

수산학석사 학위논문

녹조식물, 옥덩굴(*Caulerpa okamurae*)
생장의 계절변화와 실내배양을
통한 성숙 및 재생유도

2002 년 2 월

부 경 대 학 교 대 학 원

수 산 생 물 학 과

한 정 우

수산학석사 학위논문

녹조식물, 옥덩굴(*Caulerpa okamurae*)
생장의 계절변화와 실내배양을
통한 성숙 및 재생유도

지도교수 손 철 현

이 논문을 부산수산대학교 석사학위논문으로 제출함



2002년 2월

부경대학교 대학원

수산생물학과

한 정 우

한정우의 수산학석사 학위논문을 인준함

2001 년 12 월 26 일

주 심 농학박사 장 영 진 

위 원 농학박사 김 창 훈 

위 원 이학박사 손 철 현 

목 차

Abstract	ii
I. 서론	1
II. 재료 및 방법	4
1. 야외조사	4
2. 실내배양	7
III. 결과	9
1. 야외조사	9
1-1. 수온과 성숙	9
1-2. 옥덩굴 개체군의 계절적 변동	9
2. 실내배양	14
2-1. 직립지(erect branch)의 생장	14
2-2. 말단가지(ramuli)의 재생	14
2-3. 성숙유도	18
IV. 고찰	27
V. 요약	32
VI. 감사의 글	34
VII. 참고문헌	35

Seasonal Growth and Induction of Maturation and Regeneration
in Culture Studies of the Green Alga, *Caulerpa okamurae*

Jung Woo HAN

Department of Fisheries Biology
Graduate School
Pukyong National University

ABSTRACT

Seasonal growth of natural population, regeneration pattern and maturation of *Caulerpa okamurae* were investigated as a preliminary study for cultivation of this species. Monthly sampling had been carried out by SCUBA diving at Baekunpo, Busan, south eastern coast of Korea, from November, 2000 to October, 2001. Erect branches in their natural habitat varied with water temperature. Length of the erect branch showed the maximum of 14.0 ± 1.4 cm in June 2001 when the water temperature was 19.7°C and a minimum value of 2.8 ± 0.2 cm in April when the water temperature was 14.7°C . The fresh weight was at a maximum of 3.9 ± 0.5 g in June 2001 and at a minimum of 0.2 ± 0.04 g in September 2000. During this investigation, gametangia were observed in August, 2000 and June, 2001 from the natural population.

In a combination of 5 temperatures (18, 22, 25, 28, 31°C) and 5 irradiances (10, 20, 40, 60, 100 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$), regeneration of excised erect branch was highly affected by temperature and irradiance condition. Highest regeneration were obtained at 25°C and 20 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, the highest length growth and fresh weight were $4.5 \pm 1.0\text{cm}$ and $1.2 \pm 0.7\text{g}$ after 15 days culture. Regeneration of excised ramuli was depend on the irradiances. The regeneration rate was highest 50 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ and at 20°C.

In a combination of 4 temperatures (15, 20, 25, 30°C) and 3 irradiances (20, 50, 80 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$), maturation of excised erect branch was highly affected by temperature and irradiance condition. Maturation induced at all irradiance conditions of 25°C and 20 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ of 30°C, the highest maturation rate was 47% at 30°C and 20 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Therefore, these results indicated that asexual reproduction would be possible in *Caulerpa okamurae* culture, because it is difficult of spore induction mass liberation and formation of zygotes in *Caulerpa okamurae*.

I. 서 론

옥덩굴(*Caulerpa okamurae*)은 녹조식물 청각목(Order Codiales), 옥덩굴과(Family Caulerpaceae), 옥덩굴속(Genus *Caulerpa*)에 속하는 해조류로 몸 조직은 낭상체로 되어있고, 색은 청록색이나 노성(老成)한 엽체는 황갈색을 띠며, 난해산으로 열대 및 아열대에 많이 분포한다(강, 1968; 当真, 1980; Garcia *et al.*, 1996). 옥덩굴류는 세계적으로 100여 종(Calvert, 1976) 이상 알려져 있으나, 우리나라에서는 1종(*Caulerpa okamurae* Weber van Bosse)만이 알려져 있다(강, 1968).

최근 호주를 비롯한 유럽국가에서도 여러 연구자들에 의해서 생리(Delgado *et al.*, 1996; Gayol *et al.*, 1995; Lehman and Manhart, 1997; Pillmann *et al.*, 1997; Sanchiz *et al.*, 1999), 생태(Calvert, 1976; Carruthers *et al.*, 1993), 분류(Olsen *et al.*, 1998) 등 다양한 연구가 이루어지고 있고, 독일과 프랑스에서는 1950년대부터 *Caulerpa taxifolia*를 수족관의 장식용으로 이용하였다(内村, 1999).

일본과 필리핀에서는 *Caulerpa lentillifera*를 양식하고 있으며(Ohno and Critchley, 1993), 일본의 경우, 1980년대 초에 옥덩굴 단편을 밧줄에 부착시켜 수하한 것이 성공된 이후 양식이 시작되었으며(当真, 1984), 1986년부터는 오키나와 열대해역에서 상업적으로 발달하였다. 현재 이용되는 양식 방법에는 못이나 석호 등에서의 바닥양식, 원통형 틀에 넣어 매어다는 수하식 양식이 있으며 이들은 “바다의 포도” 또는 “Green caviar”라고 하여 해조 샐러드로 수요가 증가하고 있다(徳田 等, 1987).

우리나라에서는 옥덩굴에 관해서 양식은 물론 그에 대한 분류, 생태,

생리와 관련한 기초적 연구조차도 미흡한 실정으로, 근래에 옥덩굴의 뛰어난 영양번식성을 이용하여 엽체의 단편을 이용한 재생실험 및 이를 양식에 이용하고자 한 최 등(2000)의 연구가 유일하다.

한편, 우리나라에서 양식되는 해조류는 주로 김, 미역, 다시마, 톳으로 한정되어 있으며, 생산량의 대부분을 김과 미역 두 종이 차지하고 있다. 우리나라에는 약 600여 종의 해조가 분포하는 것으로 기록(이와 강, 1986)되어 있으나 이처럼 실제 양식 대상으로 개발된 것은 수 종에 불과하다. 그러므로 양식의 다변화를 꾀하기 위해서는 미이용 해조를 개발 할 필요가 있다. 또한 김, 미역, 다시마등 우리나라에 자생하는 해조류는 주로 가을부터 겨울에 번무하는 것이 대부분으로 해조류 양식이 이루어지지 않는 여름철 고수온 시기에 양식 대상종을 개발함으로써 양식의 효율성을 극대화시킬 필요성도 있다. 앞서도 언급했듯이 옥덩굴은 형태와 색깔이 아름다워 수족관의 장식용으로 이용할 수 있으며, 조직이 부드럽고 다육질(Enomoto and Ohba, 1987; Ohba and Enomoto, 1987)이어서 신선한 야채 또는 샐러드 형태의 식품으로 이용될 수 있고 특히, 홍조류나 갈조류에 들어있는 것으로 알려진 인체에 유용한 타우린을 포함하고 있어(当真, 1992) 식품 가치가 높아서, 국민 식생활 수준의 향상에 따른 건강 및 기호 식품의 요구에 상응하는 식량자원으로의 개발 가능성이 충분하다. 따라서 아직까지 미이용 해조류인 옥덩굴의 양식 기법을 확립함으로써, 현재 일본에서 그 수요가 증가되고 있고, 일본과 필리핀에서 양식되고 있는 *Caulerpa lentillifera* (Ohno and Critchley, 1993)를 우리나라에 도입할 수 있는 양식개발의 기초를 확립할 필요가 있다.

이 연구는 이 종의 대량 포자방출 유도가 까다롭고 접합자의 형성

을 통한 종묘생산이 어려운점을 고려하여 무성적인 영양생식을 통한 양식개발을 시도하였고, 유성생식을 통한 생활사의 한 부분을 양식에 적용하는 방안과 실내실험을 통한 재생과 성숙의 유도 등 인위적 처리에 의한 양식기법 개발을 위한 것으로써 이를 위해 자연에서의 옥덩굴의 성장과 성숙 주기를 구명하였고, 실내배양에서 온도와 광량에 따른 엽체의 재생력과 성숙을 유발하는 조건을 구명하였다.

II. 재료 및 방법

1. 야외조사

1-1. 조사지 개황

조사지역은 부산광역시 남구 용호동 백운포 연안에 위치하고 있으며 북쪽으로는 수영만 하구가 있고, 서쪽으로 부산만과 영도가 있으나, 동남쪽으로는 외해에 노출되어 있어 외해로부터 파도의 영향을 직접적으로 받는다. 조간대 지역은 암반이 경사도 $70\sim 80^\circ$ 의 급경사를 이루고 있어, 조간대 최상부로부터 바다쪽으로 수직거리가 2~3m로 해조의 착생면적이 매우 제한적이다.

조사지점은 해안선에서 남쪽으로 30m 부근의 수면에서 수심 3~5m에 이르는 조하대 암반지역으로 비교적 평탄한 해저지형을 이루며 저질은 작은 암석, 모래와 자갈로 이루어져 있다. 수중에 부니가 많은 편이고, 조류는 그다지 빠르지 않다(Fig. 1).

1-2. 옥덩굴 개체군의 계절적 변동

옥덩굴 시료는 1999년 11월부터 2001년 8월까지 매월 SCUBA diving에 의해 무작위로 채집하였다. 채집된 개체는 아이스박스를 이용하여 실험실로 즉시 운반한 뒤, 여과해수로 수 회 세척한 후, 25 l의 배양용기에 넣어 통기를 하면서 실온에서 보관하였다.

채집된 개체 중 포복경을 제외한 30개의 직립지(erect branch)를 무작위로 절단, 선발하여 Fig. 2와 같이 직립지의 길이, 폭, 습중량 및 건중량의 월별 변화를 조사하였다. 건중량은 전기건조기로

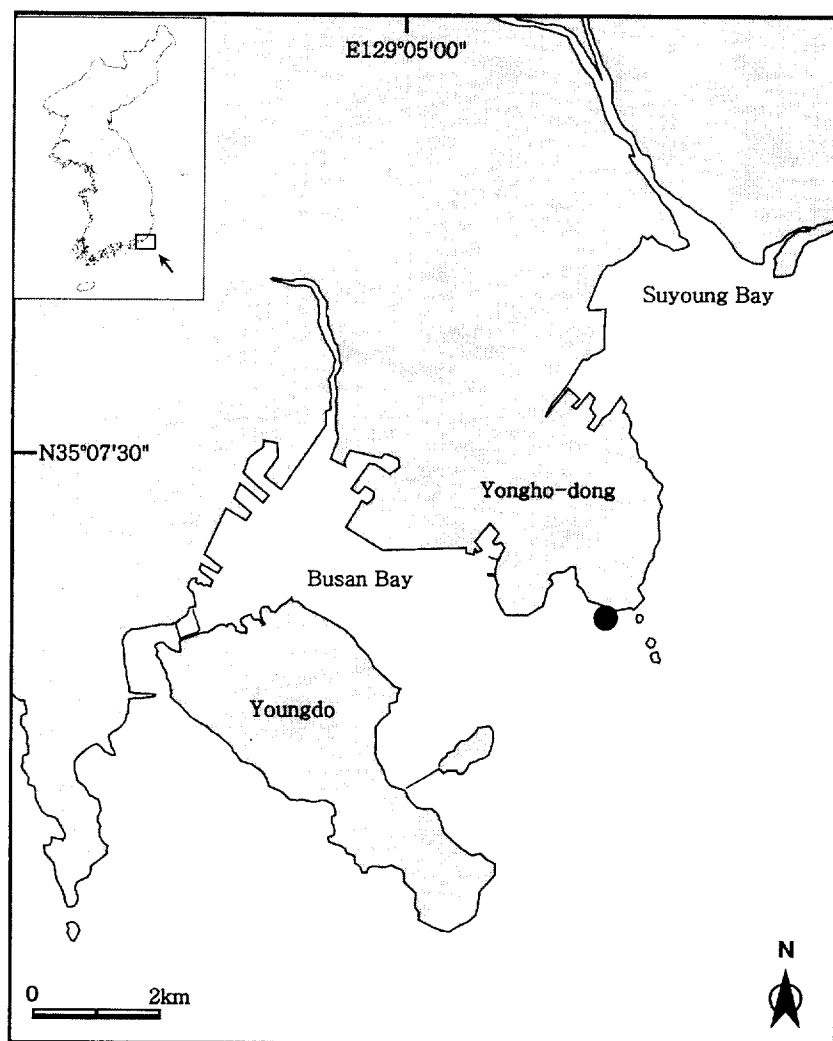


Fig. 1. A map showing the study site.

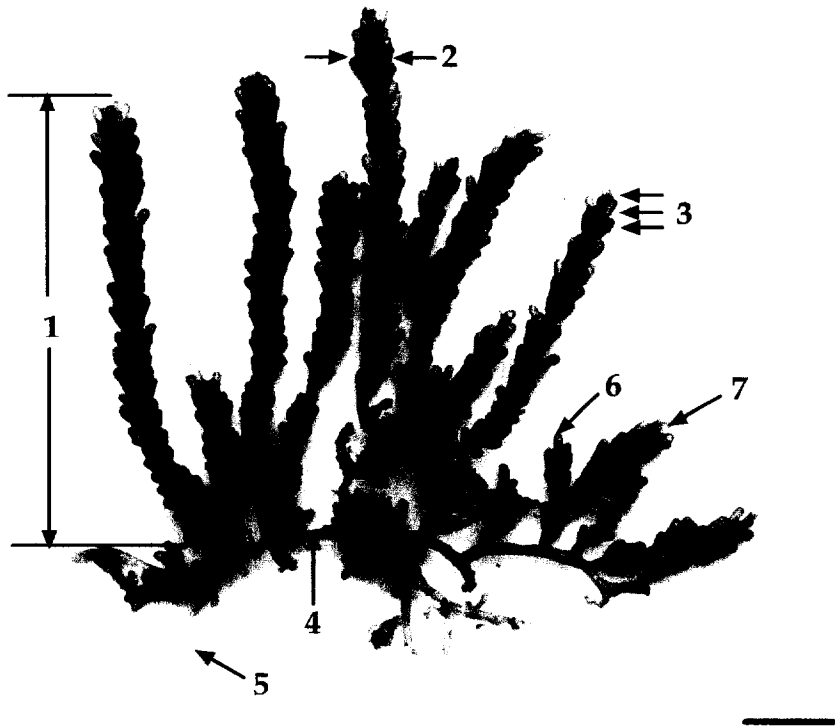


Fig. 2. Aspect of the plant of *Caulerpa okamuræ*. 1: Length of erect branch, 2: Width of erect branch, 3: Ramuli, 4: Stolon, 5: Rhizoid, 6: Primary frond, 7: Secondary frond.

Scale bar is 2cm.

105℃에서 48시간 건조시킨 후 측정하였고(Wetzel and Westlake, 1974), 측정된 모든 값들은 평균값과 표준오차(Parker, 1979) 또는 표준편차를 구하여 표시하였다.

채집된 개체들은 매월 건조 표본과 액침 표본을 만들어 보관하여 생식기 출현시기 등의 현미경 검경 시료로 사용하였다.

또한, 계절별 현존량의 정량분석은 2001년 1월, 4월 및 7월에 25×25cm의 방형구를 사용하여 방형구내의 옥덩굴을 전량 채집하였고, 이를 1m³로 환산하여 건중량과 습중량을 구하였다. 그러나, 10월에는 부근의 토목공사로 군락이 소실되었다.

2. 실내배양

2-1. 직립지(erect branch)의 생장

직립지를 이용한 생장실험은 5개 온도구 18, 22, 25, 28, 31℃와 5개 광량구 10, 20, 40, 60, 100 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 조합인 총 25개의 각 배양조건별로 실시하였다. 채집한 개체에서 직립지 10개체씩을 멸균해수로 수 회 세척한 후, 연속조명하 배양하면서 5일 간격으로 직립지의 길이와 중량 변화를 측정하였다. 배지는 PES배지를 사용하였으며, 5일 간격으로 전량 교환하였다.

2-2. 말단가지(ramuli)의 재생

옥덩굴 말단가지의 재생률을 정량화하기 위하여 무작위로 절단한 말단가지를 5cm 직경의 멸균된 petri dish에 각각 30개씩 넣고, 20℃ 장일(16:8h L:D)조건하에서 20, 50 및 70 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 광량으로 각기 3반복 실험구를 두어 정치 배양하였다.

재생의 측정은 5일 간격으로 부정지의 재생가지수 및 길이 생장을 측정하였다. 배지는 PES배지를 사용하였으며, 2일 간격으로 전량 교환하였다.

2-3. 성숙유도

실험에 사용한 엽체는 실험실로 옮겨 부착물을 깨끗이 제거하고, 여과해수로 2회 세척한 후 포복지를 절단한 직립지만을 멸균 해수에 넣어 15℃ 온도의 암조건에서 24시간 적응시킨 후 배양에 사용하였다.

무작위로 선발한 직립가지 10개씩을 멸균된 1ℓ 삼각 플라스크에 넣어 인큐베이터(twin-room incubator, VS-1203P4N)의 장일(16:8h L:D)조건하, 4개의 온도구 15, 20, 25, 30℃와 3개의 광량구 20, 50, 80 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조합인 총 12개의 각 배양조건에서 통기 배양하였다. 모든 실험은 3반복으로 하였으며, 배양액은 PES배양액에 ABM(antibiotic mixture) 용액(Guillard, 1968)과 GeO_2 를 첨가한 배지를 사용하였고 5일 간격으로 전량 교환하였다.

엽체의 생장 측정은 각 직립가지의 습중량으로 측정하였고, 성숙률은 각 실험구내 10개의 직립지 가운데 배우자낭그물(gametangial network)을 형성한 직립지의 비율로써 나타내었다.

III. 결 과

1. 야외조사

1-1. 수온과 성숙

조사지점의 연중 수온변화와 성숙시기는 Fig. 3과 같다. 조사기간 중 2000년도의 현장 수온은 9월에 최고 22.9°C , 2월에 최저 12.3°C 였고, 2001년에는 8월에 최고 27.8°C , 2월에 최저 12.1°C 였다. 따라서 수온의 연간변화는 2월 이후부터 8월까지의 수온이 지속적으로 높아지다가 9월부터는 낮아지는 경향을 보였다.

2001년도의 수온은 2000년도에 비해 5월부터 10월까지 $1.8\sim 8.4^{\circ}\text{C}$ 정도 높게 나타났다. 자연 개체군에서 옥덩굴의 성숙은 2000년에는 8월(19.4°C), 2001년에는 6월(19.7°C)에 관찰되었으며, 성숙은 2~3주 사이에 짧게 나타났다.

1-2. 옥덩굴 개체군의 계절적 변동

옥덩굴 개체군에서 직립가지의 길이생장은 Fig. 4와 같이 1차년도 조사시 11월에 최대치 $11.3\pm 0.6\text{cm}$, 4월에 최저치 $3.1\pm 0.4\text{cm}$ 로 나타났으며, 2차 년도에는 6월에 최대치 $14.0\pm 1.4\text{cm}$, 4월에 최저치 $2.8\pm 0.2\text{cm}$ 로 나타났다. 직립가지의 폭은 1, 2차 년도 조사 모두 6월에 최대치 $0.99\pm 0.06\text{cm}$ 와 $1.08\pm 0.04\text{cm}$ 로 나타났으며, 8월에 최저

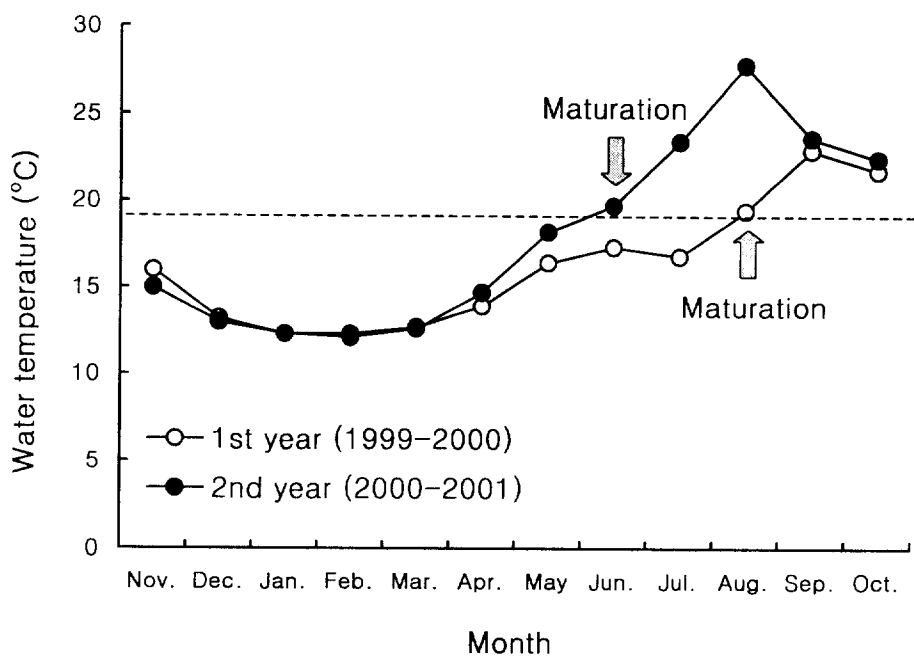


Fig. 3. Fluctuations of water temperature and field observation of maturation of *Caulerpa okamurae* at Baekunpo from November 1999 to October 2001.

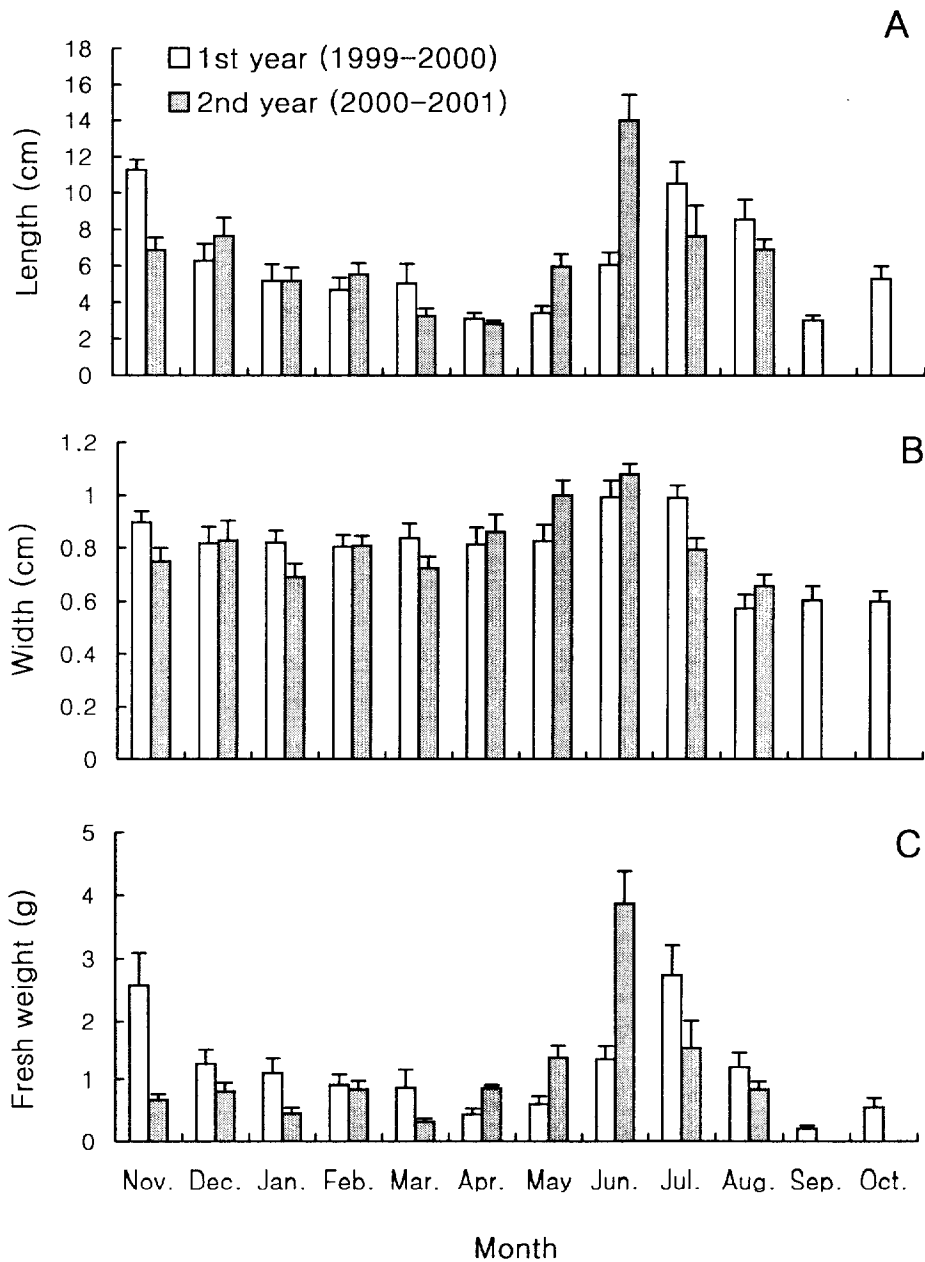


Fig. 4. Growth of *Caulerpa okamurae* of the natural population at Baekunpo. A: Length of erect branch, B: Width of erect branch, C: Fresh weight of erect branch. Vertical bars indicate SE.

치 $0.57 \pm 0.05\text{cm}$ 와 $0.66 \pm 0.04\text{cm}$ 로 나타났다. 습중량의 경우에는 1차 년도 조사시 7월에 최대치 $2.74 \pm 0.48\text{g}$, 9월에 최저치 $0.21 \pm 0.05\text{g}$ 로 나타났으며, 2차 년도에는 6월에 최대치 $3.86 \pm 0.52\text{g}$, 3월에 최저치 $0.33 \pm 0.05\text{g}$ 로 나타났다. 전체적으로 길이와 무게에서 계절변화의 차이가 컸고, 폭의 변화는 적었다.

단위면적당 현존량의 계절별 변화는 Fig. 5와 같다. 습중량은 봄철에 $1,390.1\text{g}/\text{m}^2$ 로 가장 낮았으나 여름철에 $18,299.2\text{g}/\text{m}^2$ 로 최대치를 보였고, 건중량 역시 봄철에 $125.6\text{g}/\text{m}^2$ 로 가장 낮았으나 여름철에 $922.5\text{g}/\text{m}^2$ 로 최대치를 보였다. 가을철에는 조사지역의 옥덩굴 군락이 주변 해안공사로 인한 오염때문에 모두 소실되었다.

자연조건 하에서 생식기관 형성은 2000년 8월과 2001년 6월에 극히 일부분의 조체에서 성숙에 따른 배우자낭그물(gametangial network)의 형성 및 배우자 방출관 형성이 관찰되었다.

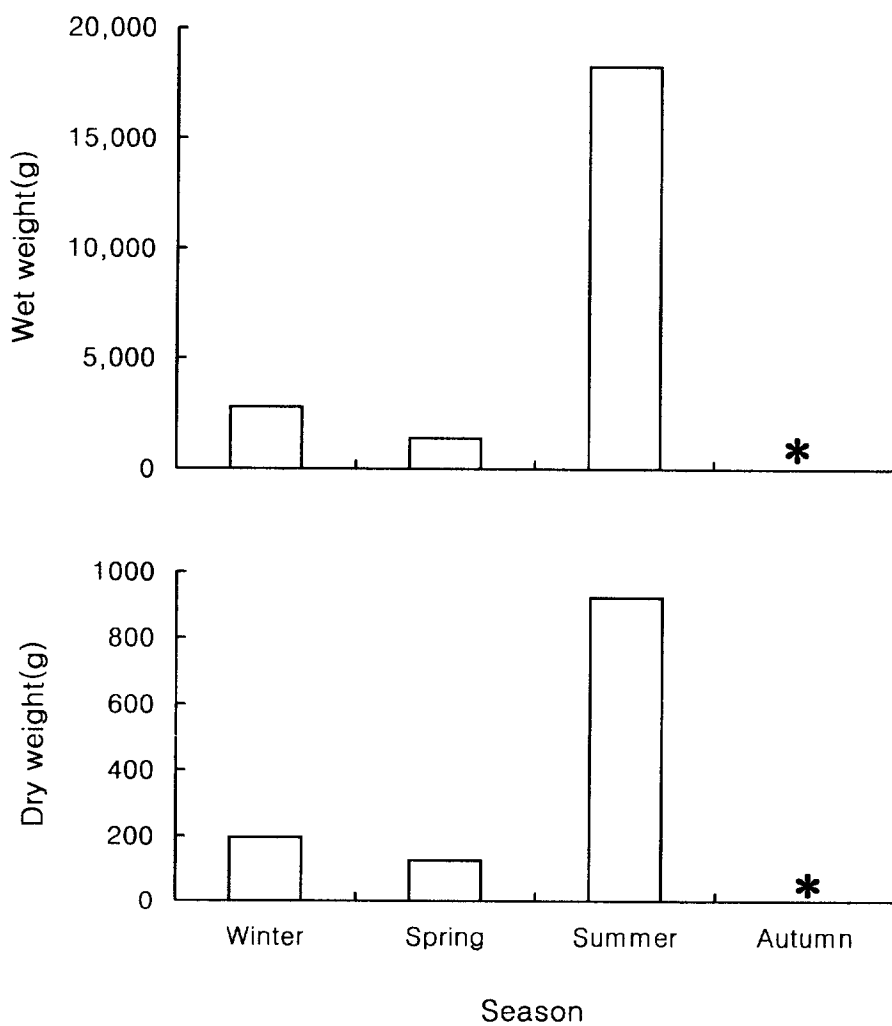


Fig. 5. Seasonal variation of biomass per m² of *Caulerpa okamurae* at Baekunpo from January to July 2001. * represents destroyed population in the study site at September 2001.

2. 실내배양

2-1. 직립지(erect branch)의 생장

서로 다른 온도와 광량을 조합한 조건에서 옥덩굴의 직립지를 배양한 결과, 18, 22, 25, 28, 31℃구에서 배양한 개체는 각각 $20\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 양호한 길이생장을 보였다. 특히, 25℃의 $20\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서는 초기 배양시 3.2cm 길이였던 개체가 배양 15일 후 평균길이 $4.5\pm 1.0\text{cm}$ 로 최적의 생장을 보였다(Fig. 6, 7). 한편, 31℃의 10, 40, $60\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 광량의 경우와 25℃ 배양구를 제외한 $100\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 전 배양구에서는 배양 10일 후부터 엽체가 녹기 시작하여 배양 15일 이후에는 대부분 형체만 남고 세포내용물은 죽어서 재생력을 상실한 상태로 되었다.

생중량에서도 최적 조건은 25℃, $20\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 배양시 평균 0.8g의 개체가 배양 15일 후 1.2g으로 세 배 이상의 증가를 보였다. 따라서 옥덩굴 생장에서 실내배양시 수온과 광량의 최적범위를 예측할 수 있었다.

2-2. 말단가지(ramuli)의 재생

옥덩굴 말단가지의 재생은 광량에 따른 차이를 나타내었다(Fig. 8A). 절단된 말단가지는 배양 1일 후 절단부위에서 막의 완전한 재생이 이루어지며, 배양 7일 후 재생가지의 발달이 이루어지기 시작하여 점차 비후되었으며(Fig. 8B), 배양 11일 후 재생지는 2차

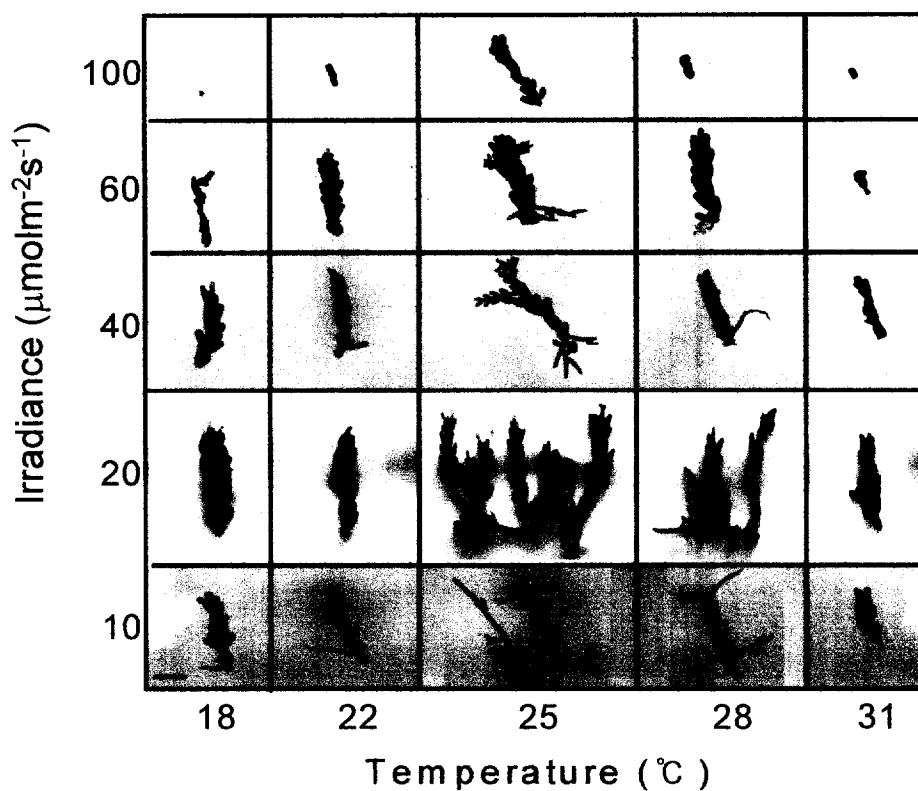


Fig. 6. Regeneration of excised erect thalli *Caulerpa okamurae* under a combination of 5 temperatures and 5 irradiances conditions after 15 days culture. Scale bar is 1cm.

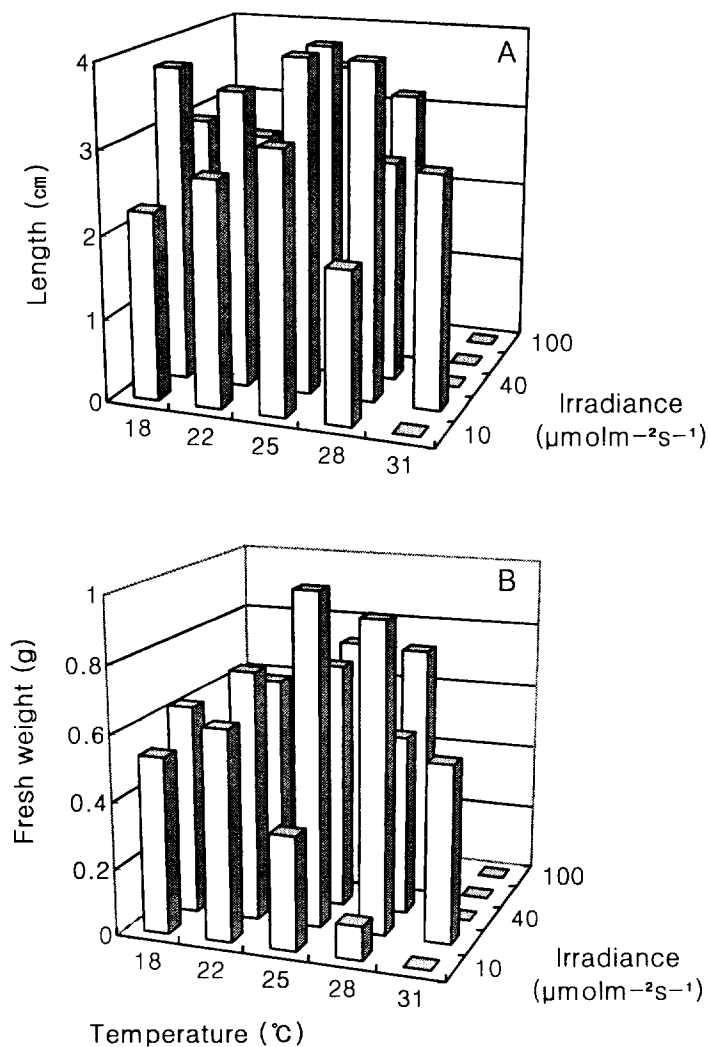


Fig. 7. Effects of irradiance and temperature on regeneration of *Caulerpa okamurae*. Excised erect branches were cultured at a combination of 5 temperatures and 5 irradiances. A: Length growth of excised erect branches, B: Fresh weight after 15 days culture.

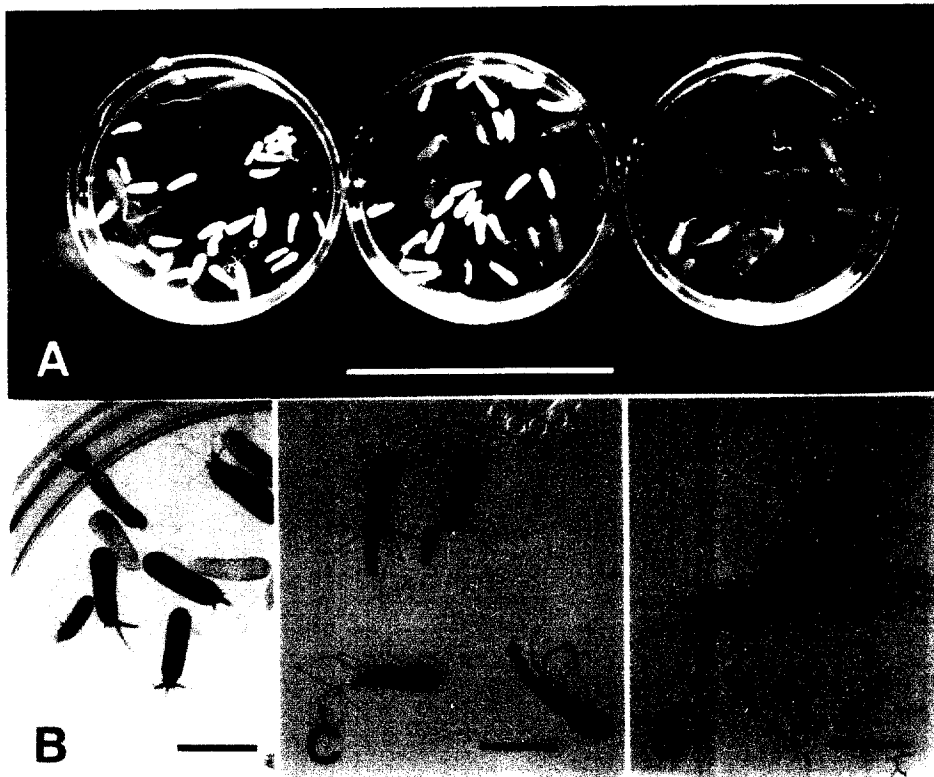


Fig. 8. Regeneration of adventitious roots of excised ramuli in *caulerpa okamurae*. **A:** Culture dishes under 20, 50 and 70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of irradiances from the left by order, **B:** Excised ramuli regenerate adventitious roots from 7 days culture, **C:** Primary adventitious roots developed as stolon, **D:** New erect branch and ramuli formation from the stolon. Culture conditions were 20°C, 16:8h (L:D), from 28 days culture. Scale bars are 5cm (A) and 5mm (B-D).

분지를 보였으며(Fig. 8C), 배양 28일 후 재생지로부터 새로운 말단가지가 형성되어(Fig. 8D) 길이생장을 계속하였다.

말단가지의 재생률 역시 Fig. 9와 같이 광조건에 따라 차이를 나타내어 $50 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서는 약 5.6%의 재생률을 나타내었으나, 20과 $70 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서는 각각 3.0%와 2.6%의 재생률을 나타내었다. 새로운 재생지의 형성은 Fig. 8, 9와 같이 배양 5일 후부터 나타나기 시작하여 배양 5~10일 사이에 재생가지수가 급격히 증가한 후 20~25일 사이에 모두 형성되었으며, 그 이후는 가지수가 증가하지 않았다. 말단가지로부터 재생된 새로운 재생지의 길이생장은 Fig. 10과 같이 광량에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.5$, ANOVA). 이는 옥덩굴의 말단가지 재생률에 있어서는 광량에 따른 확연한 차이가 나타나지만 일단 재생된 재생지의 길이생장은 광조건에 따른 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

2-3. 성숙유도

미성숙 직립가지로부터 배우자낭 형성과정의 현미경적 사진은 Fig. 11과 같다. 배양시작 단계에서부터(Fig. 11A) 배양 12일 후에는 말단가지에 색소체가 농밀하게되어 암녹색을 띄게되고(Fig. 11B), 배양 13일째에는 엽체표면에 뚜렷한 배우자낭그물이 형성되었고(Fig. 11C), 14일째에는 엽체표면으로부터 배우자방출을 위한 방출관(liberation tube)을 형성한다(Fig. 11D). 배우자를 방출한 후의 말단가지는 원형질을 소실하여 색소체를 잃고 투명해지며, 쭈글쭈글하게 위축되어진다(Fig. 11E). 배우자는 암·수

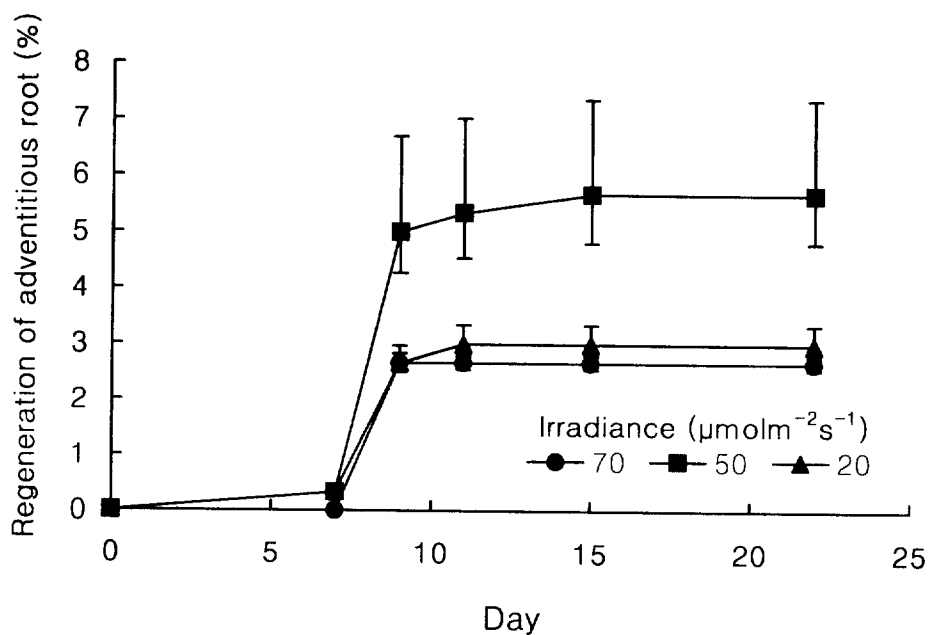


Fig. 9. Regeneration of adventitious root from an excised ramuli of *Caulerpa okamurae* under different irradiances, 20 °C and 16:8h (L:D) regime. Vertical bars indicate 95% confidence limit of triplicates (n = 90).

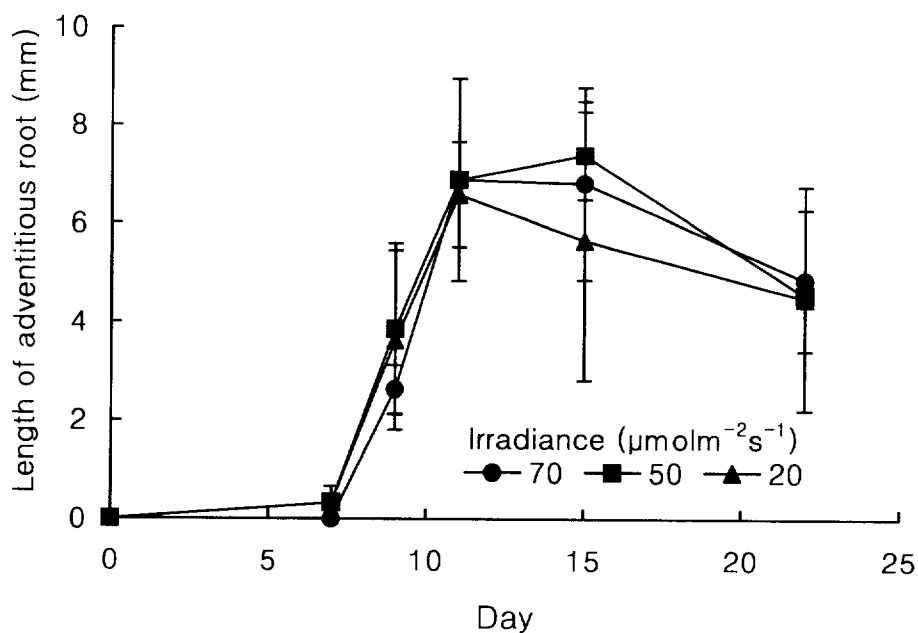


Fig. 10. Irradiance effects on growth of adventitious root from an excised ramuli of *Caulerpa okamurae* under 20°C, 16:8h (L:D) regime. Vertical bars indicate SE.

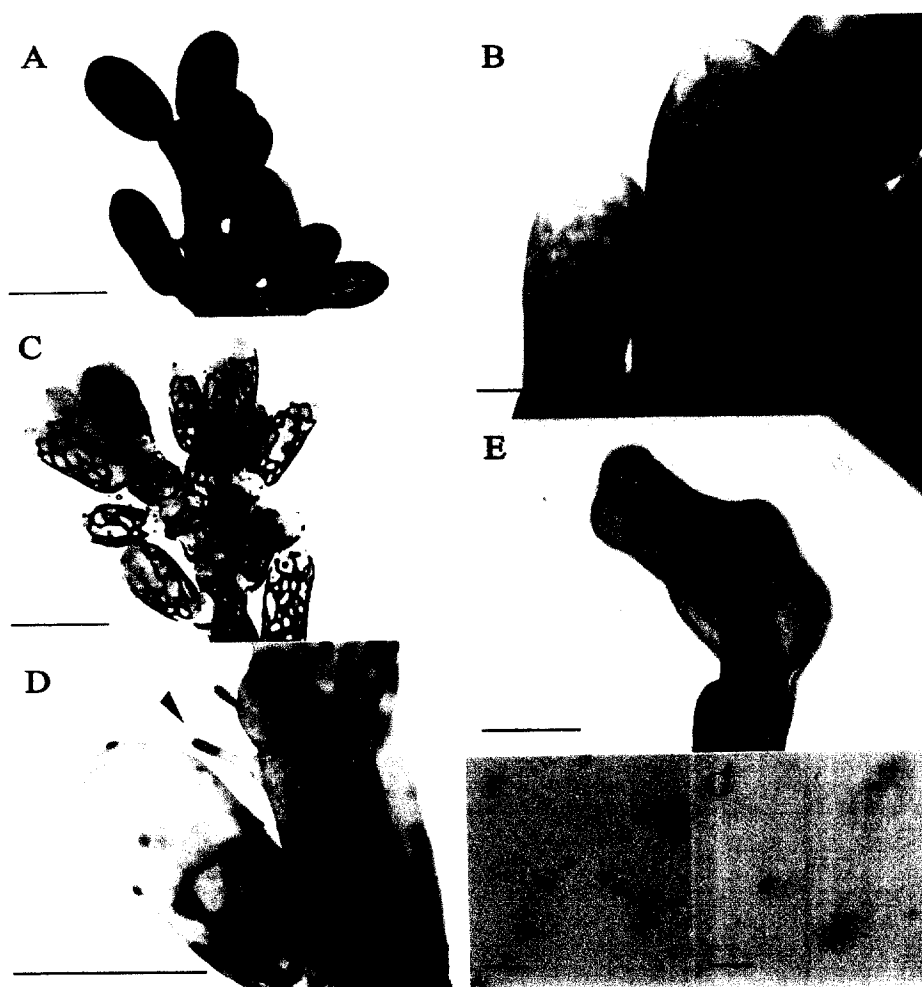


Fig. 11. Maturation process of *Caulerpa okamurae* during 22 days culture under 25°C, $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and 16:8h (L:D). A: Vegetative plant, B: Condensed dark green pigments formation on ramuli after 12 days culture, C: Gametangial network in fertile assimilator after 13 days culture, D: Liberation tube (arrow) formation from the surface of ramuli for gamete release after 14 days culture, E: Erect branch bleached after gamete release, F: Biflagellate male and female gametes, G: Quadriflagellate zygote after conjugation. Scale bars are 5mm (A-E) and $10 \mu\text{m}$ (F, G).

모두 2편모 배우자로 활발하게 운동한 후(Fig. 11F), 1시간 내에 접합하여 4편모 접합자로 된다(Fig. 11G). 방출된 암배우자($5.2 \sim 6.4 \times 2.4 \sim 3.2 \mu\text{m}$)는 수배우자($4.8 \sim 6.0 \times 2.0 \sim 2.8 \mu\text{m}$)에 비해 크기가 컸다.

옥덩굴 직립지의 배양조건에 따른 습중량은 Fig. 12와 같이 15℃와 20℃에서는 20, 50, $80 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 3개 조도조건 모두에서 배양 22일 후 증가하였으나, 25℃와 30℃ 조건에서는 감소하였다. 이는 엽체의 직립가지가 Fig. 11과 같이 배우자낭그물을 형성하고 여기에 배우자를 형성하므로써 엽체의 생장보다는 생식에 에너지를 사용한 때문으로 보인다. 또한, 옥덩굴의 특징중 하나인 엽체의 성숙시 세포 내용물이 일시에 배우자로 변하고, 방출관으로 암·수 배우자가 모두 방출되는 전실성(全實性) 때문으로 보인다.

배양 조건별로는 Table 1과 같이 25℃와 30℃ 온도조건에서 배우자 형성을 위한 배우자낭그물이 형성되었다. 배양 10일 후 첫 배우자낭그물이 나타났는데, 배우자낭그물형성 약 12~24시간 전에 진녹색의 응집현상이 나타났다. 방출관은 배우자낭그물형성 1~4일 후 25℃ 조건에서는 한 개의 말단가지에서 최대 6개까지 관찰되었으나, 30℃에서는 관찰되지 않았다. 성숙된 개체는 배우자 방출 후 급속히 고사하였다.

배양 구간별로는 Fig. 13과 같이 30℃의 $20 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 47%로 가장 높은 성숙률을 보였으며, $50 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 광량 조건에서는 배우자 형성을 위한 배우자낭그물이 형성되지 않았다. 25℃구간 내에서는 모든 광량구에서 배우자낭그물이 형성되었으며, $80 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 33%의 높은 성숙률을 나타내었다. 이들

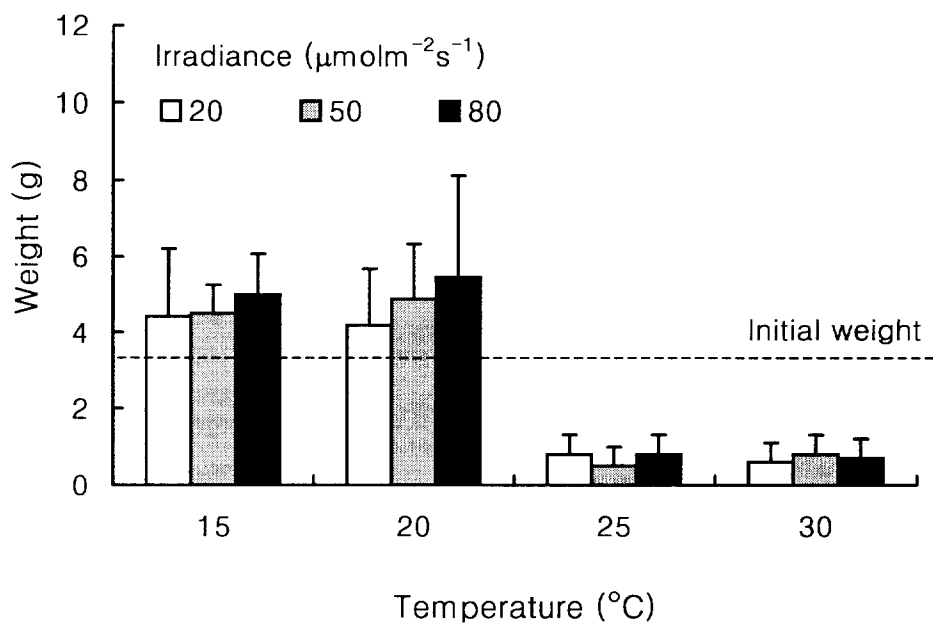


Fig. 12. Effect of irradiance and temperature on growth of *Caulerpa okamurae*. Excised erect branches were cultured during 22 days at a combination of 4 temperatures and 3 irradiances. Vertical bars indicate SD.

Table 1. Maturation process of *Caulerpa okamurae* during 22 days culture at a combination of 4 temperatures and 3 irradiances conditions. I: Condensed dark green pigments formation on ramuli, II: Gametangial network formation, III: Liberation tube formation from the surface of ramuli for gamete release

Temperature (°C)	Irradiance ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Days											
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
15	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	20	-	-	-	-	-	I II	-	III	-	-	-	Dead
	50	-	-	-	-	-	-	I II	III	-	-	-	Dead
	80	-	-	-	-	-	-	-	-	I II	III	-	Dead
30	20	-	-	-	-	-	-	I II	-	-	-	-	Dead
	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

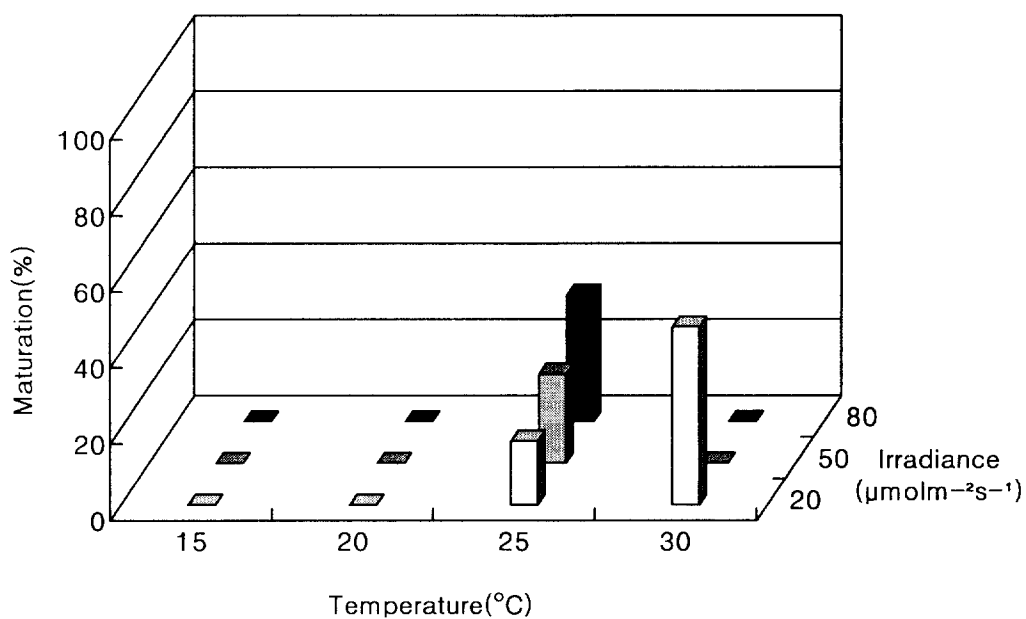


Fig. 13. Maturation of *Caulerpa okamurae* at a combination of 4 temperature and 3 irradiance conditions after 30 days culture. Values are based on 30 erect branches in each treatments.

직립지의 성숙률은 각 배양 구간별로 유의한 차이를 나타내었다 (one-way ANOVA, $F_{11,24}=3.761$; $p=0.003$). 실내배양에서도 성숙에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 수온으로, 25℃ 전후가 가장 적합한 것으로 나타났다.

IV. 고 찰

자연개체군에서 옥덩굴의 습중량은 새로운 포복지와 잎이 출현하는 7월경에 가장 높다가 엽체의 성숙이 일어나는 8월부터 감소한다고 한 Meinesz *et al.* (1995)의 결과와 유사한 경향을 보였다 (Figs. 4, 5). 또한 조체가 성숙하여 포자를 방출하면 엽상부가 소실된다고 하였는데(徳田 等, 1987), 이 조사에서 9월에 옥덩굴 직립지의 습중량이 낮은 이유는 엽체의 성숙으로 인한 생식세포의 방출 후 엽상부의 고사 및 탈락에 의한 것으로 보인다. 또한 Meinesz *et al.* (1995)는 옥덩굴의 고사 및 탈락은 특히 고조도와 파도의 영향을 강하게 받는 노출된 지점에서 관찰되었다고 하였다. 따라서 엽체의 성숙에 의한 고사 및 탈락 이외에도 서식지의 물리적 교환에 의한 탈락도 옥덩굴의 현존량에 영향을 줄 수 있다.

이 조사지점의 저질의 구성은 주로 암반으로 구성되어 있고, 소량의 모래와 펄질을 함유하고 있어 물리적 교란의 정도에 따라 해수의 탁도 및 그에 따라 수중 내로 투과되는 빛의 양은 크게 변동한다고 할 수 있다. 따라서 조사지점의 해수 중에 투과되는 빛의 변동량을 측정하여 조사해 보아야 할 필요성이 있다.

자연상태에서 옥덩굴 군집의 분포 면적 증가는 유성생식과 무성생식(줄기의 신장 → 분절 → 엽체 단편의 부유 → 가근의 발달 → 착저에 이르는 기구)의 두 가지 방법이 있지만, 후자에 의해 번무하는 쪽이 클 것이라고 하여 무성생식에 의한 증대가 보다 일반

적일 것이라고 하였다(尙眞, 1980).

많은 해조류에서 보이는 뚜렷한 계절적 생장 주기를 이끄는 환경요인이 무엇인가에 대하여 많은 논란이 있으나, 옥덩굴의 생장 및 성숙을 지배하는 가장 중요한 환경요인은 수온의 영향이 크다고 하였다(Komatsu *et al.*, 1994; Meinesz *et al.*, 1995; 堀, 1994). 이 연구에서도 생장 및 생식이 수온과 가장 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났으며, 자연에서 옥덩굴의 성숙에 필요한 수온 조건은 19~20℃ 정도가 되어야 하는 것으로 나타났다.

옥덩굴의 생장 적온에 관하여 堀(1994)는 엽체가 25℃에서 말단가지가 형성되어 전형적인 원래의 엽체로 자라지만, 20℃에서는 포복지와 가근은 생장하나 직립지와 말단가지는 형성되지 않고, 15℃에서는 포복지, 가근도 생장하지 않는다고 하였다. 이 연구의 결과(Figs. 6, 7)에서도 수온이 25~28℃와 광량이 10~40 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 사이에서 엽체의 재생이 매우 잘 일어났으며, 최적조건은 25℃, 20 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이었다.

광량 및 온도조건에 대한 옥덩굴의 배양과 관련하여, Garcia *et al.* (1996)는 *Caulerpa taxifolia*를 이용한 광합성 실험을 통하여, 최적광합성을 보이는 온도 범위는 20~30℃였고, 이보다 낮은 15℃에서의 광합성률은 20℃와 30℃ 사이보다 항상 낮게 나온다고 하였다. 또한, 尙眞(1983)에 의하면 *Caulerpa lentillifera*는 24.8~25.2℃의 온도구간에서 일간생장률이 2.1%로 17.5℃와 19.5℃ 구간의 일간생장률 0.6, 0.5%와 비교하여 약 3~4배 높은 생장률을 나타내어 고수온 조건에서 *C. lentillifera*의 생육이 활발하게 이루어짐을 나타내었다. 이 실험의 결과 *Caulerpa okamurae*도 25℃의 온도구에서

일간생장률이 8.7%로 18℃ 온도구의 일간생장률 4.3%와 비교하여 약 2배 높은 생장률을 나타내어 当真(1983)의 결과와 유사한 경향을 보였다. 또한, *C. okamurae*는 25℃ 및 $20 \mu \text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 조건에서 최적 생장을 나타내었으며, 이보다 낮은 광량 조건인 $10 \mu \text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서도 온도조건이 충족되면 저조도 조건에서도 양호한 생장을 보였다.

이상의 결과와 같이 한국산 옥덩굴의 경우 아직까지 유성생식의 조건이 명확하지 않은 상태이므로 양식을 위한 일차적 시도는 직립가지의 영양생장을 이용하는 것이 보다 유리할 것으로 보인다.

한편, Enomoto and Ohba (1987)는 일본 남부 지역에서 *Caulerpa brachypus* 와 *Caulerpa okamurae*가 여름철(6, 7월)에 배우자를 형성하여 수정한다고 하였고, *Caulerpa racemosa* var. *laetevirens*도 여름철(6, 7월)에 배우자 형성을 통하여 수정이 이루어진다고 하였다. Enomoto and Ohba (1987)는 야외에서 채집된 미성숙 옥덩굴엽체가 실내에서 25℃, 1~3 Klux 및 14:10h (L:D) 조건으로 배양했을 때 약 한달 후에 성숙이 일어났다고 하였다. 이 연구에서는 25℃, $20 \mu \text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서 배양 10일 후 가장 먼저 성숙하였고, $80 \mu \text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서는 배양 16일 후에 성숙이 유도되었다. 따라서 옥덩굴의 성숙유도에 있어서 광량의 조절로 성숙시기를 어느 정도 조절할 수 있을 것으로 생각된다. 한편, 옥덩굴의 성숙에 관여하는 요인으로 는 수온과 조도가 가장 큰 영향을 미친다고 보여지나, 연중 특정시기(6월~8월)에서만 배우자가 형성되고, 인위적인 실내배양 조건에서는 다른 시기에 성숙 유도가 되지 않는 점을 미루어 볼 때, 아무리 수온

과 조도 조건이 맞아도 엽체가 잠재적인 성숙 가능성이 없으면 성숙 유도가 이루어지지 않는 것으로 보인다. 옥덩굴 성숙의 과정은 원형질에 진녹색의 입자들이 그물모양으로 엉기기 시작하여 불규칙한 배우자낭그물이 형성된 후 배우자 방출관이 형성되어, 이곳으로 배우자들이 방출되었다. Enomoto and Ohba (1987)는 배우자 방출이 암기 동안에는 나타나지 않고 이른아침 빛이 비추기 시작한 약 1~2시간 후에 일어난다고 하였다. 또한, 암기의 연장으로 배우자 방출을 두 세 시간 연기하는 것이 가능하다고 하였는데, 이러한 결과들은 빛이 배우자 방출의 방아쇠(trigger) 역할을 하는 것으로 보인다. 한편, 성숙은 말단가지, 직립지 및 포복지의 원형질이 모두 배우자낭그물을 형성하고 직립지 상부로 방출관이 형성되며 각 말단가지의 배우자낭그물 상부는 황녹색으로, 하부는 진녹색으로 변색하고 직립지, 포복지가 진녹색을 띤다고 한堀(1994)의 결과와 유사한 경향을 보였다. 또한堀(1994)은 말단가지 배우자낭그물 상부의 황녹색 부위에서 암배우자가 형성되고 말단가지 하부, 직립지, 포복지의 진녹색 부위의 배우자낭그물에서 수배우자가 형성된다고 하였으나, 이 실험에서는 정확한 암수배우자의 형성부위를 확인할 수 없었기에 보다 구체적인 실험을 통하여 구명해야 할 과제로 남아있다.

해조류도 육상식물과 같이 모체로부터 분리된 세포 또는 조직의 일부가 완전한 개체를 형성할 수 있는 세포의 잠재능 즉, 형태형성전능(totipotency)을 갖고 있음이 이미 확인되고 있다. 즉, Saga and Sakai (1977)는 *Laminaria* 포자체의 일부 표피세포를 2,000 lux, 10℃, 10L:14D 조건 하에서 배양하였을 때 완전한 엽체로 재생장하는 능력을 갖는다고 하였고, Correa *et al.*, (1986)은 *Scytosiphon*의 직립체 형

성이 온도와 광주기 조건에 따라 달라진다고 하였다. 또, Ohba and Enomoto (1987)는 *Caulerpa*를 20.0℃, 22.5℃와 5.0 Klux, 8.0 Klux 조건 하에서 배양하였을 때에는 정상적인 형태형성이 이루어진 반면, 20.0℃, 30.0℃와 0.5 Klux, 1.5 Klux 조건하에서는 비정상적인 형태형성이 이루어져, 이들의 형태형성이 온도, 조도 및 광주기 등의 물리적인 자극에 의해 영향을 받는다는 것을 보여주었다.

자연에서 옥덩굴의 수직분포는 부착 기질의 종류와 서식처 환경에 따라 다르나, 지중해의 경우 수심 0~50m에 폭넓게 분포 (Belsher and Meinesz, 1995)하는 것으로 알려져 있다. 이 실험에서 나타난 저조도 하에서 옥덩굴의 재생능력은 조간대 하부에 매트상으로 분포하는 옥덩굴의 생태적인 적응 전략을 반영하는 것으로, 폭넓은 광량에 대한 적응력을 나타내는 것으로 해석할 수 있다. 한편, 옥덩굴 양식에 적용하기 위한 엽체 절단의 크기와 관련하여, 본 종의 말단가지와 직립지의 배양을 통한 재생률을 고려한다면, 절단조직의 크기가 어느 정도 큰 직립지를 사용하는 쪽이 보다 재생에 효율적인 것으로 보인다.

이상과 같이 옥덩굴 개체군의 계절별 생장과 실내배양을 통한 재생 및 성숙유도 조건을 구명하였다. 이를 통하여 옥덩굴의 인공 양식 및 대량배양에 이용 가능한 실제적 자료를 제공하였으며, 우리나라에서 해조류 양식의 취약시기인 여름철에 난해성종인 옥덩굴을 이용함으로써 해조류 양식의 효율화 및 양식종의 다변화에도 기여할 것으로 판단된다.

V. 요 약

옥덩굴의 자연 개체군 동태와 영양번식성 및 성숙조건을 파악 하므로써 이를 옥덩굴의 양식에 적용하기 위하여, 1999년 11월부터 2001년 10월까지 부산 백운포의 조하대에서 개체군 변화를 조사하였고, 이를 실내배양을 통해 성숙 및 재생을 유도하였다.

옥덩굴의 생장은 수온의 변화와 밀접한 관계를 가지고 변화였다. 2001년 6월, 수온이 19.7℃ 일때 엽장은 $14.0 \pm 1.4\text{cm}$ 로 길이생장이 최고였고, 4월에 수온이 14.7℃ 일때 $2.8 \pm 0.2\text{cm}$ 로 최저치를 나타내었다. 또한 생체량은 2001년 6월에 $3.9 \pm 0.5\text{g}$ 으로 최고였고, 2000년 9월, 수온이 22.9℃ 일때 가장 낮은 $0.2 \pm 0.04\text{g}$ 이었다. 이 조사기간동안 옥덩굴의 배우자낭 형성은 2000년 8월 수온이 19.4℃ 일때와 2001년 6월 19.7℃ 일때에 각각 관찰되어 계절상으로는 2개월의 차이가 있었으나, 수온상으로는 19℃ 내외의 시점으로 이들의 성숙은 극히 제한된 수온에서 2~3주 사이에 단기적으로 이루어지는 것으로 나타났다.

옥덩굴 직립지(erect branch)를 절단하여 5개의 온도구 18, 22, 25, 28, 31℃ 및 5개의 광량구 10, 20, 40, 60, $100 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 조합인 총 25개의 각 배양 조건별로 직립지의 재생을 조사한 결과, 배양 15일 후 25℃의 $20 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 실험구에서 엽장 $4.5 \pm 1.0\text{cm}$, 생체량 $1.2 \pm 0.7\text{g}$ 으로 가장 높은 길이생장 및 엽중량의 증가를 나타내었다.

옥덩굴 말단가지(ramuli)의 재생률은 적정 수온 조건 하에서는

광량에 따라 차이를 나타내었으며 $50 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 최대 5.6%였으며, 20 및 $70 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 각각 3.0 및 2.6%를 보였다.

옥덩굴 직립지를 절단하여 4개의 온도구 15, 20, 25, 30°C 및 3개의 광량구 20, 50, $80 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 조합인 총 12개의 각 배양 조건별로 직립지의 배우자낭그물(gametangial network) 형성여부를 조사한 결과, 25°C 의 모든 광량구와 30°C 의 $20 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 배우자낭그물의 형성이 나타났다. 구간별로는 30°C 의 성숙구간에서는 47%로 가장 높은 형성률을 보였고, 25°C 에서는 $80 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 33%를 나타내었다.

따라서 본 실험결과 한국산 옥덩굴의 대량 양식을 위해서는 아직까지 포자의 대량방출 유도과 접합자의 형성을 통한 종묘생산이 어려워 무성적인 영양생식을 통한 양식기법의 적용이 더욱 유리할 것으로 보인다.

VI. 감사의 글

본 논문이 완성되기까지 세심한 배려와 끊임없는 격려로 이끌어 주신 은사 손철현 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 바쁘신 중에도 부족한 논문을 검토해 주시고 따뜻한 사랑을 보여주신 장영진 교수님, 김창훈 교수님, 그리고 대학원 과정 중에 많은 가르침을 주시고 정성어린 격려를 아끼지 않으신 허성범 교수님, 조재운 교수님, 김동수 교수님, 배승철 교수님께 진심으로 감사드립니다. 항상 용기와 격려를 아끼지 않으신 김남길 교수님, 김형근 교수님, 김명숙 박사님, 손민호 박사님께 고마움을 전합니다.

언제나 즐거움과 고생을 함께한 황은경 선배님, 최창근 선배님, 신원준 선배님 그리고 해조류 실험실의 여러 후배들에게 감사드립니다.

늘 지켜봐주시며 든든한 버팀목이 되어주신 이선희 선생님과 또한 나의 믿음직스런 친구들인 유리, 인상, 지윤, 은식, 용수, 상민, 병호, 성률, 세민, 용남에게 고마움을 전합니다. 이외에도 언급드리지 못한 많은 분들에게 감사드립니다.

대학원생활을 함께 하면서 물심양면으로 도와주신 누님과 형님 그리고 매형, 형수, 조카들에게 고마움의 뜻을 전하며 사랑한다는 말을 전합니다.

끝으로 어려운 여건속에서도 변함없는 사랑과 희생으로 뒷바라지하여 주신 이세상에서 누구보다 존경하옵고 자랑스러운 아버지와 어머님 그리고 수영이에게 두손모아 감사드리며, 이 논문을 바칩니다.

VII. 참고문헌

- Belsher, T. and A. Meinesz. 1995. Deep-water dispersal of the tropical alga *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean. *Aquat. Bot.*, 51: 163-169.
- Calvert, H. E. 1976. Culture studies on some Florida species of *Caulerpa*: Morphological responses to reduced illumination. *Br. Phycol. J.*, 11: 203-214.
- Carruthers, T. J. B., D. I. Walker and J. M. Huisman. 1993. Culture studies on two morphological types of *Caulerpa* (Chlorophyta) from Perth, Western Australia, with a description of a new species. *Bot. Mar.*, 36: 589-596.
- Correa, J., I. Novaczek and J. Mclachlan. 1986. Effect of temperature and daylength on morphogenesis of *Scytosiphon lomentaria* (Scytosiphonales, Phaeophyta) from eastern Canada. *Phycologia*, 25: 469-475.
- Delgado, O., C. Rodríguez-Prieto, E. Garcia and E. Ballesteros. 1996. Lack of severe nutrient limitation in *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh, an introduced seaweed spreading over the oligotrophic northwestern Mediterranean. *Bot. Mar.*, 39: 61-67.
- Enomoto, S. and H. Ohba. 1987. Culture studies on *Caulerpa* (Caulerpales, Chlorophyceae) I. Reproduction and development of *C. racemosa* var. *laetevirens*. *Jap. J. Phycol.*, 35: 167-177.
- Garcia, E., C. Rodríguez-Prieto, O. Delgado and E. Ballesteros. 1996. Seasonal light and temperature responses of *Caulerpa taxifolia* from the northwestern Mediterranean. *Aquat. Bot.*, 53: 215-225.

- Gayol, P., C. Falconetti., J. R. M. Chisholm and J. M. Jaubert. 1995. Metabolic responses of low-temperature-acclimated *Caulerpa taxifolia* (Chlorophyta) to rapidly elevated temperature. *Bot. Mar.*, 38: 61-67.
- Guillard, R. R. L. 1968. A simplified antibiotic treatment for obtaining axenic culture of marine phytoplankton. Mimeographed document. Woods Hole Oceano. Inst., Mar. Bio. Lab., 9pp.
- Komatsu, T., H. Molenaar., J. Blachier., D. Buckles., R. Lemée and A. Meinesz. 1994. Premières données sur la croissance saisonnière des stolons de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. In: Boudouresque, C. F., A. Meinesz and V. Gravez. (eds.). First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. GIS Posidonie Publ., France. p.279-283.
- Lehman, R. L. and J. R. Manhart. 1997. A preliminary comparison of restriction fragment patterns in the genus *Caulerpa* (Chlorophyta) and the unique structure of the chloroplast genome of *Caulerpa sertularioides*. *J. Phycol.*, 33: 1055-1062.
- Meinesz, A., L. Benichou., J. Blachier., T. Komatsu., R. Lemee., H. Molenaar and X. Mari. 1995. Variations in the structure, morphology and biomass of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean Sea. *Bot. Mar.*, 38: 499-508.
- Ohba, H. and S. Enomoto. 1987. Culture studies on *Caulerpa* (Caulerpales, Chlorophyceae) II. Morphological variation of *C. racemosa* var. *laetevirens* under various culture conditions. *Jap. J. Phycol.*, 35: 178-188.
- Ohno, M. and A. T. Critchley. 1993. Seaweed cultivation and marine ranching. p. 17-23. In: Trono, G. C. and T. Toma. (eds.). Cultivation of the green alga, *Caulerpa*

lentillifera. JICA. Japan.

- Olsen, J. L., M. Valero., I. Meusnier., S. Boele-Bos and W. T. Stam. 1998. Mediterranean *Caulerpa taxifolia* and *C. mexicana* (Chlorophyta) are not conspecific. *J. Phycol.*, 34: 850-856.
- Parker, R. E. 1979. Introductory statistics for biology. *Cambridge Univ. Press.*, pp. 14-16.
- Pillmann, A., G. W. Woolcott., J. L. Olsen., W. T. Stam and R. J. King. 1997. Inter- and intraspecific genetic variation in *Caulerpa* (Chlorophyta) based on nuclear rDNA ITS sequences. *Eur. J. Phycol.*, 32: 379-386.
- Saga, N. and Y. Sakai. 1977 : Studies on the morphogenesis of Laminariales plants I. Regeneration of fragments from sporophytes of *Laminaria japonica* Aresch. *Bull. Jap. Soc. Phycol.*, 25: 297-301.
- Sanchiz, C., A. M. Garcia-Carrascosa and A. Pastor. 1999. Bioaccumulation of Hg, Cd, Pb and Zn in four marine phanerogams and the Alga *Caulerpa prolifera* (Försskal) Lamouroux from the east coast of Spain. *Bot. Mar.*, 42: 157-164.
- Wetzel, R. G. and D. F. Westlake. 1974. Periphyton. pp. 42-50. In: R. A. Vollenweider (ed.). A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. 2nd (ed.). *IBP Handbook.*, 12: 225pp.
- 内村眞之. 1999. 地中海のイテイツタ. 藻類. 47: 187-203.
- 当眞武. 1980. クビレツタ養殖に関する基礎的研究 I. 昭和54年度 沖縄県水試事業報告, 134-154.
- 当眞武. 1983. クビレツタ養殖に関する研究 II. 昭和56年度 沖縄県水試事業報告, 187-203.
- 当眞武. 1984. 新しい海藻資源. ③ クビレツタ(海ぶどう). 水産の研究,

3: 47-52.

当眞武. 1992. クビレツタ. p. 69-80. In: 三浦昭雄. 食用藻類の栽培. 恒星社厚生閣刊.

徳田黄, 大野正夫, 小河久朗. 1987. 海藻資源養殖學. 緑書房, 10: 285-288.

屈 輝三. 1994. 藻類の生活史集成 第1巻 録色藻類. 内田老鶴圃, 東京, 270-271p.

강제원. 1968. 한국동식물도감, 제8권 식물편 (해조류), 삼화출판사, 서울, 465pp.

이인규, 강제원. 1986. 한국산 해조류의 목록. 조류학회지, 1: 311-325.

최창근, 황은경, 손철현. 2000. 녹조류, 옥덩굴(*Caulerpa okamurae*)의 양식을 위한 연구 I. 생장과 재생. 한국양식학회지, 13: 253-258.