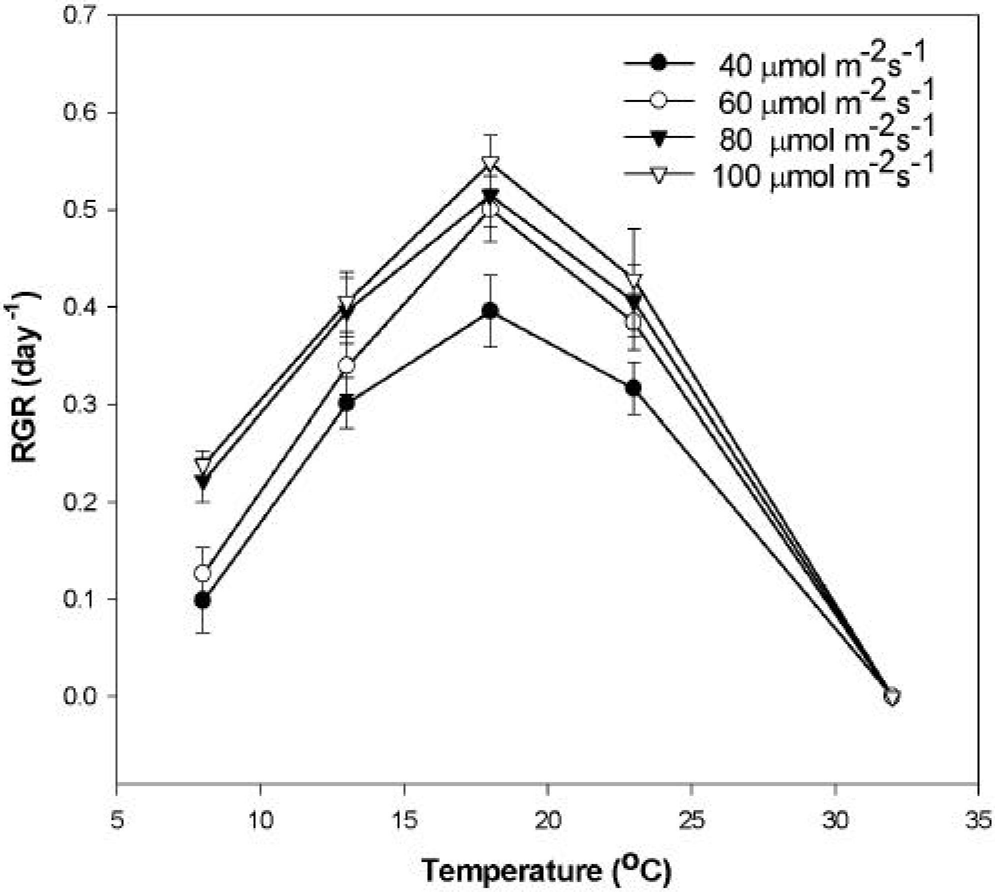

Fig. 8. Relative growth rates (RGR) of germlings of *Enteromorpha compressa* at various irradiances and temperature regimes. Bars represent standard errors.

Table 2. ANOVA test for the effects of irradiance and temperature on the growth of germlings in *Enteromorpha compressa*

Factor	df	Sum of sqares	Mean square	F-ratio	P
Temperature	3	17.31	5.77	5822.15	〈0.001
Irradiance	3	4.14	1.38	1391.17	〈0.001
Interaction	9	0.33	0.04	37.46	〈0.001
Residuals	1264	1.25	0.001		
Total	1279	23.03			

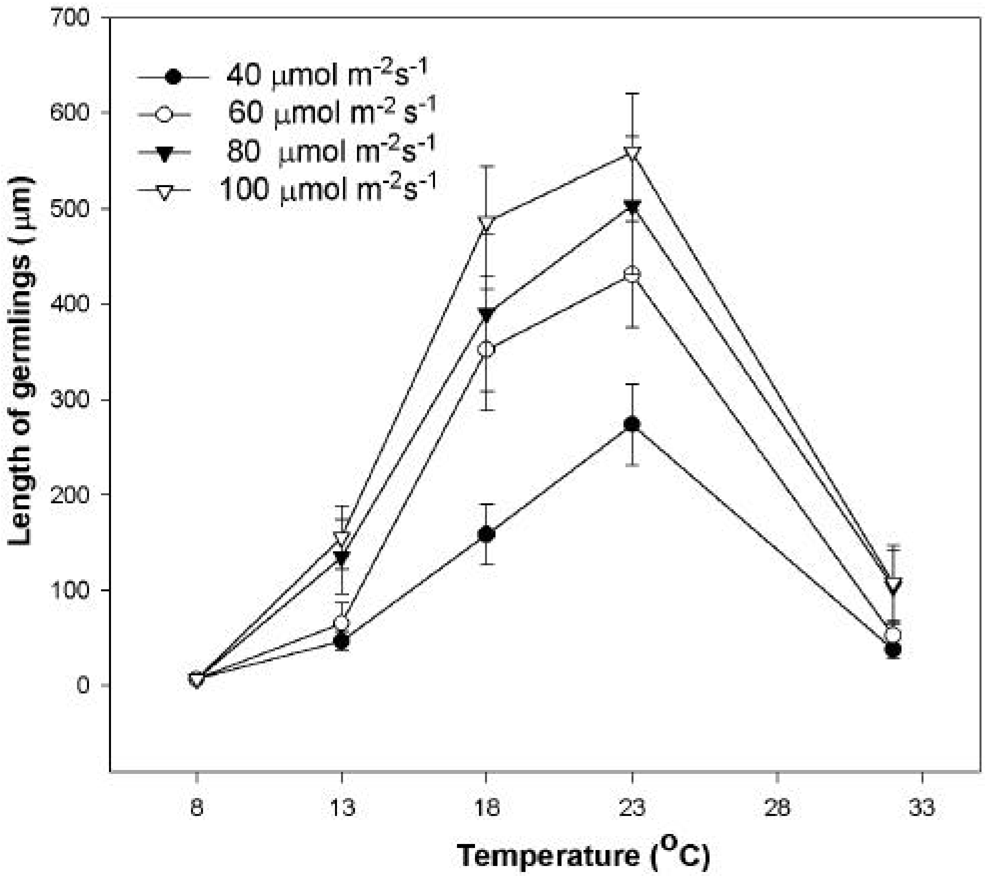

Fig. 9. Mean lengths of germlings of *Ulva conglobata* grown at various irradiances and temperatures for 7 days. Bars represent standard errors.

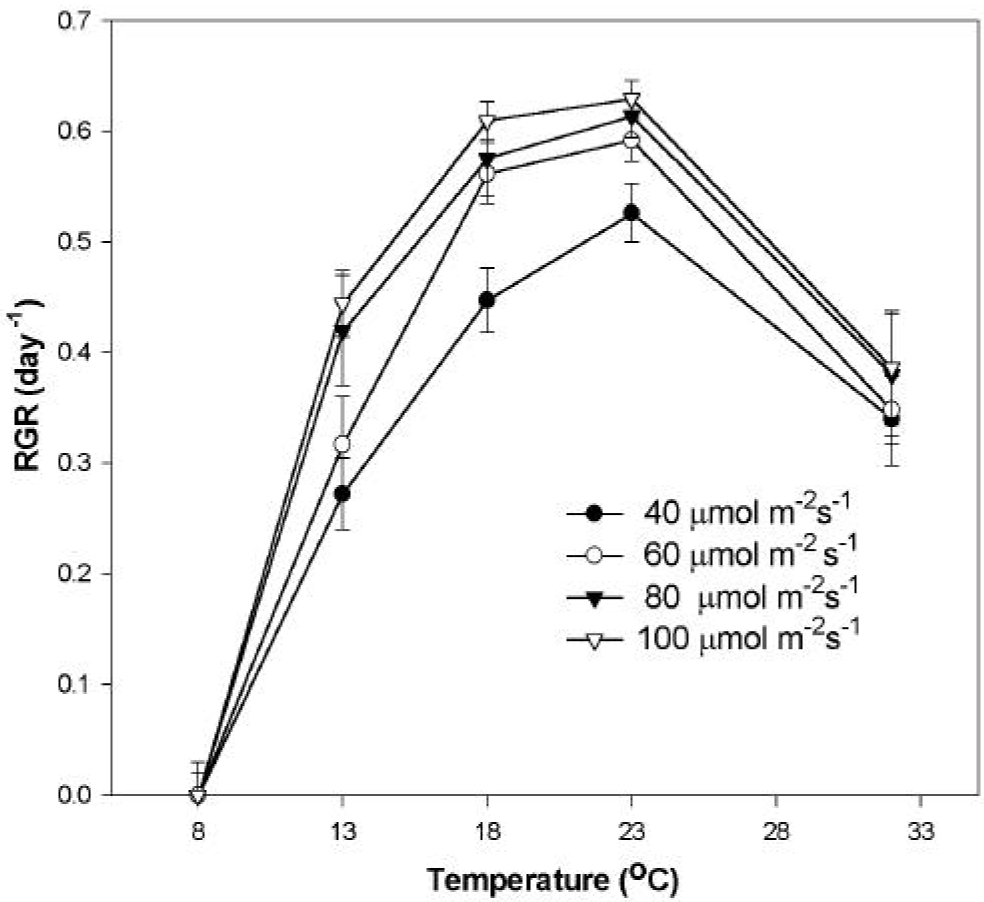

Fig. 10. Relative growth rates (RGR) of germlings of *Ulva conglobata* at various irradiances and temperature regimes. Bars represent standard errors.

TAble 3. ANOVA test for the effects of irradiance and temperature on the growth of germlings in *Ulva conglobata*

Source of variaton	df	Sum of sqares	Mean square	F-ratio	P
Temperature	3	12.96	4.32	2550.78	〈0.01
Irradiance	3	3.66	1.22	720.32	〈0.01
Interaction	9	0.43	0.05	28.36	〈0.01
Residuals	1264	2.14	0.001		
Total	1279	19.20			

Table 4. ANOVA test on the effects of irradiance and species on the relative growth rate (day^{-1}) of *Enteromorpha intestinalis*, *Enteromorpha compressa* and *Ulva conglobata*

Factor	df	Sum of sqares	Mean square	F-ratio	P
Irradiance	3	11.38	3.79	143.89	〈 0.001
Species	2	0.11	0.05	2.00	〉 0.05
Interaction	6	0.03	0.004	0.16	〉 0.05
Residuals	3828	100.92	0.03		
Total	3839	112.43			

Table 5. ANOVA test on the effects of temperature and species on the relative growth rate (day^{-1}) of *Enteromorpha intestinalis*, *Enteromorpha compressa* and *Ulva conglobata*

Factor	df	Sum of sqares	Mean square	F-ratio	P
Irradiance	3	80.05	26.68	5643.34	〈 0.001
Species	2	0.17	0.05	11.23	〈 0.001
Interaction	6	14.16	2.36	499.05	〈 0.001
Residuals	3828	18.10	0.04		
Total	3839	112.41			

Ⅳ. 고　　찰

파래속 (*Enteromorpha*)의 창자파래와 납작파래는 조간대 상부의 조수웅덩이에서부터 조간대 하부에 이르기까지 넓은 서식범위를 가지며 (Arasaki and Shihira, 1959), 갈파래속 (*Ulva*)의 모란갈파래는 외해에 면한 고조선 바위에 서식한다 (Kang, 1968). 따라서, 3 종은 조석주기에 따라 대기중의 노출과 침수가 반복되어지며, 이에 따라 다양한 조도와 온도의 변화를 경험하게 된다. 계절의 변화는 조도와 온도의 변동을 동반하며 (Breeman *et al*., 1988), 이러한 환경인자는 해조류의 생장 및 성숙과 밀접한 관련을 가지는 것으로 알려져 있다 (Edwards, 1971; Gwinner, 1986; Lüning and tom Dieck, 1989).

조도 (irradiance)는 단위 시간당 단위면적에 투사되는 광량자에 대한 양적인 단위로서 해조류의 광합성과 직접적으로 관련되고, 세포내의 물질생산, 나아가 생장을 결정하는 주요한 환경 요인 중의 하나이다 (Raven and Smith, 1977). 일반적으로 해조류의 생장을 위해 요구되는 조도 조건은 그들의 서식환경과 가장 유사하다 (Sheader and Moss, 1975; Yarish and Edwards, 1982; Charonofsky *et al*., 1982). 즉, 조간대 종들은 400 600 μmol $m^{-2}s^{-1}$에서, 조하대 하부의 종들은 조간대 종에 비해 상대적으로 낮은 조도인 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$에서 생장의 포화조도를 나타낸다 (Lüning, 1981). 포자의 경우는 모체에 비해 상대적으로 낮은 조도에서 좋은 생장을 보인다고 보고되어 있다 (Kain, 1964; Lüning and Neushul, 1978; Lüning, 1981; Fain and Murray, 1982; Bolton and Lewitt, 1985). 조간대에 서식하는 종의 배아의 경우도 생장을 위해 낮은 조도를 선호한다 (Jones and Dent, 1970; Sheader and Moss,

1975). 본 연구에서 한국산 갈파래과 3종의 배아 생장에 대한 포화조도의 값은 확인할 수 없었으나, 실험조도 범위 내에서 (40 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$) 3종 모두 배아 생장은 조도의 증가에 따라 촉진되었다. 이러한 경향은 조도에 대한 3종간의 반응에 유의차가 인정되지 않음을 볼 수 있다 (Table 4). 조사된 최고 조도인 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$에서 최대생장이 일어나서 갈파래과 3종의 배아의 최적 생장 조도는 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$이상인 것으로 생각된다. Kim and Lee (1996)는 창자파래의 배아는 125 250 μmol $m^{-2}s^{-1}$에서, 잎파래 (*E. linza*)의 성체는 250μmol m^{-2} s^{-1}에서 최대 생장이 일어남을 보고한 바 있다 (Klugh and Martin, 1927).

해조류의 생장은 조도는 물론 수온에 의해서도 영향을 받는데 (Prince and Kinsbury, 1973), Rhodes (1970)와 Rietema and van den Hoek (1981)는 동일 종 내에서도 생활사 단계에 따라 생장을 위해 요구되는 수온 조건은 다름을 보고하였다. 이와 같이 수온과 해조류의 생장 및 이에 따른 현존량의 계절적 변화는 밀접한 상관관계를 가지고 있어서 (De Wreede, 1976), 수온은 해조류의 수직적, 수평적 분포를 결정하는 중요한 제한요인으로 강조되어 왔다 (McLachlan and Bird, 1984; Yarish *et al.*, 1986). 본 연구의 야외 개체군의 관찰 결과, 창자파래와 납작파래의 피도, 빈도 및 생중량은 수온의 증가와 함께 감소하였으나, 모란갈파래의 풍도 (abundance)는 수온과 정의상관 관계를 보였다. 실내배양에 있어서 3종의 배아 생장은 비교적 넓은 온도 범위에서 적응되어 있었으나, 최적 생장 온도는 종마다 약간씩 달라 창자파래와 납작파래의 경우 18℃, 모란갈파래는 23℃로 각각 나타났다. 또한 모란갈파래의 배아는 다른 2종에 비해 현저히 빠른 생장을 보였다. 이와 같이 배아 및 성체 단계에

서 모란갈파래는 창자파래와 납작파래에 비해 고온에서 잘 생장하는 것으로 관찰되었고 (Table 5), 이러한 온도에 대한 3종의 생장반응은 야외 및 실내배양에서 모두 유사한 양상을 나타냈다.

온도와 조도의 조합 조건하에서도 창자파래와 납작파래의 배아는 18℃의 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ 하에서, 모란갈파래는 23℃의 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ 하에서 최대 생장을 보여, 비교적 고조도 및 고수온에 잘 적응되어 있고, 다른 홍조류나 갈조류보다 빠른 생장률을 가지는 것으로 관찰된바 있어서 (Lobban *et al.*, 1985), 이들 3종의 수직분포 양상 및 계절적 소장 양식에 시사하는바 크다고 할 수 있다 (Arasaki and Shihira, 1959). 일반적으로 생활사 초기 단계에서 배아의 빠른 생장은 동물에 의한 섭식압을 초과하게 되어 다른 종과의 경쟁에서 유리하다(Kim and Lee, 1996). 야외에서 이들 세종이 단지 겨울과 봄철에 나타나면서도 계속적으로 개체군을 유지할 수 있는 것도 다른 종 및 다년생 해조에 비해 빠른 생장률을 가졌기 때문으로 생각된다.

이상의 실내배양 및 자연개체군 분석 결과를 종합해 보면, 한국산 갈파래과 3종 (*U. conglobata*, *E. intestinalis*, *E. compressa*)의 생장은 조도와 수온, 그리고 이들의 상호작용에 의하여 조절되며, 특히 수온은 주요 제한요인으로 간주된다.

V. 요 약

한국산 갈파래과 (Ulvaceae) 3종인 모란갈파래 (*Ulva conglobata* Kjellman), 납작파래 [*Enteromorpha compressa* (L.) Greville], 창자파래 [*E. intestinalis* (L.) Link]의 초기 생장 및 계절적 소장을 조사하기 위한 일환으로, 이들 배아의 생장에 미치는 광과 온도의 영향을 조사하였다. 이를 위하여 한국 부산 청사포에서 성숙 엽체를 채집하여 실내 배양을 수행하였고, 매월 야외관찰을 실시하였다. 배양 실험은 여러 가지 온도와 조도의 조건하에서 이루어졌다.

온도 (8, 13, 18, 23, 32℃)와 조도 (40, 60, 80, 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$)의 영향에 대한 실험에서, 모란갈파래를 제외한 다른 두 종의 배아의 생장은 32℃의 온도 구간에서 모두 사멸하였다. 파래류의 두 종은 18℃, 100μmol $m^{-2}s^{-1}$에서, 모란갈파래는 23℃, 100μmol $m^{-2}s^{-1}$에서 최대 생장을 보였으며, 실험에 선택된 조도의 범위 내에서 3종의 배아 생장은 조도의 증가와 함께 촉진되었다.

야외관찰에서 3월에서 5월까지는 3종이 모두 출현하였으나, 6월 이후 창자파래와 납작파래는 사라지고 모란갈파래만이 우점하였다. 이는 모란갈파래 배아가 다른 파래류의 배아에 비해 생장을 위해 요구되는 최적수온이 높다는 것을 시사하는 것으로, 실내배양의 결과도 이를 뒷받침하고 있다. 납작파래 및 창자파래 배아는, 모란갈파래 배아에 비해 높은 생장률과 생장을 위한 고온 요구성은 6월 이후 모란갈파래의 우점 원인을 설명해주고 있다.

본 연구의 결과는 한국산 갈파래과 3종의 배아 생장은 조도 및 수온

의 단일작용과 이들의 상호작용에 의하여 조절됨을 가리키며, 특히 온도는 배아 생장의 주요 제한요인으로 나타나서, 수온이 이들 세 종의 풍도를 결정하는 가장 중요한 제한요인으로 생각된다.

Ⅵ. 감사의 글

먼저 부족한 저에게 교육대학원의 길로 이끌어 주신 후, 끊임없는 지도와 격려를 아끼지 않으시고, 이 논문이 완성되기까지 애써주신 남기완 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 바쁘신 중에도 저의 논문을 심사해주시고 다듬어 주신 이종화 교수님, 김영식 교수님께 감사드립니다.

특히 바닷가와 실험실에서 채집과 실험을 하는 동안 늦게까지 많은 도움을 주신 최한길 박사님과 이동훈군에게 고마운 마음을 전하며, 아울러 여러모로 협조해 준 조류학 실험실 분들께도 감사의 마음을 전합니다.

끝으로 모든 것을 이해해 주고 내조해 준 아내에게 사랑의 마음을 전합니다.

Ⅶ. 참 고 문 헌

Arasaki, S. and I. Shihira. 1959. Variability of morphological structure and model of reproduction in *Enteromorpha linza*. *Jap. J. Bot.*, 17: 92-100.

Atobe, S and Y. Saito. 1970. Phytosociological study of the intertidal marine algae. Ⅰ. Usujiri Benten-Jima, Hokkaido. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 21: 34-70.

Altamirano, M., F.M. Antonio., C. Francisco and F.L. Figueroa. 2000. Growth seasonality, photosynthetic pigments, and carbon and nitrogen content in relation to environmental factors: a field study of *Ulva olivascens* (Ulvales, Chlorophyta). *Phycologia*, 39: 50-58.

Bliding, C. 1963. A critical survey of European taxa in Ulvales. Part Ⅰ. *Capsosiphon, Percursaria, Blidingia, Enteromorpha. Op. Bot. Soc. Bot.*, 8: 1-160.

Bolton, J.J. and G.J. Lewitt. 1985. Light and temperature requirements for growth and reproduction in gametophytes of *Ecklonia maxima* (Alariaceae, Laminariales). *Mar. Biol.*, 87: 131-135.

Breeman, A.M., J. Meulenhof and M.D. Guiry. 1988. Life history regulation and phenology of the red alge *Bonnemaisonia hamifera*. *Helgol. Meeresunters*, 42: 535-551.

Callow, J.A and M.E. Callow. 1997. Primary adhesion of *Enteromorpha*

(Chlorophyta, Ulvales) propagules: quantitative settlement studies and video microscopy. *J. Phycol.*, 33: :938-947.

Charnofsky, K., L.R. Towill and M.R. Sommerfeld. 1982. Light requirements for monospore germination in *Bangia atropurpurea* (Rhodophyta). *J. Phycol.,* 18: 417-422.

Dawes, C.J., R.E. Moon and J. Laclaire. 1976. Photosynthetic response of the red alga *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux (Gigartinales). *Bull. Mar. Sci.,* 26: 467-473.

De Wreede, R.E. 1976. The phenology of three species of *Sargassum* (Sargassaceae, Phaeophyta) in Hawaii. *Phycologia,* 15: 175-183.

Edwards, P. 1971. Effects of light intensity, daylength, and temperature on growth and reproduction of *Callithamnion byssoides*. In B.C. Parker and R.M. Brown (eds), *Contributions in Phycology*, Allen Press, Laurece, Kansas, pp. 163-174.

Fain, S.R. and S.N. Murray. 1982. Effects of light and temperature on net photosynthesis and dark respiration of gametophytes and embryonic sporophytes of *Macrocystis pyrifera*. *J. Phycol.,* 18: 92-98.

Fralick, R.A. and A.C. Mathieson. 1975. Physiological ecology of four *Polysiphonia* species (Rhodophyta, Ceramiales). *Mar. Biol.,* 29: 29-36.

Gwinner, E. 1986. *Circannual rhythms. Endogenous annual clocks in the organisation of seasonal processes*. Springer. Berlin., pp. 154.

Henry, E.C. 1988. Regulation of reproduction in brown algae by light and temperature. *Bot. Mar.*, 31: 353-357.

Innes, D.J. and C. Yarish. 1984. Genetic evidence for the occurrence of asexual reproduction in populationss of *Enteromorpha linza* (L.) J. Agardh (Chlorophyta, Ulvales) from Long Island Sound. *Phycologia*, 23: 331-320.

Kain, J.M. 1964. Aspects of the biology of *Laminaria hyperborea*. III. Survival and growth of gametophytes. *J. Mar. Biol., Assoc. U.K.* 44: 415-433.

Kang, J.W. 1968. *Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea*. Vol. 8. Marine algae, pp. 47-48.

Kapraun, D.F. 1970. Field and cultural studies of *Ulva* and *Enteromorpha* in the vincinity of Port Aransas, Texas. *Contrib. Mar. Sci.*, 15: 205-285.

Kapraun, D.F. and E.H. Flynn. 1973. Culture studies of *Enteromorpha linza* (L.) J. Ag. and *Ulvaria oxysperma* (Kützing) Bliding (Chlorophyceae, Ulvales) from Central America. *Phycologia,* 12: 145-152.

Kim, Y.K., Y.S. Ahn and I.K. Lee. 1991. Growth and morphology of *Enteromorpha linza* (L.) J. Ag. and *E. prolifera* (Müller) J. Ag. (Ulvales, Chlorophyceae). *Kor. J. Phycol.,* 6: 31-35.

Kim, K.Y. and I.K. Lee. 1996. The germling growth of *Enteromorpha* *intestinalis* (Chlorophyta) in laboratory culture under different combinations of irradiance and salinity and temperature and salinity. *Phycologia*, 35: 327-331.

Klugh, A.B. and J.R. Martin. 1927. The growth rate of certain marine algae in relation to depth of submergence. *Ecology*, 8: 221-231.

Lobban, C.S., P.J. Harrison and M.J. Duncan. 1985. *The Physiological Ecology of Seaweeds*. Cambride Univ. Press, Cambridge, pp. 242.

Lobban, C.S. and P.J. Harrison. 1994. *Seaweed Ecology and Physiology*. Cambridge Univ. Press, New York, pp. 336.

Lüning, K. 1981. Light. In C.S. Lobban and M.J. Wynne (eds), *The Biology of Seaweeds*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 326-355.

Lüning, K. 1981. Egg release in gametophytes of *Laminaria saccharina* induced by darkness and inhibition by blue light and UV. *Br. Phycol. J.*, 16: 379-393.

Lüning, K. and I. tom Dieck. 1989. Enviromental triggers in algal seasonality. *Bot. Mar.*, 32: 389-397.

Lüning, K. and M. Neushul. 1978. Light and temperature demands for growth and reproduction of *Laminaria* gametophytes in southern and central California. *Mar. Biol.*, 45: 297-309.

Mathieson, A.C. and T.L. Norall. 1975. Physiological studies of subtidal red algae. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 20: 237-247.

McLachlan, J. and C.J. Bird. 1984. Geographical and experimental assessment of the distribution of *Gracilaria* species (Rhodophyta, Gigartinales) in relation to temperature. *Helgol. Meeresunters*, 38: 319-334.

Ohno, M., O.P. Mairh., V.D. Chauhan., A. Tewari., R.M. Oza., H.V. Joshi., R.S. Pandy and P.S. Rao. 1981. Mass cultivation of green alga *Enteromorpha* on the coast of Okha. *Rep. Usa. Mar. Biol. Institute, Kochi Univ.*, 3: 51-59.

Prince, J.S. and J.J. Kingsbury. 1973. The ecology of *Chondrus crispus* at Plymouth, Massachusetts. **III**. Effect of elevated temperature on growth and survival. *Biol. Bull.*, 145: 583-588.

Provasoli, L. 1968. Media and prospects for the cultivation of marine algae. In A. Watanabe and A. Hattori (eds), *Cultures and Collections of Algae*, *Jap. Soc. Plant Physiol.*, pp. 63-75.

Raven, J.A. and F.A. Smith. 1977. Sun and shade species of green algae: relation to cell size and envirnment. *Photosynthetica*, 11: 48-55.

Rietema, H. and C. van den Hoek. 1981. The life history of *Desmotrichum undulatum* (Phaeophyceae) and its regulation by temperature and light conditions. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 4: 321-335.

Rhodes, R.G. 1970. Relation of temperature to development of the macrothallus of *Desmotrichum undulatum*. *J. Phycol.*, 6: 312-314.

Round, F.E. 1981. *The Ecology of Algae*. Cambridge Univ. Press, New York, pp. 653.

Sheader, A. and B. Moss. 1975. Effect of light and temperature on germination and growth of *Ascophyllum nodosum*. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 3: 125-132.

Sokal, R.R. and F.J. Rohlf. 1981. In W.H. Freeman and Co (2*nd* eds), *Biometry*, New York, pp. 859.

Wiencke, C. and A. Lauchile. 1980. Growth, cell volume and fine structure of *Porphyra umbilicalis* in relation to osmotic tolerance. *Planta,* 150: 303-311.

Woodhead, P. and B. Moss. 1975. The effects of light and temperature on settlement and germination of *Enteromorpha*. *Br. J. Phycol.,* 10: 269-272.

Yarish, C. and P. Edwards. 1982. A field and cultural investigation of the horizontal and seasonal distribution of estuarine red algae of New Jersey. *Phycologia,* 12: 112-124.

Yarish, C., A.M. Breeman and C. van den Hoek. 1986. Survival strategies and temperature reponses of seaweeds belonging to different biogeographic distribution groups. *Bot. Mar.*, 29: 215-230.

Zar, J.H. 1984. In Prentice-Hall (2*nd* eds), *Biostatistical analysis*, London, pp. 718.

Appendix I (Weekly mean seawater temperature near Busan, Korea in 2001)

Month \ Week	1	2	3	4	5
Mar.	12.9℃	11.4℃	11.2℃	12℃	
Apr.	14.6℃	14.3℃	12.7℃	13.7℃	
May	17.1℃	16.5℃	15.9℃	15.1℃	14.6℃
Jun.	19.7℃	19.9℃	18.6℃	17.6℃	
Jul.	21.7℃	21℃	20.3℃	19.5℃	
Aug.	26.3℃	24℃	22.6℃	23.6℃	24.1℃
Sep.	24.4℃	24.8℃	24.5℃	25.7℃	26.1℃

Appendix Ⅱ (PES medium)

Stock solutions (Each in 100 mℓ$^{-1}$ water)	100 mℓ$^{-1}$
$NaNO_3$	35g
Na_2 glycerophosphate	5g
Fe (as EDTA; 1:1)	25mℓ
V-B_{12}	1mg
Tiamin	50mg
Biotin	0.5mg
TRIS (Sigma Co.)	50mg
P Ⅱ Trace Metals Solution	**1000 mℓ$^{-1}$ (H_2O)**
Na_2-EDTA	1g
H_3BO_3	1.14g
$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	49mg
$MnSO4 \cdot 46H_2O$	164mg
$ZnSO4 \cdot 76H_2O$	22mg
$CoSO4 \cdot 76H_2O$	4.8mg

Add 20 mℓ of the above stock solution mixture to 1000 mℓ of filtered seawater to prepare full-strength medium.