

모자반(*Sargassum fulvellum*)의 성장, 성숙과 발생

황은경 · 백재민 · 박찬선^{1*}

국립수산과학원 해조류연구센터, ¹목포대학교 해양자원학과

Growth, Maturation and Development of *Sargassum fulvellum* (Sargassaceae, Phaeophyta)

Eun Kyoung HWANG, Jae Min BAEK and Chan Sun PARK^{1*}

Seaweed Research Center, National Fisheries Research & Development Institute,
Jeonnam 530-831, Korea

¹Department of Marine Resources, Mokpo National University, Jeonnam 534-729, Korea

Sargassum fulvellum (Turner) C. Agardh, an edible brown alga is farmed commercially by sexual reproduction and vegetative regeneration. Investigations were made on the phenology, abundance and maturity of reproductive structures in mature fronds, egg release and young germling development under different light conditions (20, 50, 80 and 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) and temperatures (5, 10, 15, 20 and 25°C). Monthly sampling was carried out by SCUBA diving at Chungsando on the southwestern coast of Korea from September 2002 to August 2003. The Maximum length of thalli was 104.6 ± 20.7 cm in March 2003 when the water temperature was 9.0°C and minimum was 0.8 ± 0.5 cm in June when the water temperature was 19.5°C. Receptacle formation was observed from February to April. The peak period of egg release for this alga was in April when the water temperature was about 10°C in nature. In the culture regimes of temperature and irradiance, the egg release of the excised female receptacle was highly affected by temperature. The maximum rate of egg release was $96.7 \pm 5.8\%$ under 20°C and 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. The maximum length of young germlings was 3.9 ± 0.2 mm after 35 days culture under 15°C and 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

Key Words: *Sargassum fulvellum*, Growth, Maturation, Development, Artificial seed production

서 론

갈조류 모자반과(Sargassaceae, Phaeophyta)에 속하는 대형 해조류들은 저조선 부근에서 점심대 상부에 걸쳐 큰 군락을 형성한다. 이러한 대형 갈조류 군락은 해중림을 조성하여, 어류와 패류등 유용 수산동물자원의 서식처와 산란장으로 이용되므로써, 해양생태계 유지에 있어 매우 중요한 기능을 담당하고 있다(Ohno, 1993; Watanuki and Yamamoto, 1990). 우리나라 연안 해역의 압초 지역에서 해중림을 구성하는 모자반류는 모두 28종으로 알려져 있으며(Lee and Kang, 2001), 이 가운데서도 수산업상 중요한 종으로는 모자반 [*Sargassum fulvellum* (Turner) C. Agardh]의 10여종에 국한된다(Ohno, 1993). 특히 식용으로 이용되는 것은 모자반이 대표적이며, 모자반은 모자반과(Sargassaceae)를 대표하는 종으로서 흔히 '참물' 또는 '참모자반'으로 불려지기도 한다.

모자반은 자웅이주이며, 타원형 또는 도란형의 기포 끝에 미칠두 또는 소엽을 가지는 것이 특징이다. 이 종은 다년생이며 생식방법으로는 난과 정자의 수정에 의한 유성생식과 함께 포복자에 의한 영양번식으로도 증식된다. 모자반의 양식은 1990년대 이후 주로 서남해안 진도군 지역에서 일부 이루어지고 있으나 그 양은 그리 많지 않다. 생산된 모자반은 대부분이

국내에서 소비되고 있으며, 주로 부산 경남 지역으로 판매가 되고 있다. 모자반은 현재 양식 생산되고 있는 해조류들 가운데 가격이 매우 높은 편이어서 1 kg(생중량)당 3,000원-5,000원까지 거래되고 있으며, 수요에 비하여 공급량이 부족한 실정이다. 따라서 모자반은 우리나라 해조류양식의 새로운 양식 품종으로 매우 유망한 대상종이라 할 수 있겠다. 그러나 모자반의 상업적인 대량 양식을 위해서는 성숙 모조의 확보와 대량 유배의 방출 유도 및 조기 채묘 유도에 관한 기법의 개발과 적정 가이식 기법의 개발 등이 요구되고 있다.

모자반의 성장과 성숙을 좌우하는 요인들로는 온도(Norton, 1977; Hales and Fletcher, 1990), 염분(Hales and Fletcher, 1989; Arai and Miura, 1991), 조도(Hales and Fletcher, 1989; Arai and Miura, 1991) 그리고 광주기(Uchida et al., 1991; Uchida, 1993; Hwang and Dring, 2002) 등과 같은 외부 환경요인의 영향에 대한 연구들이 주로 수행되었으며, 이러한 외부환경 요인들은 모자반 유배 또는 자연적으로 생육된 염체의 절편의 성장과 성숙에 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

따라서 모자반의 양식을 위한 효과적인 인공종묘생산을 위해서는 환경요인의 조절에 의하여 성숙주기를 앞당기거나 유배의 대량 방출을 유도하기 위한 배양조건의 구명이 필수적이다. 그러나 이 중에 관한 연구는 직접 식용으로 이용되고 있는 모자반의 높은 이용도에도 불구하고(Kang and Ko,

*Corresponding author: cspark85@mokpo.ac.kr

1977), 서식지 환경에 따른 모자반의 성장과 성숙(Lee, 1991) 및 유배의 초기 발달(Chang, 1977)에 관한 연구를 제외하면 거의 없는 실정이다.

본 연구는 자연 군락에서 모자반의 성장과 성숙 주기를 밝히고, 실내에서 조기 채묘와 대량 인공종묘생산을 위한 대량 유배 방출 유도를 통하여 모자반 양식의 안정화와 차세대 해조류 양식 대상종의 개발을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

성장과 성숙

모자반 엽체의 성장과 성숙 주기 조사는 전남 완도군 청산도(127°21'39"E; 34°12'10"N)의 자연산 군락을 대상으로 2002년 9월부터 2003년 8월까지 매월 채집된 시료를 분석하여 이루어졌으며, 특히 이들이 성숙하는 시기인 2월부터 6월 사이에는 월 2회 채집하여 분석하였다. 자연산 군락의 시료 채집은 수심 5-7 m에서 SCUBA diving에 의해 수행되었으며, 50×50 cm 방형구를 사용하여 무작위적으로 4개 지점에서 방형구 내의 시료를 전량 채취하였다. 채집된 시료는 즉시 실험실로 운반하여 전장과 습중량을 측정하고 생식기탁의 발달 여부를 현미경하에서 조사하였다. 생식기탁의 성숙 정도는 성숙, 미성숙, 형성개체의 3가지 범주 중의 하나로 구분하였으며, 성숙율은 월별로 채집된 총 개체수에 대한 성숙개체의 백분율로 구하였다.

난 방출과 유배의 성장

실내 배양실험을 통한 난 방출 유도 실험은 길이 5 mm 내외의 암생식기탁을 절단하여 수회 멸균해수를 이용하여 세척한 후 항생제 용액(Provasoli's antibiotic concentrated solution, Sigma)에 2-3분간 침적하였다. 엽체 절편은 10개씩 각기 3회 반복 실험구를 두어 온도(5, 10, 15, 20, 25°C) 및 조도(20, 50, 80, 100 μmol/m²/s) 별 생식기탁의 성장과 난 방출율을 측정하였다. 방출된 유배는 pasteur pipette를 이용하여 방출 즉시 분리하여 각각의 온도(5, 10, 15, 20, 25°C) 및 조도(50, 80, 100 μmol/m²/s) 조건하에서 유배의 성장을 측정하였다. 각 시험구별 배양시험은 3반복으로 수행되었다.

배양용기는 직경 5 cm의 멸균된 petri dish를 사용하였으며, 배양액은 PESI medium (Tatewaki, 1966)에 AMB 용액 (Guillard, 1968)을 첨가하여 사용하였고 2일마다 전량 교체하였다. 모든 배양은 다연실인큐베이터(Multi room chamber, HB-302M-4)의 장일(16:8h, L:D) 조건하에서 실시하였다.

통계분석

자연 개체군의 월별 평균 성장 차이는 일원 분산분석(One-way ANOVA)을 이용하여 분석하였고, 월간에 차이가 있을 경우 다중 비교분석(multiple comparison analysis)을 하였다. 실내 배양시험에서 얻어진 생식기탁의 성숙유도 및 유배의 성장 차이에 대한 통계분석은 온도와 조도의 2가지 요인에 대한 요인분석을 분산분석법(Two-way ANOVA)을 이용하여

실시하였으며(Zar, 1984) 통계프로그램은 SPSS Ver. 8.0과 SYSTAT Ver. 9.0을 이용하여 0.05 수준에서 이루어졌다.

결 과

조사 기간 동안 조사지점의 표면수온의 변화는 Fig. 1과 같이 2002년 9월에 가장 높은 23.5°C를 보였으며, 점차 감소하여 2월에 7.1°C로 가장 낮은 수온을 나타내었다. 자연군락 모자반의 길이생장은 2002년 9월 이후 수온의 감소와 함께 점차 증가하기 시작하여, 2003년 3월 중순에 104.6±20.7 cm로 가장 높은 값을 보였다(Fig. 1). 엽체의 성숙은 2003년 2월부터 일부 생식기탁의 형성이 확인되기 시작하여 3월말에서 4월초가 주성기를 이루었으며, 5월 이후에는 포복지를 제외한 상부의 엽체가 녹아나가기 시작하여 엽장이 크게 감소하였다. 엽체의 월별 습중량 변화는 길이생장의 경향과 비슷하게 수온이 낮아지는 10월부터 점차 증가하기 시작하여, 겨울을 지나 봄철인 4월에 71.4±9.2 g으로 가장 높은 값을 보였고, 이후 점차 수온이 상승함에 따라 조락기로 들어 6월 이후에는 잎, 생식기탁, 주지의 상부가 상당부분 소실되었다(결과 표기 생략).

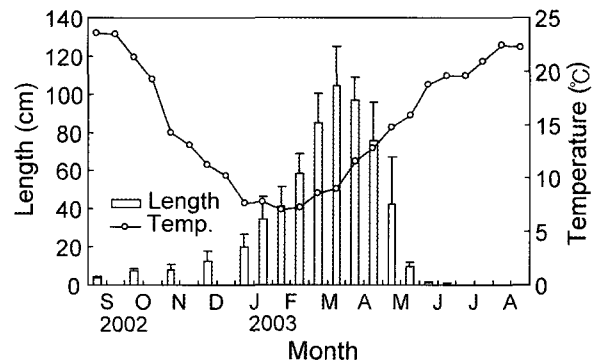


Fig. 1. Monthly fluctuations in the mean length growth of *Sargassum fulvellum* related to water temperature of the habitat in Chungssando, Wando from September 2002 to August 2003. Shaded area indicates maturation period in nature.

절단된 암생식기탁의 온도 조건별 길이생장은 1.26±0.12 - 1.45±0.04 mm로 온도 구간에 따른 차이를 보이지 않았으나 (p>0.05), 중량은 15°C 구간에서 0.044±0.002 g으로 가장 높은 값을 보였으며, 5°C 온도구간에서 0.031±0.006 g으로 가장 낮은 값을 보였다(p<0.05) (Fig. 2).

배양 12일 동안 온도구간별 암생식기탁으로부터 난의 방출율(Fig. 3)은 15°C 구간에서 배양 2일째 가장 먼저 증가하기 시작하였으며, 배양 6일째 73.3±30.6%의 난 방출율을 보였다. 20°C 온도 구간에서는 배양 4일후부터 난 방출이 크게 증가하기 시작하여 배양 9일후 및 배양 11일후 모두 96.7±5.8%의 난 방출율을 보였다. 5°C 온도구간에서는 배양 11일후에도 3.3%의 낮은 난 방출율을 보였으며, 10°C와 25°C 온도구간에서는 약 36%의 유사한 난 방출율을 나타내었다. 배양 11일

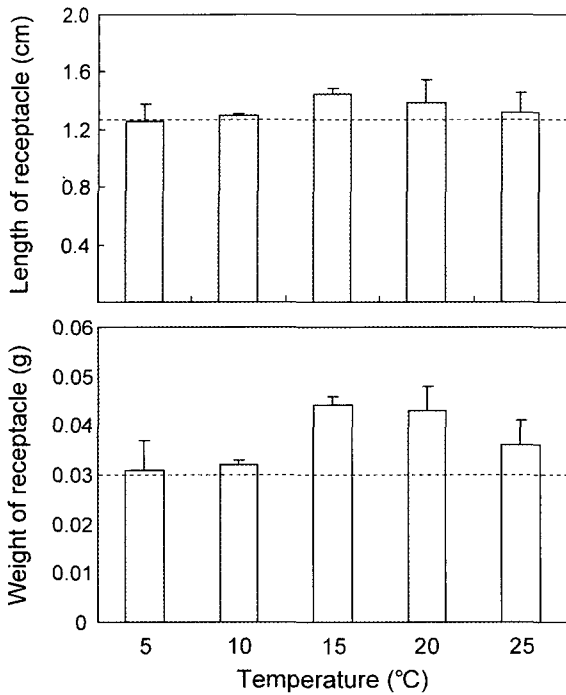


Fig. 2. Effect of temperature on the growth of female receptacles of *Sargassum fulvellum* after 11 days culture under $80 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ and 16:8h (L:D). Dotted lines indicate initial values.

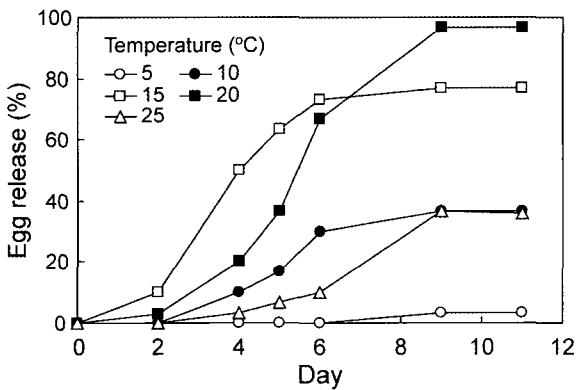


Fig. 3. Effect of temperature on egg release from excised receptacles of *Sargassum fulvellum* during 11 days culture under $80 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ and 16:8h (L:D). Values indicate the mean of triplicates.

후 각 온도조건별 난 방출율은 20°C 구간에서 가장 높은 96.7%를 나타내었으며, 15°C 구간에서는 73.3%로 높은 난방출율을 나타내었다. 5°C 온도구간에서는 가장 낮은 3.3%의 난 방출율을 보였다.

조도 조건별 난 방출율은 배양 2일 후부터 조도 구간별 차이 없이 증가하기 시작하여, 배양 8일후 모든 조도구간에서 80% 이상의 난방출을 보였으며, 배양 11일 후 95.3-85.0%로 조도 구간별로 큰 차이를 보이지 않았다($p < 0.05$) (Fig. 4).

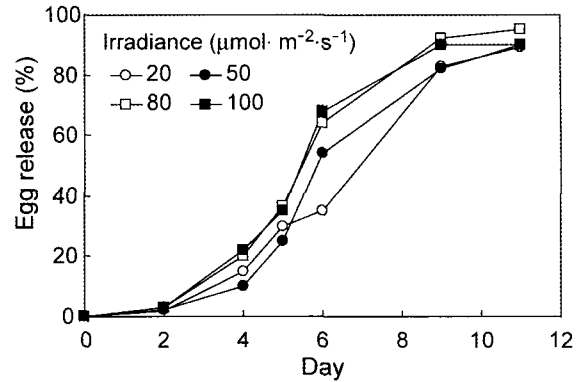


Fig. 4. Effect of irradiance on egg release from excised receptacles of *Sargassum fulvellum* during 11 days culture under 15°C and 16:8h (L:D). Values indicate the mean of triplicates.

모자반은 자용이주로(Fig. 5A-D) 난과 정자의 수정에 의하여 생식이 이루어지며, 암생식기탁으로부터 생식기집 외부로 방출된 난은 점액질과 함께 생식기탁 표면에 부착된 상태(Fig. 5E)로 수정이 이루어진다. 수정된 난은 발생이 시작되어 수회의 난할이 이루어 진후 가관이 형성되기 시작하는 단계(Fig. 5F)에서 생식기탁으로부터 탈락되어 기물에 착생하게 된다. 생식기탁으로부터 유배의 대량 방출 및 탈락은 수정후 2-3일 내에 이루어진다. 유엽의 발달과정은 배양 14일 후 주적모양(Fig. 5G)으로 발달하고 40일 후 2차엽이 형성되며(Fig. 5H), 60일 후 주지의 분화와 3차엽이 형성되고(Fig. 5I,J), 90일 후 4차엽이 형성되었다(Fig. 5K). 100일 후에는 잎의 형성이 매우 빨라지기 시작하며(Fig. 5L) 하부의 잎은 폭이 두텁게 자란다.

모자반 유엽의 생장은 Fig. 6과 같이 각 온도 및 조도 조건에 따라 차이를 보였다($p < 0.05$). 즉 배양 35일 후 유엽의 길이 생장은 15°C와 $80 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 구간에서 $3.9 \pm 0.2 \text{ mm}$ 로 가장 높은 값을 보였으며, $50 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 구간에서 $3.7 \pm 0.5 \text{ mm}$ 및 $100 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 구간에서 $3.1 \pm 0.3 \text{ mm}$ 의 순으로 나타났다. 또한 10°C 온도 구간과 20-25°C 구간에서는 1.8-2.6 mm의 길이생장을 보였으며, 5°C 온도 구간에서는 모든 조도구간에서 가장 낮은 0.3-0.33 mm의 길이생장을 나타내었다.

고찰

모자반류는 서식 장소에 따라 생장속도(Yamauchi, 1984)와 성숙시기(Marui et al., 1981) 등에 있어 차이를 나타내게 되며 이는 수온과 밀접한 관계가 있는 것으로 밝혀져 있다(Umezaki, 1983). 그리고 해수중의 영양염 농도변화는 모자반엽체가 생장과 성숙하게 됨에 따라 영향을 미치게 되는데, Yamauchi (1984)는 *S. horneri* 및 *S. muticum*에 있어서, 해수중의 전질소 농도와 인의 농도에 관계없이 생장과 함께 선택적으로 이들 영양분을 흡수하여 성숙 시기에 그 축적량이 최대에 도달한다고 하였으며, 이와 같은 결과는 Lee (1991)의 연구결과 *S. fulvellum*에서도 동일한 경향을 보였다. 또한 모자반류

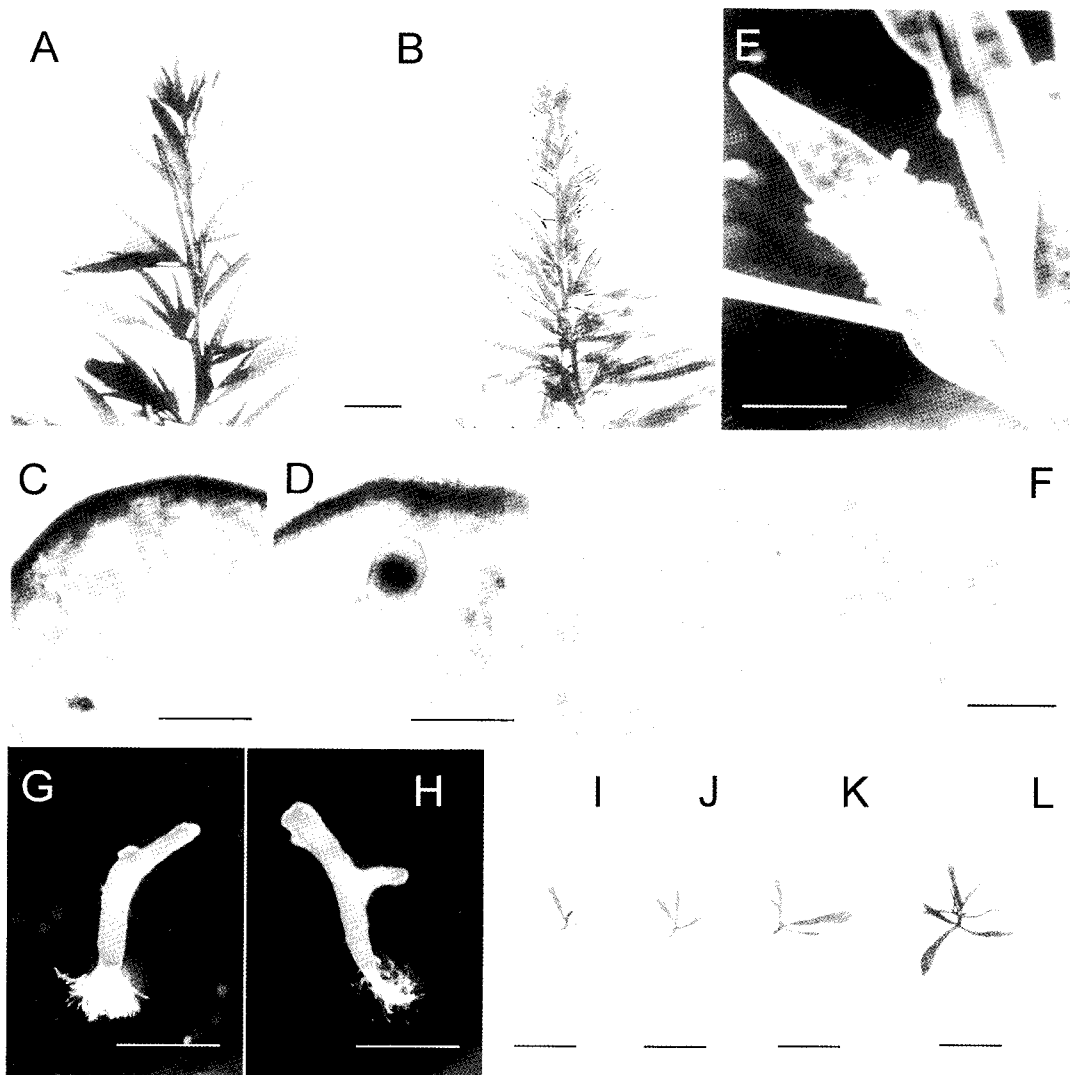


Fig. 5. Early development of *Sargassum fulvellum*. A, Male thallus; B, Female thallus; C, Cross-sectioned male conceptacles; D, Cross-sectioned female conceptacle; E, Prostrated eggs from conceptacles attaching on a female receptacle with mucilages; F, Cell division of germling; G, Young thallus after 14 days culture; H, Secondary leaflet formation after 40 days culture; I-J, Third leaflet formation after 60 days culture; K, Fourth leaflet formation after 90 days culture; L, More than 5th leaflet formation after 100 days culture under $80 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$, 15°C and 16:8h (L:D). Scale bars are 1 cm (A-B), $100 \mu\text{m}$ (C-D), 1mm (F-H) and 1cm (I-L).

의 성숙 시기와 관련하여 Umezaki (1985)는 춘계 성숙형, 하계 성숙형 및 추계 성숙형의 세가지로 구분한 바 있다. 춘계 성숙형에는 *S. serratifolium*, *S. patens* 및 *S. horneri* 등이 속하며, *S. fulvellum* 역시 수온이 상승하는 시기인 봄철에 최대로 성숙하므로 춘계 성숙형으로 구분된다(Taniguchi and Yamada, 1978; Lee, 1991). 그러나 조하대에 서식하는 모자반류는 염분 변화가 크지 않은 환경조건 하에서 생육하므로 염분농도는 모자반의 성장에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 보고되고 있다(De Wreede, 1976; Bathen, 1968; Tsuda, 1972).

위와 같이 모자반의 성장과 성숙에는 여러 가지 환경요인들이 복합적으로 영향을 미치는 것으로 보고되고 있으나, 외부

환경요인들 중 수온 조건이 모자반의 성장과 성숙에 있어서 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 알려지고 있다. 이 연구의 결과에서도 *S. fulvellum*의 성장은 수온이 상승하기 시작하는 2월부터 빠르게 증가하기 시작하여, 3월 중순경 최대생장을 나타내었으며, 성숙 역시 수온이 상승하기 시작하는 2월부터 생식기탁의 형성이 시작되어 수온 10°C 이상이 되는 3월에 최성기를 이루었다(Fig. 1). 이러한 결과는 봄철에 성숙하여 난을 방출하는 *S. fulvellum*의 경우 10°C 전후로 수온 상승 시기를 조절함으로써 난 방출에 소요되는 시간을 임의대로 단축시킬 수 있음을 시사하며, 실내 배양에서도 Fig. 3과 같이 온도 조건에 따라서 난 방출율이 큰 차이를 보이는 것으로

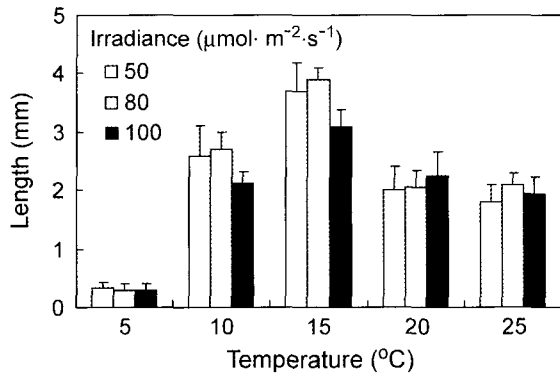


Fig. 6. Effects of temperature and irradiance on the early growth of germlings of *Sargassum fulvellum* after 35 days culture under 16:8h (L:D). Vertical bars represent standard deviations.

확인되었다($p < 0.05$).

Deysher (1984)는 일본에서 *S. muticum*의 서식지 수온 범위가 5-28°C라고 보고하면서 이 종의 생식패턴이 특정온도에 의해서 결정되는 것이 아니라 육상식물의 경우에서 제시되었던 고전적인 적산온도 모델에 의하여 결정되는 특징을 가진다고 보고하였다. 이러한 적산온도의 개념은 *S. fulvellum*에서도 역시 공통적으로 적용 될 것으로 생각되며, 추후 정확한 적산온도의 구명이 이루어져야 할 것으로 보인다.

해조류의 일반적인 생장은 실내배양 및 자연 조건에서 수온과 조도 등의 환경조건에 따라 차이를 나타내는데(Edwards, 1971), 본 실험에서도 모자반의 초기 생장이 수온과 조도 등에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. *S. fulvellum*의 양식은 유배의 채묘와 수조배양시기를 거쳐 엽체 길이가 약 4-5 mm의 길이로 성장되면 바다로 옮겨 가이식 관리를 한 후 분양성으로 이루어지게 된다. 따라서 가이식 이전의 유배 채묘와 수조배양시기에 있어서 엽체의 탈락을 최소화하고 길이생장을 최대한으로 할 수 있는 배양조건의 확립은 모자반 종묘생산의 가장 중요한 단계라 할 수 있다.

S. fulvellum 유배의 발생과정은 Hwang et al. (1994)의 실험에서 보고된 듯이 발생과정과 매우 유사하며, 두 종 모두에서 유배의 초기발생과 엽체의 부착력은 발생된 유배가 어떤 환경조건에서 발아하느냐에 따라 큰 차이를 보이게 된다.

실내배양에서는 빛과 온도와 같은 여러 가지 환경요인들의 상호작용이 유배의 발생과정에 크게 영향을 미치게 된다. Hales and Fletcher (1990)는 *S. muticum* 유체의 성장과 온도와 관계에 대하여 온도가 10-20°C 사이의 조건에서는 온도가 증가할수록 성장 역시 증가한다고 하였고, Arai and Miura (1991)은 *S. ringgoldianum*의 실내배양에서 10,000 lux (ca. 200 μmol/m²/s)와 5,000 lux (ca. 100 μmol/m²/s)구간에서는 배양 8주후 약 4.7개의 새로운 유엽을 형성하였으나, 1,000 lux (ca. 20 μmol/m²/s)구간에서는 3.2개로 조도차에 의한 성장 차가 뚜렷함을 보고하였는데, 이는 본 실험의 모자반 유배 발생 및 분화에서 조도의 영향이 크게 나타난 것과 일치하는 결

과이다. 본 연구에서 *S. fulvellum* 유체의 생장은 조도와 온도 조건별로 차이를 보여 10-15°C 온도구간의 80 μmol/m²/s 조건에서 최대 길이생장을 보였으나, 고조도인 100 μmol/m²/s에서는 저조도 구간에 비하여 오히려 생장이 저조하였다(Fig. 6). 또한 20°C 이상의 고온 조건에서는 모든 조도구간에 있어 생장이 낮게 나타났다. Lüning (1981)에 따르면 빛은 온도와 영양염 등의 다른 배양조건이 적당할 경우 해조류의 형태적 발달을 유발하는 개시신호(trigger)로 작용한다고 하였으며, Burrows (1956)는 광선이 해조류의 기관 분화에 영향을 미치는 요인이며, 저조도에서 세포 생장이 억제되나 고조도 조건에서는 세포 성장 및 엽체의 신장이 증가한다고 하였다. 또한 Hruby and Norton (1979)는 조도차에 따라 조류가 형태적 발현양상을 달리한다고 하였는데, 특히 갈조류의 발생과정 및 형태형성 과정에 있어서 빛의 영향이 가장 크다고 하였다.

본 실험의 결과는 모자반 유배의 초기 발생 및 엽체의 적정 초기생장을 유도하기 위하여 적정 수온 및 조도관리가 요구되며, 이러한 배양환경의 조절을 통해서만이 건전한 종묘를 안정적으로 확보할 수 있음을 시사한다. 모자반 완전양식의 정착을 위하여 차후에 기대되는 연구과제로서는 적정 가이식 및 양생기법 개발과 이 시기 동안 출현하는 해적생물의 효과적인 구제법에 관한 연구가 보완되어야 할 것이다.

이 연구에서는 모자반의 자연 군락에서 성장과 성숙 주기를 밝혔으며, 유배의 대량방출 유도 조건 및 초기 성장을 위한 최적 환경조건을 구명함으로써 모자반 양식의 안정화뿐만 아니라 해조류 양식 대상종의 다양화에도 크게 기여할 것으로 사료된다.

사 사

이 연구는 국립수산물과학원(해조류 품종개발 및 양식기술개발연구, RP-05-AQ-1)의 지원 및 2003학년도 목포대학교 신진연구교수 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- Arai, A. and A. Miura. 1991. Effects of salinity and light intensity on the growth of brown alga, *Sargassum ringgoldianum*. Suisanzoshoku, 39, 315-319.
- Bathen, K.H. 1968. A descriptive study of the oceanography of Kaneohe Bay, Oahu, Hawaii. Univ. Hawaii, Inst. Mar. Biol. Tech. Rep., 14, 1-353.
- Burrows, E.M. 1956. Growth control in the *Fucaceae*. Proc. Intl. Seaweed Symp., 2, 163-170.
- Chang, J.W. 1977. Fundamental study on the early development of *Sargassum*. Bull. Fish. Res. Dev. Agency Korea, 18, 141-149.
- Deysher, L.E. 1984. Reproductive phenology of newly introduced populations of the brown alga, *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt. Hydrobiologia, 116/117,

- 403-407.
- 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: Contributions in Phycology, Parker, B.C. and R.M. Brown, eds. Allen Press Inc., Kansas, pp. 163-173.
- Guillard, R.R.L. 1968. A simplified antibiotic treatment for obtaining axenic cultures of marine photoplankton. Mimeographed document. Woods Hole Oceanogr. Inst. Mar. Biol. Lab., pp. 9.
- Hales, J.M. and R.L. Fletcher. 1989. Studies on the recently introduced brown alga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt. IV. The effect of temperature, irradiance and salinity on germling growth. *Bot. Mar.*, 32, 167-176.
- Hales, J.M. and R.L. Fletcher. 1990. Studies on the recently introduced brown alga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt. V. Receptacle initiation and growth, and gamete release in laboratory culture. *Bot. Mar.*, 33, 241-249.
- Hruby, T. and T.A. Norton. 1979. Algal colonization on rocky shores in the Firth of Clyde. *J. Ecol.*, 67, 56-77.
- Hwang, E.K. and M.J. Dring. 2002. Quantitative photo-periodic control of erect thallus production in *Sargassum muticum*. *Bot. Mar.*, 45, 471-475.
- Hwang, E.K., C.S. Park and C.H. Sohn. 1994. Effects of light intensity and temperature on regeneration, differentiation and receptacle formation of *Hizikia fusiformis* (Harvey) Okamura. *Kor. J. Phycol.*, 9, 85-93.
- Kang, J.W. and N.P. Ko. 1977. Seaweed Aquaculture. Taewha Publication. Busan, Korea, pp. 294.
- Lee, S.S. 1991. Effects of environmental factors on growth and maturity of *Sargassum fulvellum* (Turner) C. Agardh. MS Thesis, Natl. Fish. Univ. of Busan, Busan, Korea. pp. 42.
- Lee, Y.P. and S.Y. Kang. 2001. A catalogue of the seaweeds in Korea. Cheju Natl. Univ. Press, Korea, pp. 662.
- Lüning, K. 1981. Light. In: The Biology of Seaweeds, Lobban, C.S. and M.J. Wynne, eds. Blackwell Sci. Pub., USA, pp. 326-355.
- Marui, M., S. Inai and T. Yoshida. 1981. Growth and maturation of six species of *Sargassum* and *Cystoseira* (Phaeophyta, Fucales) in Oshoro Bay, Hokkaido, Japan. *Jap. J. Phycol.*, 29, 277-281.
- Norton, T. 1977. The growth and development of *Sargassum muticum*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 26, 41-53.
- Ohno, M. 1993. Succession of seaweed communities on artificial reefs in Ashizuri, Tosa Bay, Japan. *Algae*, 8, 191-198.
- Taniguchi, K. and I. Yamada. 1978. Annual variation and productivity of the *Sargassum horneri* population in Matsushima Bay on the Pacific coast of Japan. *Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab.*, 50, 59-65.
- Tatewaki, M. 1966. Formation of a crustaceous sporophyte with unilocular sporangia in *Scytosiphon lomentaria*. *Phycologia*, 6, 62-66.
- Tsuda, R.T. 1972. Morphological zonal and seasonal studies of two species of *Sargassum* in the reefs of Guam. *Proc. 7th Intl. Seaweed Symp.*, Univ. Tokyo Press, Japan, pp. 40-44.
- Uchida, T. 1993. The life cycle of *Sargassum horneri* (Phaeophyta) in laboratory culture. *J. Phycol.*, 29, 231-235.
- Uchida, T., K. Yoshikawa, A. Arai and S. Arai. 1991. Life cycle and its control of *Sargassum muticum* (Phaeophyta) in batch cultures. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 2249-2253.
- Umezaki, I. 1983. Ecological studies of *Sargassum miyabei* Yendo in Maizuru Bay, Japan Sea. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 49, 1925-1834.
- Umezaki, I. 1985. Growth of the stem in *Sargassum ringgoldianum* Harv. subsp. *coreanum* (J. Ag.) Yoshida in Obama Bay, Japan Sea. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 51, 1441-1445.
- Watanuki, A. and H. Yamamoto. 1990. Settlement of seaweeds on coastal structures. *Hydrobiologia*, 204/205, 275-280.
- Yamauchi, K. 1984. The formation of *Sargassum* beds on artificial substrata by transplanting seedlings of *S. horneri* (Turner) C. Agardh and *S. muticum* (Yendo) Fensholt. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 50, 1115-1123.
- Zar, J.H. 1984. *Biostatistical Analysis*, Prentice Hall, N.J., pp. 718.

2004년 11월 24일 접수
2005년 4월 7일 수리