

옥덩굴(*Caulerpa okamurae* Weber van Bosse)의 생장과 성숙

황은경* · 박찬선¹ · 한정우² · 신원준² · 최창근² · 손철현²

(*국립수산과학원 완도수산종묘시험장, ¹목포대학교 해양자원학과, ²부경대학교 양식학과)

Growth and Maturation of a Green Alga, *Caulerpa okamurae* Weber van Bosse

Eun Kyoung Hwang*, Chan Sun Park¹, Jung Woo Han²,
Won Joon Shin², Chang Geun Choi² and Chul Hyun Sohn²

*Wando Marine Hatchery, NFRDI, Chonnam 537-806,

¹Department of Marine Resources, Mokpo National University, Chonnam 534-729 and

²Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Seasonal growth and maturation process of *Caulerpa okamurae* were investigated in natural populations and in culture. Monthly sampling was carried out by SCUBA diving at Baekunpo, Busan, southeastern coast of Korea from November 1999 to October 2001. Growth of erect branches depended mainly on the water temperature in the natural habitat. Maximum length of erect branches was 14.0 ± 1.4 cm in June 2001 when the water temperature was 19.7°C and minimum was 2.8 ± 0.2 cm in April when the water temperature was 14.7°C . Fresh weight of erect branches was 3.9 ± 0.5 g in June 2001 and 0.2 ± 0.04 g in September 2000. Biomass of the population was maximum of 922.5 g dw·m⁻² in July and minimum of 125.6 g dw·m⁻² in April. Gametangial network was observed on the ramuli when the water temperature was over 19°C in August 2000 and June 2001. In the culture regime of 4 temperatures (15, 20, 25 and 30°C) and 3 irradiances (20, 50 and $80 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) combination, the maturation of excised erect branches was mainly affected by temperature. Maturation was induced under all irradiance conditions at 20 and 25°C ; under $80 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ at 15°C ; and under $20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ at 30°C . The highest rate of maturation was 64% under $20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ at 25°C . These results suggested that developmental initiations of *C. okamurae* occurred at higher than 13°C and maturation took about 270 degree-days.

Key Words: *Caulerpa okamurae*, degree-days, growth, maturation, temperature

서 론

옥덩굴류(*Caulerpa*)는 청각목(Codiales)에 속하는 녹조류로 몸 조직은 낭상체로 되어 있으며, 난해산으로 열대와 아열대에 주로 분포한다(竝眞 1980; Garcia *et al.* 1996). 옥덩굴류는 세계적으로 20여 종 이상 알려져 있으나, 우리나라에서는 한 종 *Caulerpa okamurae* Weber van Bosse만이 알려져 있다(강 1968). 옥덩굴은 조직이 부드럽고 다육질(Enomoto and Ohba 1987; Ohba and Enomoto 1987)로 구성되어 있어 신선한 야채 또는 샐러드로 이용되고 있으며

(徳田 외 1987), 형태와 색채가 아름다워 수족관의 장식용으로도 이용되고 있다. 또한 옥덩굴은 난해산으로 김과 미역의 양식이 이루어지지 않는 고수온기에 양식할 수 있어, 주로 겨울철이라는 한정된 기간에 몇몇 소수의 종을 대상으로 하여 집중적으로 양식이 이루어지는 것을 분산시킬 수 있어서 연안 양식장의 연중 이용이라는 측면에서 해조류 양식 산업의 효율성을 꾀할 수 있는 양식 대상종이기도 하다.

현재까지 옥덩굴류에 대한 연구는 주로 생태와 증양식에 대한 연구가 진행되고 있다. 먼저 생태학연구로서는, 최근 지중해 연안과 미국 캘리포니아 연안에 확산되고 있는 옥덩굴류(*Caulerpa racemosa*와 *C. taxifolia*)가 지역 생태계에 미치는 영향의 명암에 대한 논쟁이 이루어지고 있으며, 옥덩굴류의 분포 확산과 관련한 생태 특성을 밝히기 위한 연구들이

*Corresponding author (ekhwang@momaf.go.kr)

주류를 이루고 있다(Williams 1984; Williams and Fisher 1985; Jaubert *et al.* 1999; Ceccherelli and Piazzzi 2001; Ceccherelli and Campo 2002). 또한 옥덩굴의 증양식에 관한 연구는 일본과 필리핀에서 진행되고 있는 양식과 관련된 연구(소眞 1984; Ohno and Critchley 1993)와 최 등 (2000)의 옥덩굴 양식을 위한 성장과 재생에 대한 연구가 있다. 이외에도 Benevides *et al.* (2001)은 *Caulerpa cupressoides*로부터 세포의 응집과 기능 활성화 물질인 lectin을 분리해 낸 바 있다. 그러나 현재까지 우리나라에서는 최 등(2000)의 연구를 제외하면, 옥덩굴의 분류, 생태, 생리와 증양식과 관련한 연구는 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 해조 자원으로써의 옥덩굴의 이용도를 높이기 위하여 이들의 성장 특성을 파악하고, 자연 상태의 성숙 시기와 성숙을 유발하는 요인을 밝혀 옥덩굴류의 양식 기법 개발을 위한 자료로 제공하고자 하였다.

재료와 방법

옥덩굴 시료는 부산시 용호동 백운포 인근의 조하대 수심 3-5 m에서 1999년 11월부터 2001년 10월까지 매월 SCUBA diving에 의하여 무작위로 채집하였다. 채집된 개체는 ice box를 이용하여 실험실로 즉시 운반한 뒤, 멸균해수로 수회 세척한 후, 25 l의 배양용기에 넣어 aeration을 하면서 보관하였고, 이를 월별 야외 개체군의 성장 분석에 사용하였다. 월별 수온의 변동은 시료 채취시 현장의 표층수온을 전자온도계(DELTA PC-9400, Japan)를 사용하여 기록하였다. 옥덩굴 개체군의 계절 변동은 매월 채집된 개체 중 포복경을 제외한 30개의 직립지(erect branch)를 무작위로 절단, 선발하여 길이, 폭, 습중량과 건조량의 변화를 조사하였다. 건조량은 80°C에서 48시간 건조한 후 측정하였다. 야외 개체군으로부터 엽체의 성숙 여부는 배우자낭그물(gametangial network)의 형성 여부와 배우자 방출관의 형성 여부를 조사하였다.

실내 성숙 유도 실험을 위하여 2001년 6월에 채집한 엽체를 3 cm 길이의 직립지로 절단하였다. 직립지 10개씩을 멸균한 각각의 1 l 삼각플라스틱에 넣어 배양기(Twin-room incubator, VS-1203P4N)에서 장일(16:8, L:D) 조건에서 4개 온도구간(15, 20, 25, 30°C)과 3개 조도구간 (20, 50, 80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)의 조합인 총 12개의 배양조건별로 3번 반복 실험하였다. 배양액은 PES 배양액(Provasoli 1968)에 ABM 용액(Guillard 1968)과 GeO_2 를 첨가하여 사용하였으며, 5일 간격으로 전량 교환하였다. 직립 엽체의 생장은 길이생장과 습중량으로 측정하였고, 성숙 여부는 배양 62일 동안 직립지의 배우자낭그물의 형성 유무로 판별하였으며, 성숙률은 각 실험구의 10개 직립지 가운데 배우자낭그물을 형성한

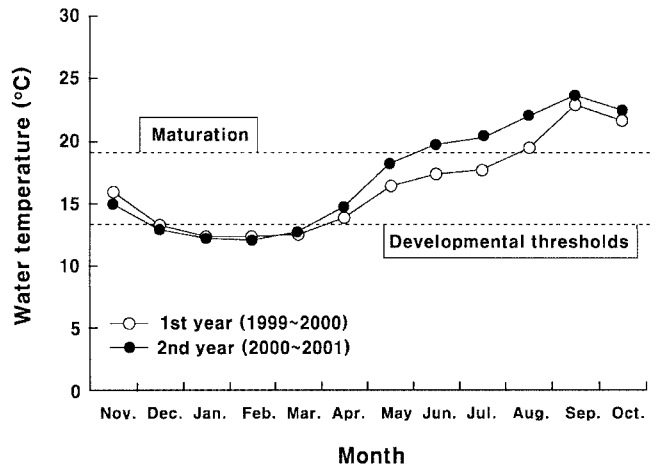


Fig. 1. Monthly variations of water temperature and maturation of *Caulerpa okamurae* in the natural habitat at Busan bay in Busan, Korea from November 1999 to October 2001. (Note the developmental thresholds and maturation temperature)

직립지의 비율로서 나타내었다.

옥덩굴의 성숙 유도를 위한 유효적산온도(degree-days)의 추정은 옥덩굴의 성장 자료를 근거로 하여 옥덩굴의 생육 영점온도를 13°C로 설정하였고(Fig. 1), 조사지점의 표면수온 측정치와 부산지역의 해양 정지 관측치(1999년부터 2001년까지 3개년 동안 옥덩굴의 주성장기인 4월부터 7월까지의 누적치를 평균한 값, Table 1)를 근거로 하여 1일 평균수온에서 생육영점온도를 뺀 값을 누적시켜 아래의 식에 의하여 구하였다(Allen 1976).

$$K = D \times (T - T')$$

(K: 유효적산온도, D: 생육에 소요된 일수, T: 생육영점온도, T': 생육온도)

결 과

조사기간 동안 조사지점의 표층 수온의 변화는 Fig. 1과 같이 2000년에는 9월에 최고 22.9°C, 2월에 최저 12.3°C를 나타내었으며 2001년에는 8월에 최고 27.8°C, 2월에 최저 12.1°C였다. 2001년의 수온은 2000년에 비하여 5월부터 10월까지 1.8-8.4°C 정도 높게 나타났으며 자연 개체군에서 옥덩굴의 성숙은 2000년 8월(19.4°C)과, 2001년 6월(19.7°C)에 관찰되었다. 자연상태의 수온변화에 따른 3년간의 자료 조사 결과 옥덩굴의 성장임계온도는 13°C였으며, 성숙에 요구되는 유효적산온도는 약 270 degree-days였다(Table 1).

옥덩굴 개체군의 월별 직립가지의 길이생장은 Fig. 2A와

Table 1. Calculation of degree-days for maturation of *Caulerpa okamurae* during 3-year period from April 1999 to July 2001

Periods (Water temperature)	Degree days	Remark
1st April (12.7°C)~7th July 1999 (19.8°C)	294.8	Developmental thresholds: 13°C
1st April (12.0°C)~27th July 2000 (19.2°C)	268.2	
1st April (12.7°C)~28th June 2001 (19.8°C)	239.2	
Mean	267.4 ± 27.8	

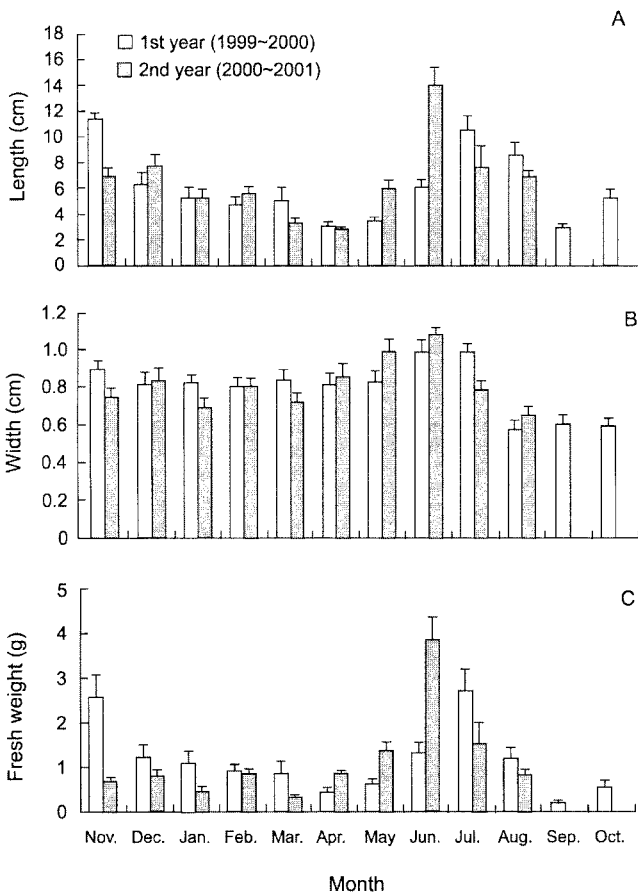


Fig. 2. Growth of *Caulerpa okamurae* in the natural population at Busan Bay in Busan, Korea from November 1999 to October 2001. A: Length of erect branch. B: Width of erect branch. C: Fresh weight of erect branch. Vertical bars indicate standard error.

같이 2000년 조사에서 11월에 최고 11.3 ± 0.6 cm, 4월에 최저 3.1 ± 0.4 cm를 나타내었으며, 2001년 조사에서는 6월에 최고 14.0 ± 1.4 cm, 4월에 최저 2.8 ± 0.2 cm를 나타내었다. 직립가지의 폭생장은 Fig. 2B와 같이 2년간의 조사에서 모두 6월에 최대 0.99 ± 0.06 cm와 1.08 ± 0.04 cm로 나타났으며, 8월에 최저 0.57 ± 0.05 cm와 0.66 ± 0.04 cm로 각각 나타났다. 직립가지의 습중량은 Fig. 2C와 같이 2000년 조사에서 7월에 최대 2.74 ± 0.48 g, 9월에 최저 0.21 ± 0.05 g으로 나타났으

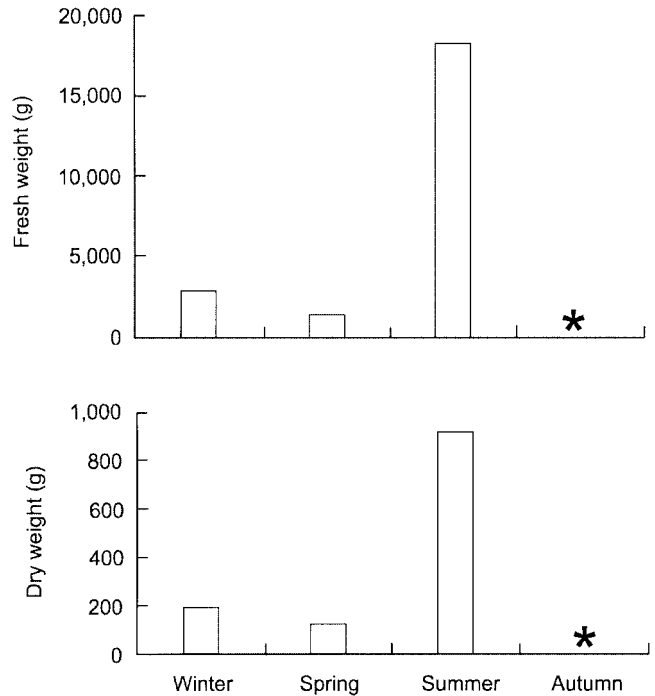


Fig. 3. Seasonal variation of biomass per m^2 of *Caulerpa okamurae* at Busan Bay in Busan, Korea from January to December 2001. Asterisks represent destroyed population.

며, 2001년 조사에서는 6월에 최대 3.86 ± 0.52 g, 3월에 최저 0.33 ± 0.05 g으로 나타났다. 전체적으로는 길이생장과 습중량에서 계절에 따른 변화가 크고 폭생장의 변화는 적었다. 단위면적당 현존량의 계절 변화는 Fig. 3과 같이 봄철에 $1,390.1 \text{ g} \cdot m^{-2}$ 으로 가장 낮았으나 여름철에 $18,299.2 \text{ g} \cdot m^{-2}$ 으로 최대치를 보였고, 건중량 역시 봄철에 $125.6 \text{ g} \cdot m^{-2}$ 으로 가장 낮았으며 여름철에 $922.5 \text{ g} \cdot m^{-2}$ 로 최대치를 보였다.

옥덩굴의 실내배양을 통한 성숙 과정은 Fig. 4와 같이 미성숙 엽체(Fig. 4A)로부터 배양 12일 후 말단가지에 녹색의 색소체가 진하게 밀집되고(Fig. 4B), 배양 13일째 그물모양의 암녹색 무늬를 형성하였으며(Fig. 4C), 배양 14일째 배우자 방출관을 형성하여 배우자 방출이 일어났다(Fig. 4D). 배양 16일째는 배우자 방출이 모두 끝나 엽체가 탈색되고 녹아나가기 시작하였다(Fig. 4E). 배우자 방출관에서 방출된 암수 배우자는 두 개의 편모를 가지고 활발하게 유영하다가

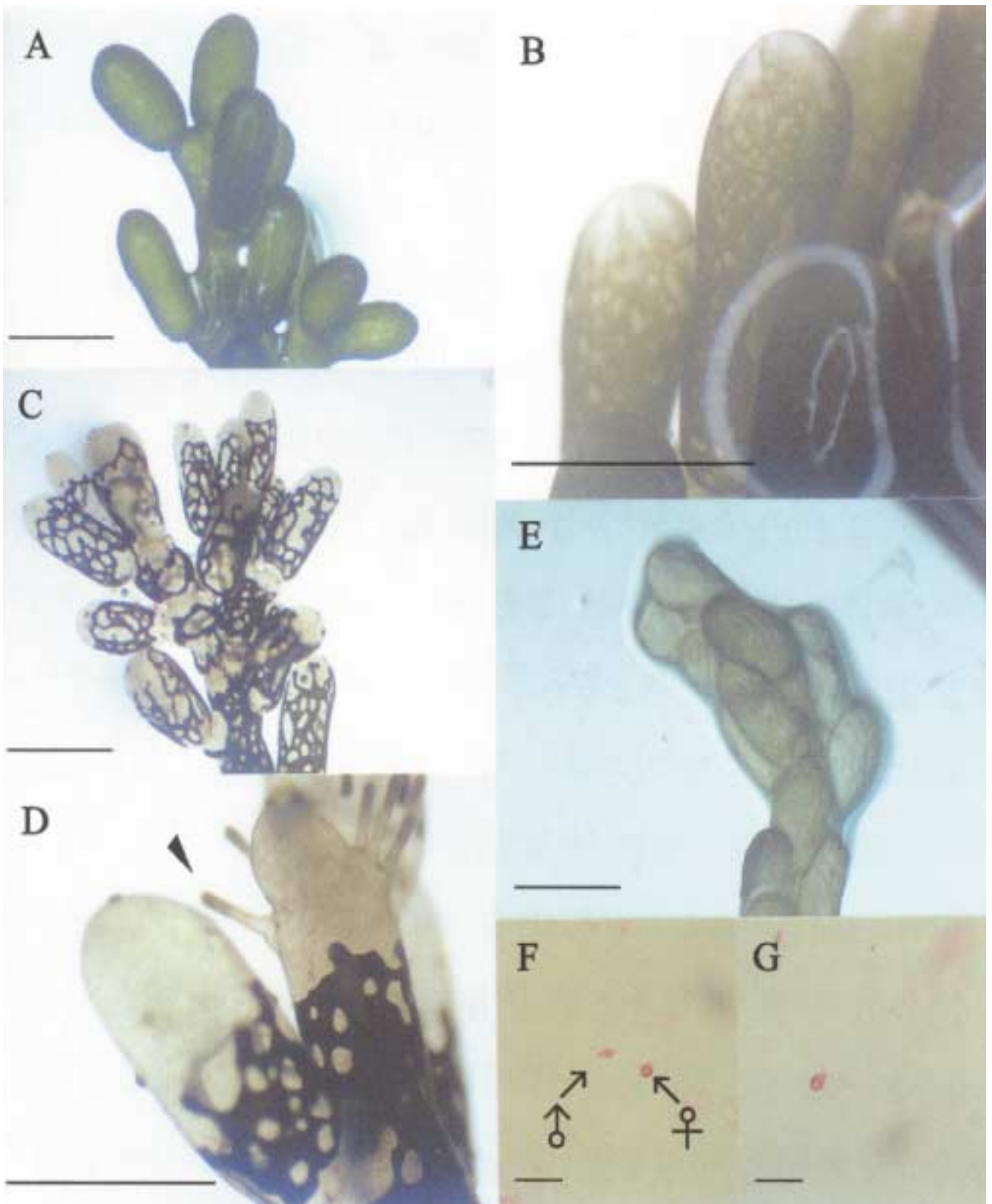


Fig. 4. Maturation process of *Caulerpa okamurae* observed in the culture of 62 days at 25°C, under $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and 16:8 (L:D). A, Vegetative thalli; B, Condensed dark green pigments formation on ramuli after 12 days culture; C, Gemetangial network in fertile assimilator after 12 days culture; D, Liberation tube (arrow head) formation from the surface of ramuli for gamete release after 14 days of culture; E, Bleached erect branch after gamete release; F, Biflagellate male and female gamete; G, Quadriflagellate zygote after conjugation. Scale bars are 5 mm (A-E) and 10 μm (F, G).

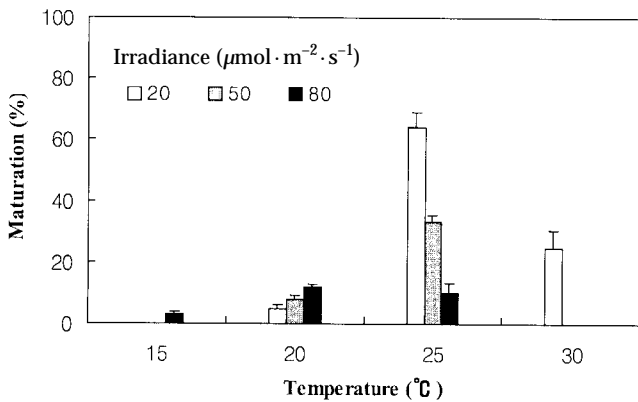


Fig. 5. Maturation of *Caulerpa okamurae* at the combination culture regime of 4 temperatures (15, 20, 25, and 30°C) and 3 irradiance (20, 50, and 80 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) conditions after 62 days culture. Values are based on 30 erect branches in each treatments. Vertical bars indicate standard error.

(Fig. 4F), 방출 후 1시간 이내에 접합하여 4개의 편모를 가지는 접합자로 되었다(Fig. 4G).

실내배양 조건에서 옥덩굴 배우자낭그물의 형성은 광과 온도 조건에 따라 각기 차이를 보였다. 즉 Table 2와 같이 20°C와 25°C의 모든 광조건에서는 배양일수의 차이는 있으나 배우자낭그물과 배우자 방출관의 형성을 나타내었으며, 15°C와 80 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서도 배우자낭그물과 배우자 방출관의 형성이 모두 관찰되었다. 그러나 30°C 온도 조건에서는 유일하게 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건에서만 배양 12일째 배우자낭그물이 형성되었으나, 배우자 방출관은 형성되지 않았다. 가장 빠른 배우자낭그물의 형성을 나타낸 실험 조건은 25°C와 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건으로 가장 빠른 배양 10일 후 색소의 밀집이 나타나기 시작하여 배우자낭그물이 형성되었으며, 14일째 배우자 방출관이 형성되었다.

배우자낭의 형성 비율로 나타난 옥덩굴의 성숙률은 Fig. 5와 같이 25°C와 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건에서 64%로 가장 높았으며, 30°C 온도구간의 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건에서 25%로 나타났다. 이외에 25°C 구간의 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 및 80 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건에서는 각각 33%와 12%, 그리고 20°C의 모든 조도구간에서는 5-12%의 성숙률을 나타내었으며, 15°C 온도구간의 80 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건에서는 3%의 성숙률을 나타내었다.

고 찰

옥덩굴 속은 열대와 아열대 해역에서 폭넓게 분포하는 속으로(Taylor 1960; Lüning 1990), 잘 발달된 포복경(stolon)과 불규칙하게 발달한 많은 직립가지(assimilator)를 가지며, 넓은 면적으로 용이하게 퍼져나갈 수 있도록 발

달되어 있다(Grace 1993). 옥덩굴의 직립가지와 말단가지(ramuli), 그리고 포복경 모두가 잠재적인 증식능력을 가지고 있어서 어느 부분이 절단되더라도 전체 엽체를 재생할 수 있는 능력을 가지고 있다(Jacobs 1993, 1994). 이러한 옥덩굴의 영양재생능은 유전적으로 동일한 엽체가 각기 다른 환경 조건 하에서 공간적인 변이를 일으키기도 한다(Cain 1994). 그 지역 환경에 따라 말단가지의 형태가 달라지는 옥덩굴의 특성은 다른 지역에 이입되어서도 군집을 형성할 수 있는 왕성한 능력으로 나타났을 것이며 그 결과 이들이 이입된 서식처에 퍼져 기존의 다른 종들에 영향을 미칠 수 있다(Hutchings 1988; de Kroon and Knoop 1990).

조사지점의 표층 수온은 1999년 11월-2001년 10월에 걸친 2년간의 조사에서 2월에 12.3°C와 12.1°C로 가장 낮았으며 8월에 가장 높은 22.9°C와 23.2°C의 수온 분포를 보였다(Fig. 1). 야외조사 1차 년도인 1999년 11월부터 2000년 10월까지의 겨울철 월별 수온은 2차 년도인 2000년 11월부터 2001년 10월 사이의 수온에 비하여 비교적 높았으나 여름철 수온은 2차 년도에 비하여 1차 년도의 수온이 비교적 낮게 나타났다. 또한 엽체의 성숙이 관찰된 것은 2000년 8월(19.4°C)과 2001년 6월(19.7°C)로 나타나 서식처의 수온이 20°C 전후가 될 때 엽체가 성숙하는 것으로 나타났다.

자연에서 옥덩굴의 길이생장은 23-24°C의 고수온이 유지되는 6-9월경에 직립가지의 엽장과 엽폭이 가장 높게 나타나고 습중량의 경우 6-7월에 최고치, 그리고 8-9월에 최저치를 나타내어(Fig. 2), 최 등(2000)의 야외조사 결과와도 일치하는 경향을 나타내었다. 옥덩굴 엽체의 습중량이 8월 이후 급격히 낮아지는 이유는 최 등(2000)의 연구에서도 추론한 바와 같이 엽체의 성숙으로 인한 배우자 방출 후 엽체가 빠르게 녹아나가기 때문인 것으로 보인다(Figs 2, 3).

옥덩굴류의 유성생식에 관한 연구는 *Caulerpa racemosa*의 유성생식에 관해서 보고한 Clifton and Clifton(1999)의 연구를 제외하면 매우 드문 편이며(Price 1992; Rogers 1996), 옥덩굴은 대부분이 무성적으로 증식하는 것으로 알려져 있다(Ceccherelli and Piazzzi 2001). 그러나 본 연구 결과, 자연에서도 유성생식의 징후인 배우자낭그물의 형성과 배우자 방출관 형성이 확인되었으며, 이와 같은 결과는 실내배양을 통한 성숙 과정에서도 동일한 양상으로 나타났다(Fig. 4). 다만 옥덩굴의 배우자낭그물 형성으로부터 배우자 방출관 형성에 이르는 성숙 과정은 실험 기간동안 매우 짧은 시간(약 24시간) 동안에 일어나며, 자연 상태의 엽체에서는 서식처의 수온 조건에 따라 매우 한정된 시기에 일어나므로 관찰하기가 매우 어렵다. 이와 관련하여 *C. racemosa*의 경우에서도 자연 조건하에서 배우자 방출관의 형성은 배우자 방출 이전 12-36시간 이전에 형성이 되며, 배우자방출은 5-10분 이내의 짧은 시간 동안에 일어난다고 보고한 바 있다(Clifton

Table 2. Maturation process of *Caulerpa okamuræ* during 62 days of culture at the 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 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Days														
		0	10	12	14	16	18	20	22	24	58	60	62	
15	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Bleach
	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Bleach
	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I II III	Bleach	
20	20	-	-	-	-	-	-	I II III	Bleach							
	50	-	-	-	-	-	I II III	Bleach								
	80	-	-	-	-	I II	-	III	Bleach							
25	20	-	-	I II	-	III	Bleach									
	50	-	-	I II	III	Bleach										
	80	-	-	-	-	I II	III	Bleach								
30	20	-	-	I II	-	-	Bleach									
	50	-	-	-	-	-	Bleach									
	80	-	-	-	-	-	Bleach									

and Clifton 1999).

본 연구 결과 실내 배양 조건에서 옥덩굴 엽체의 성숙은 일부 조건을 제외하면 20-25°C의 수온 조건에서 주로 나타났으며, 가장 먼저 성숙이 일어나기 시작한 조건은 25°C와 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건으로, 배양 10일 후 처음 배우자낭그물의 형성이 나타나기 시작하였으며, 성숙률은 최대 64%에 달하였다. 이후 같은 25°C 온도 조건의 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 과 80 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 구간에서는 각각 배양 12일 및 16일째 배우자낭그물의 형성이 이루어졌다. 또한 30°C와 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건에서는 25%의 성숙율을 나타내었으나 같은 온도 조건의 50과 80 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광도 구간에서는 엽체의 성숙이 일어나지 않았으며 배양 18일 후에는 모든 엽체가 녹아 소실되었다.

온도는 모든 생물들의 발달과정을 좌우하는 요인이며, 식물과 동물 모두 생활사의 각 단계를 거쳐 발달하기 위해서는 일정한 양의 누적온도를 필요로 하게 된다. 이를 적산온도 (degree-days)라 하며 “생리학적 시간”이라고도 한다. 이러한 생리학적 시간은 이론적으로 생물의 발달 단계를 나타내기 위한 유용한 자료로 이용된다. 특정 종의 발달 단계를 위해 요구되는 누적온도의 총합은 항상 일정하며 온도와 시간의 조합에 따라 같은 양으로 나타나게 된다(Baskerville and Emin 1969; Allen 1976). 자연상태에서 옥덩굴은 20°C 전후의 수온 조건에서 성숙하였으나(Fig. 1), 실내 배양에서는 조도구간에 따른 차이는 있으나 15-30°C의 조건에서 성숙이 관찰되었다. 야외 개체군 조사에서 옥덩굴의 경우 생장 영점 온도는 13°C로 추정되었으며(Table 1), 성숙에 도달하는 유효적산온도는 267.4 degree-days로 나타나, 약 270

degree-days가 경과하면 자연 상태에서 성숙에 도달하는 것으로 보여진다. 따라서 실내배양에서는 약 170 degree-days의 옥덩굴 엽체를 사용한 경우 15°C 조건에서는 50일, 20°C 조건에서는 14.3일, 25°C 조건에서는 8.3일 및 30°C 조건에서는 5.9일이 경과되면 성숙에 도달하는 것으로 예측해 볼 수 있다. 본 연구 결과 15°C 조건에서는 배양 58일 후 성숙에 도달하였으며, 20°C 조건에서는 배양 16-20일 후, 25°C 조건에서는 배양 10일 후 그리고 30°C 조건에서는 배양 12일 후 성숙에 도달하였다. 유효적산온도를 기준으로 추정한 결과와의 차이는 15°C 조건에서는 8일과 20-25°C 조건에서는 2일에 불과하였다. 또한 30°C 조건에서는 배양 14일 후 배우자낭그물의 형성은 확인되었으나 방출공의 형성이 이루어지지 않고 엽체가 녹아 없어졌다. 이는 수온 조건 30°C는 자연에서는 발생되지 않는 고수온 조건으로 옥덩굴 엽체에 고수온이 스트레스 요인으로 작용하였기 때문으로 생각한다.

따라서 본 연구의 결과는 옥덩굴의 경우 유효적산온도를 이용하여 수온의 인위적인 조절을 통하여 성숙을 앞당기거나 지연시킬 수 있음을 보여 주었다. 그러나 Table 2에서와 같이 15°C 조건에서는 80 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건에서만 배우자낭그물이 형성되었으며, 30°C 조건에서는 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건에서만 배우자낭그물이 형성된 점으로 보면, 옥덩굴의 성숙에는 적산온도가 가장 중요한 작용을 하나 이외에도 광도, 광주기 및 광 파장 등 다른 환경요인들과의 복합적인 상호작용에 의한 영향도 있는 것으로 고려해 볼 수 있다. 그러므로 금후 보다 많은 생물 환경요인들을 바탕으로 한 배양실험으로 옥덩굴의 유효적산온도에 대한 보다 정확한 검증이

필요할 것으로 보인다.

참고문헌

- 강제원. 1968. 한국동식물도감, 제8권 식물편(해조류), 삼화출판사, 서울. 465 pp.
- 최창근, 황은경, 손철현. 2000. 녹조류, 옥덩굴(*Caulerpa okamurae*)의 양식을 위한 연구 I. 생장과 재생. 한국양식학회지 **13**: 253-258.
- 宍眞武. 1980. クビレツタ養殖に關する基礎的研究 I. 昭和54年度沖繩縣水試事業報告, pp. 134-154.
- 宍眞武. 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.
- 徳田黄, 大野正夫, 小河久朗. 1987. 海藻資源養殖學. 綠書房 **10**: 285-288.
- Allen J.C. 1976. A modified sine wave method for calculating degree-days. *Environ. Entomol.* **5**: 388-396.
- Baskerville G.L. and Emin P. 1969. Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. *Ecology* **50**: 514-517.
- Benevides N.M.B., Holanda M.L., Melo F.R., Pereira M.G., Monteiro A.C.O. and Freitas A.L.P. 2001. Purification and partial characterization of the lectin from the marine green alga *Caulerpa cupressoides* (Vahl) C. Agardh. *Bot. Mar.* **44**: 17-22.
- Cain M.L. 1994. Consequences of foraging in clonal plant species. *Ecology* **75**: 933-944.
- Ceccherelli G. and Campo D. 2002. Different effects of *Caulerpa racemosa* on two co-occurring seagrasses in the Mediterranean. *Bot. Mar.* **45**: 71-76.
- Ceccherelli G. and Piazzini L. 2001. Dispersal of *Caulerpa racemosa* fragments in the Mediterranean: lack of detachment time effect on establishment. *Bot. Mar.* **44**: 209-213.
- Clifton K.E. and Clifton L.M. 1999. The phenology of sexual reproduction by green algae (Bryopsidales) on Caribbean coral reefs. *J. Phycol.* **35**: 24-34.
- de Kroon H. and Knoop J. 1990. Habitat exploration through morphological plasticity in two chalk grassland perennials. *Oikos* **59**: 39-49.
- Enomoto S. and Ohba H. 1987. Culture studies on *Caulerpa* (Caulerpales, Chlorophyceae) I. Reproduction and development of *C. racemosa* var. *laetevirens*. *Jap. J. Phycol.* **35**: 167-177.
- Garcia E., Rodriguez-Prieto C., Delgado O. and Ballesteros E. 1996. Seasonal light and temperature responses of *Caulerpa taxifolia* from the northwestern Mediterranean. *Aquat. Bot.* **53**: 215-225.
- Grace J. 1993. The adaptive significance of clonal reproduction in angiosperms: an aquatic perspective. *Aquat. Bot.* **44**: 159-180.
- Guillard R.R.L. 1968. A simplified antibiotic treatment for obtaining axenic cultures of marine phytoplankton. Mimeographed document. Woods Hole Ocean. Inst. Mar. Biol. Lab. 9 pp.
- Hutchings M. 1988. Differential foraging for resources and structural plasticity in plants. *Trends Ecol. Evol.* **3**: 200-204.
- Jacobs W.P. 1993. Rhizome gravitropism precedes gravimorphogenesis after inversion of the green algal coenocyte *Caulerpa prolifera* (Caulerpales). *Am. J. Bot.* **80**: 1273-1275.
- Jacobs W.P. 1994. *Caulerpa*. *Sc. Am.* **271**: 66-71.
- Jaubert J.M., Chisholm J.R.M., Ducrot D., Ripley H.T., Roy L. and Passeron-Seitre G. 1999. No deleterious alterations in *Posidonia* beds in the bay of Menton (France) eight years after *Caulerpa taxifolia* colonization. *J. Phycol.* **35**: 1113-1119.
- Lüning K. 1990. *Seaweeds. Their environment, biogeography and ecophysiology*. Wiley-Interscience, New York. 527 pp.
- Ohba H. and Enomoto S. 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 Critchley A.T. 1993. Cultivation of the green alga, *Caulerpa lentillifera*. In: Trono G.C. and Toma T. (eds), *Seaweed cultivation and marine ranching*. JICA, Japan. pp. 17-23.
- Price I.R. 1992. Seaweed phenology in a tropical Australian locality (Townsville, North Queensland). *Bot. Mar.* **32**: 399-406.
- Provasoli L. 1968. Media and prospects for the cultivation of marine algae. In: A. Watanabe A. & Hottori A. (eds), *Cultures and Collection of Algae*. Proc. U.S.A.-Japan Conf. Hakone, Japan. Soc. Plant Physiology. pp. 63-75.
- Rogers R.W. 1996. Spatial, seasonal, and secular patterns in the cover of green algae on Heron Reef Flat, Great Barrier Reef, Australia. *Bot. Mar.* **39**: 415-419.
- Taylor W.R. 1960. *Marine algae of the eastern tropical and subtropical coasts of the Americas*. University of Michigan Press, Michigan. 870 pp.
- Williams S.L. 1984. Decomposition of the tropical macroalga *Caulerpa cupressoides*: field and laboratory studies. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **80**: 109-124.
- Williams S.L. and Fisher T.R. 1985. Kinetics of nitrogen-15 labeled ammonium uptake by *Caulerpa cupressoides* (Chlorophyta). *J. Phycol.* **21**: 287-296.

Received 9 September 2003

Accepted 15 September 2003