

녹조류, 옥덩굴(*Caulerpa okamurae*)의 양식을 위한 연구

I. 성장과 재생

최창근 · 황은경 · 손철현

부경대학교 양식학과

Culture Studies on the Green Alga, *Caulerpa okamurae*

I. Growth and Regeneration

Chang Geun Choi, Eun Kyoung Hwang and Chul Hyun Sohn

Department of Aquaculture, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

Monthly samplings were made at Yongho-dong, Pusan, on the south eastern coast of Korea from May 1998 to April 1999 to investigate population growth and regeneration pattern of *C. okamurae*. The growth of erect branches was dependent mainly on the habitat water temperature. Maximum length of an erect branch was 13.4 cm in July and the minimum was 5.1 cm in March; during the corresponding months maximum and minimum weights of the alga were 2.2 and 0.7 g, respectively. During this investigation, gametangia did not occur.

Regeneration of excised ramuli was dependent on irradiance. Regeneration rate was the highest under $50 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ at 20°C. Under the conditions of different combinations of temperature (18, 22, 25, 28 and 31°C) and irradiance (10, 20, 40, 60 and 100 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$) regimes, regeneration of excised erect branch was highly affected by temperature and irradiance. The highest regeneration occurred at 25°C and 20 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, whereas the highest growth in length (4.5 ± 1.0 cm) and fresh weight (1.2 ± 0.7 g) was attained after 15 days of culture.

Key words : *Caulerpa okamurae*, Growth, Regeneration, Irradiance, Temperature

서 론

옥덩굴류 (*Caulerpa*)는 청각목 (Codiales)에 속하는 녹조류로 몸 조직은 낭상체로 되어있으며, 난해산으로 열대 및 아열대에 많이 분포한다 (尙眞, 1980; Garcia et al., 1996). 옥덩굴류는 세계적으로 20여 종 이상 알려져 있으나, 우리나라에서는 1종 (*Caulerpa okamurae* Weber van Bosse)만이 알려져 있다 (강, 1968).

현재 옥덩굴은 일본과 필리핀에서 양식을 하고 있으며 (Ohno and Critchley, 1993), 호주를 비롯한 유럽국가에서도 여러 연구자들에 의해서 다양한 연구가 이루어지고 있다 (Calvert, 1976; Carruthers et al., 1993; Gayol et al., 1995; Lehman and Manhart, 1997; Olsen et al., 1998;

Pillmann et al., 1997; Sanchiz, 1999; Delgado et al., 1996).

일본의 경우, 여러 종의 옥덩굴 중 형태나 식감이 좋은 *C. lentillifera*가 “바다의 포도” 또는 “Green caviar”라고 하여 해조 샐러드로 수요가 증가하고 있고 (徳田 等, 1987), 1980년대 초에 옥덩굴 단편을 부착시켜 수하한 것이 성공된 이후 재배가 시작되었으며 (尙眞, 1984), 1986년부터는 오키나와 열대해역에서 상업적 양식이 시작되었다. 현재 이용되는 양식 방법에는 못이나 석호 등에서의 바닥양식, 원통형 틀에 넣어 매어다는 수하식 양식이 있다. 그러나 현재까지 우리나라에서는 옥덩굴의 양식 뿐 만 아니라, 이에 대한 분류, 생태, 생리와 관련한 기초적 연구도 전무하다.

현재 우리나라에서 양식되는 해조류는 주로 김, 미역, 다시마, 톳으로 한정되어 있으며, 생산량의 대부분을 김과

미역 두 종이 차지하고 있어, 우리 나라에 분포하는 해조류 중 이처럼 실제 양식 대상종으로 개발된 것은 수 종에 불과하다. 그러므로 양식의 다변화를 꾀하기 위해서는 미이용 해조의 양식 기법을 개발할 필요가 있다. 옥덩굴은 조직이 부드럽고 다육질이며 (Enomoto and Ohba, 1987; Ohba and Enomoto, 1987), 형태와 색깔이 아름답고, 신선한 야채 또는 샐러드 형태의 식품으로 이용될 수 있어 식량자원의 개발 가능성이 풍부하다. 따라서 현재는 미이용 해조류인 옥덩굴의 양식 기법을 확립하므로써, 현재 일본에서 그 수요가 증가되고 있고, 일본과 필리핀에서 양식되고 있는 *C. lentillifera*의 이식에도 이러한 기법이 용이하게 적용될 수 있다. 또한 옥덩굴은 난해산으로 김과 미역의 양식이 이루어지지 않는 고수온기에 재배할 수 있어 해조류 양식의 효율성을 꾀할 수 있을 것으로 보인다.

따라서 이 연구에서는 옥덩굴의 양식기법 개발을 위하여 자연에서 옥덩굴의 성장 특성을 파악하고, 업체의 재생 능력을 이용한 효과적인 증묘생산 방법의 개발과 효율적인 실내 배양 환경의 구명을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

옥덩굴 시료는 부산시 용호동 인근의 조하대 수심 3-5m에서 1998년 5월부터 1999년 4월까지 매월 skin diving에 의하여 무작위 채집하였다. 채집된 개체는 ice box를 이용하여 실험실로 즉시 운반한 뒤, 멸균해수로 수 회 세척한 후, 25 l의 배양용기에 넣어 aeration을 하면서 보관하고, 이를 월별 야외 개체군의 성장 분석 및 실내배양 실험에 사용하였다.

옥덩굴 개체군의 계절적 변동은 매월 채집된 개체 중 포복경을 제외한 30개의 직립지 (erect branch)를 무작위로 절단, 선발하여 길이, 폭, 습중량 및 건중량의 변화를 조사하였다. 건중량은 80℃에서 48시간 건조시킨 후 측정하였다.

옥덩굴 말단가지 (ramuli)의 재생률을 정량화 하기 위하여 무작위로 절단한 말단가지를 각각 30개씩 5cm 직경의 멸균된 petri dish에 넣고 20, 50 및 70 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 광 조건에서 각기 3반복 실험구를 두어 배양하였다. 생장의 측정은 5일 간격으로 부정지의 재생 및 길이생장을 측정하였다. 배지는 PES 배지를 사용하였으며 2일 간격으로 전량 교체하였다.

직립가지 (erect branch)를 이용한 재생실험은 5개 온도 구간 (18, 22, 25, 28, 31℃)과 5개 조도 (10, 20, 40, 60, 100 μ

$\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)의 조합인 총 25개의 각 배양조건별로 각각 10개의 직립지를 배양 하면서, 5일 간격으로 직립지의 길이와 중량 변화를 측정하였다. 배지는 PES를 사용하였으며, 5일 간격으로 전량 교환하였다.

결과 및 고찰

1. 야외 조사

옥덩굴 개체군의 생장은 23~24℃의 고수온이 유지되는 7~9월경에 직립지의 엽장과 엽폭이 각각 $10.2 \pm 0.5 \text{ cm}$ ~ $13.4 \pm 1.5 \text{ cm}$ 와 $0.6 \pm 0.1 \text{ cm}$ ~ $1.1 \pm 0.1 \text{ cm}$ 로 가장 높게 나타난 반면, 습중량의 경우에는 7월에 $2.2 \pm 0.4 \text{ g}$ 의 최고치를 보인 이후 8월과 9월에 0.04 ± 0.01 및 $0.05 \pm 0.01\text{g}$ 으로 가장 낮은 값을 보였다 (Fig. 1). 이는 새로운 포복지와 잎이 출현하는 7월경에 옥덩굴의 습중량이 가장 높다가 겨울을 넘긴 부분이 빠르게 고사 탈락하는 8월부터 감소한다고 한 Meinesz et al. (1995)의 결과와 일치하는 경향을 보였다. 또한 조체가 성숙하여 포자를 방출하면 엽상부가 소실하는데 (德田等, 1987), 이 조사에서 8월과 9월의 옥덩굴 직립지의 습중량이 낮은 이유가 잎의 고사 및 탈락에 의한 결과인지, 엽체의 성숙으로 인한 생식세포의 방출에 의한 것인지는 분명하지 않았다. 또한 Meinesz et al. (1995)는 엽체 전체에서의 고사 및 탈락은 특히 높은 빛과 강한 해수유동에 노출된 지점에서 관찰되었다고 보고하였다. 이 조사지점의 저질의 구성은 주로 암반으로 구성되어 있고, 소량의 모래

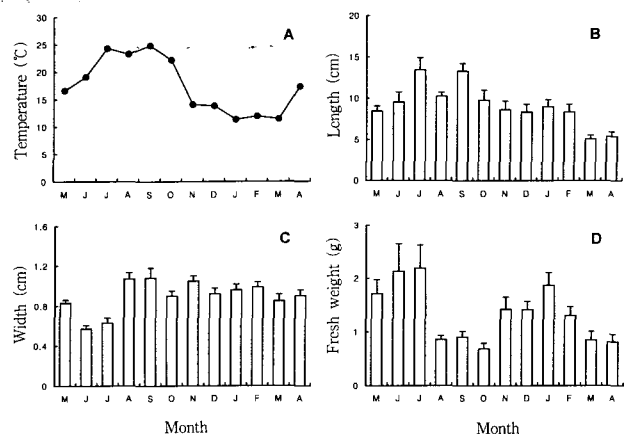


Fig. 1. Changes in habitat water temperature, and growth of *Caulerpa okamurae* in the natural habitat. A : Water temperature (°C). B : Length of erect branch (cm). C : Width of erect branch (cm). D : Fresh weight (g). Data are expressed as a mean value of 30 excised erect branches containing no stolon. Vertical bars indicate SE.

와 펼질을 함유하고 있어 물리적 교란의 정도에 따라 해수의 탁도 및 그에 따라 수중내로 투과되는 빛의 양은 크게 변동한다고 할 수 있다. 따라서 조사지점의 해수 중에 투과되는 빛의 변동량을 측정하여 조사해 보아야 할 필요성이 있다.

자연조건 하에서 이 종의 생식기관 형성은 1998년 5월에서 1999년 4월까지 1년간의 채집 분석을 통하여는 관찰되지 않았으나 이후 계속 진행중인 조사 결과 2000년 8월에 극히 일부분의 조체에서 성숙에 따른 망상구조의 형성 및 배우자 방출관 형성이 관찰되었다 (미발표자료). 따라서 자연상태에서 이 종의 유성생식 주기와 조건은 야외 조사 및 실내배양을 통한 환경 조건의 분석에 의하여 보다 명확해질 것으로 보인다. 또한 当真 (1980)에 의하면, 자연에서 옥덩굴 군집의 분포 면적 증가는 유성생식과 무성생식 (줄기의 신장 → 분절 → 엽체 단편의 부유 → 가근의 발달 → 착저에 이르는 기구)의 두가지 방법이 있지만, 후자에 의해 번무하는 쪽이 클 것이라고 하여 무성생식에 의한 증대가 보다 일반적일 것이라고 고찰하였다.

한편, Enomoto and Ohba (1987)는 배양에 관한 그들의 논문에서, 이전의 연구들을 인용하여 일본 남부 지역에서 *C. brachypus* 와 *C. okamurae*가 7, 8월에 배우자를 형성하여 수정한다 하였고, 자신의 실험에서도 *C. racemosa* var. *laetevirens*가 여름철 (6월과 7월)에 배우자 형성을 통해 수정이 된다고 하였다. 이러한 결과에서 보듯이 자연에서 옥덩굴의 유성생식은 이를 유발하는 서식 위도의 한계와 광주기 조절에 의한 인위적 유도 등에 관하여 차후 많은 연구의 여지가 있다.

2. 실내배양

옥덩굴 말단까지의 재생은 Fig. 2와 같이 광량에 따른 차이를 나타내었다. 절단된 말단까지는 배양 1일후 막의 완전한 재생이 이루어지며, 배양 7일후 재생까지의 발달이 이루어지기 시작하여 점차 비후되었으며, 배양 11일후 재생지는 2차 분지를 보였다. 배양 28일후 재생지로부터 새로운 ramuli가 형성되어 길이생장을 계속하였다. 말단까지의 재생률은 Fig. 3과 같이 광조건에 따라 차이를 나타내어 50 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서는 5.6%의 재생률을 나타내었으나 20과 70 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서는 각각 3.0%와 2.6%의 재생률을 나타내었다. 말단까지로부터 재생된 새로운 재생지의 길이생장은 Fig. 4와 같이 광량에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 옥덩굴의 말단까지 재생률에 있어서는 광

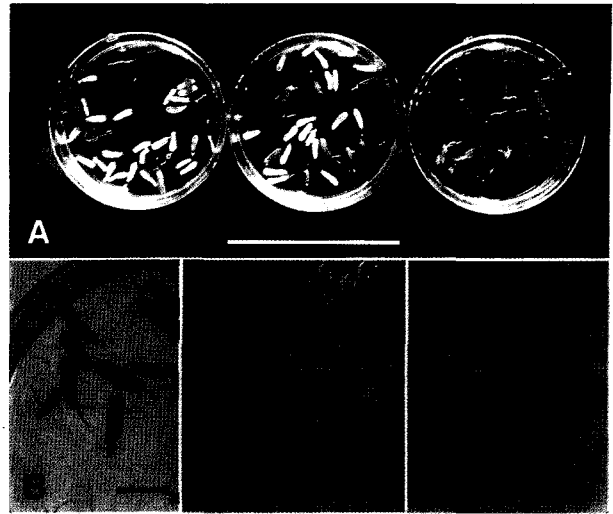


Fig. 2. Regeneration of adventitious roots of excised ramuli in *C. okamurae*. A : Culture dishes under 20, 50 and 70 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ for irradiances from the left, respectively. B : Excised ramuli regenerate adventitious roots from 7-day culture. C : Primary adventitious roots developed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

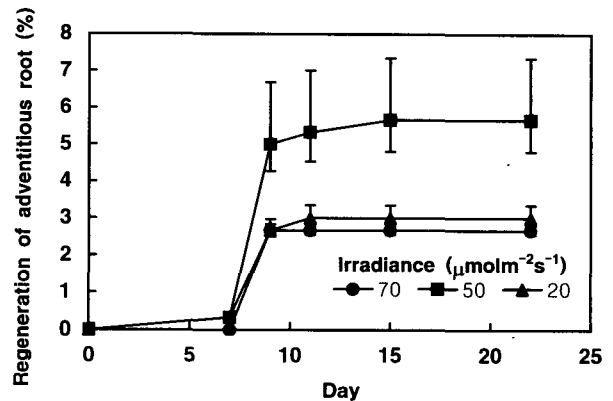


Fig. 3. Regeneration of adventitious root from an excised ramuli of *C. okamurae* under different irradiances, 20°C and 16 : 8 h (L : D) regime. Vertical bars indicate 95% confidence limit of triplicates (n = 90).

량에 따른 확연한 차이가 나타나지만 일단 재생된 재생지의 길이생장은 광조건에 따른 차이를 보이지 않았다. 이와 관련하여 자연에서 옥덩굴의 수직분포는 부착 기질의 종류와 서식처 환경에 따라 다르나 지중해의 경우 수심 0~50m에 폭넓게 분포 (Belsher and Meinesz, 1995) 하는 것으로 알려져 있는데, 이 실험에서 나타난 저조도 하에서의 옥덩굴의 재생능력은 조간대 하부에 매트상으로 분포하는 옥덩

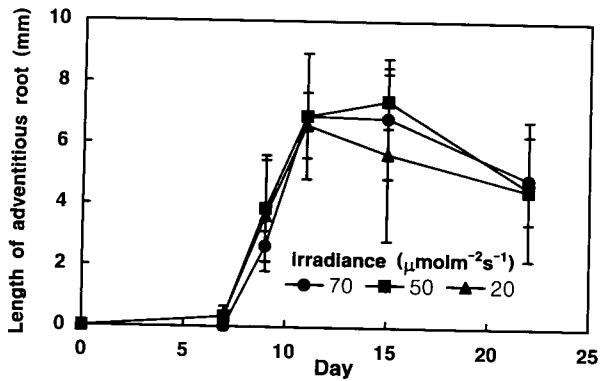


Fig. 4. Irradiance effects on growth of adventitious root from an excised ramuli of *C. okamurae* under 20°C, 16 : 8 h (L : D) regime. Vertical bars indicate SE.

굴의 생태적인 적응 전략을 반영하는 것으로, 폭넓은 광에 대한 적응력을 나타내는 것으로 해석할 수 있다.

서로 다른 광량과 온도의 조합 조건에서 옥덩굴의 직립 지를 배양한 결과, 20 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, 25°C에서 배양 시작시 3.2 cm 길이의 개체가 배양 15일 후 평균 4.5±1.0 cm, 생중량의 경우 0.8 g에서 1.2 g으로써 가장 빠른 생장의 증가를 보였다 (Fig. 5). 40 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 광의 경우 31°C에서 배양한 엽체는 배양 10일 후부터 녹아나가기 시작하여 배양 15일 후엔 모두 고사하였다. 60과 100 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 경우엔 25°C 배양 구간을 제외한 전 구간에서 10일 후에 옥덩굴 개체들이 고사하기 시작하여, 배양 15일 이후에는 엽체가 대부분 녹아 버렸다. 또한, 10 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 저조도 조건의 경우, 직립가지는 25°C 온도조건에서 엽장의 경우 2.7±0.9 cm에서 배양

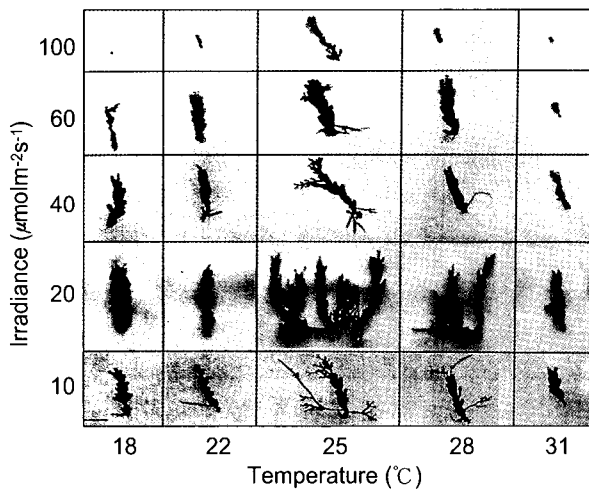


Fig. 5. Regeneration of excised erect thalli of *C. okamurae* under combinations of 5 temperature and 5 irradiance conditions after 15 days culture. Scale bar is 1 cm.

20일 후 3.3±0.3 cm로 가장 높은 생장을 보였고, 생중량에서도 평균 0.3 g의 개체가 배양 20일 후 0.7 g으로 두배 이상의 증가를 보였다 (Fig. 6).

광량 및 온도조건에 대한 옥덩굴의 배양과 관련하여, Garcia et al. (1996)는 *C. taxifolia*를 이용한 광합성 실험을 통하여, 최적광합성을 보이는 온도 범위는 20~30°C였고, 이보다 낮은 15°C에서의 광합성율은 20°C와 30°C 사이보다 항상 낮게 나옴을 보고하고 있다. 또한 손眞 (1983)의 보고에 따르면 *C. lentillifera*는 24.8~25.2°C의 온도구간에서 일간생장률은 2.06%로 17.5°C와 19.5°C 구간의 일간생장률 0.64, 0.52%와 비교하여 약 3~4배 높은 생장률을 나타내어 고수온 조건에서 *C. lentillifera*의 생육이 활발하게 이루어짐을 나타내었다. 이 실험의 결과 *C. okamurae*는 25°C 및 20 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 조건에서 최적 생장을 나타내었으며, 이보다 낮은 조도조건인 10 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서도 온도조건이 충족되면 양호한 생장을 보였다.

이상의 결과와 같이 옥덩굴의 경우 아직까지 유성생식의 조건이 명확하지 않은 상태이므로 양식을 위한 일차적 시

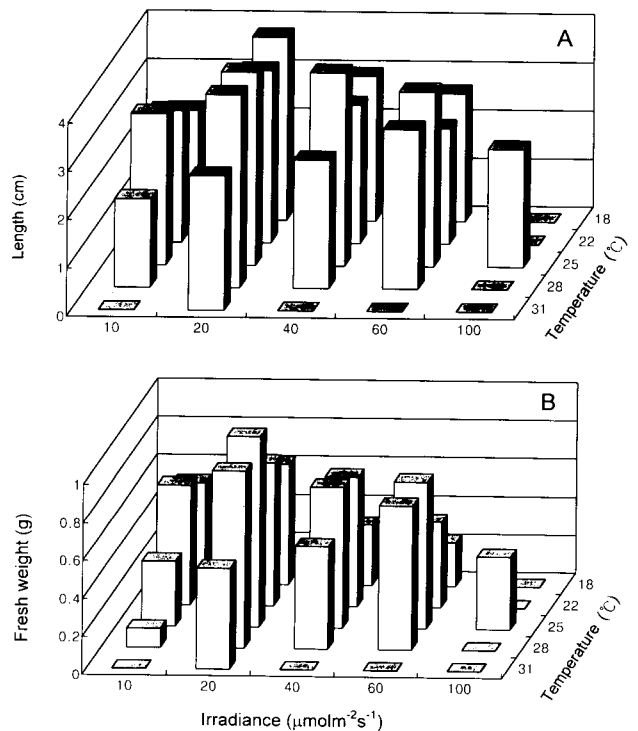


Fig. 6. Effects of irradiance and temperature on regeneration of *C. okamurae*. Excised erect branches were cultured at a combination of 5 temperature and 5 irradiance. A : Length growth of excised erect branches. B : Fresh weight after 15 days culture.

도는 재생가지의 영양생장을 이용하는 것이 보다 유리할 것으로 보인다. 말단가지와 직립지의 배양을 통한 재생률을 고려하여 재생가지의 크기는 절단조직의 크기가 어느정도 큰 직립지를 사용하는 쪽이 재생에 보다 효율적인 것으로 보인다.

요 약

녹조식물 옥덩굴의 자연 개체군 동태 및 영양번식성을 파악하므로써 이를 옥덩굴의 양식에 적용하기 위하여, 1998년 5월부터 1999년 4월까지 부산 용호동 인근의 조하대에서 옥덩굴 엽체를 skin diving에 의해 매월 채집하였다. 엽장의 변동은 수온의 변화와 밀접한 관계를 가지고 변동하였으며, 7월에 13.4 ± 1.5 cm로 길이생장의 최고치를 보였고 3월에 5.1 ± 0.5 cm로 최저치를 나타내었다. 또한 생체량은 7월에 2.2 ± 0.4 g으로 최고치를 보였고 10월에 가장 낮은 0.7 ± 0.1 g이었다. 이 조사기간동안 옥덩굴의 배우자낭 형성은 관찰되지 않았다.

옥덩굴 말단가지 (ramuli)의 재생률은 적정 수온 조건하에서는 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 직립지 (erect branch)를 절단하여 5개의 온도 구간 (18, 22, 25, 28, 31 °C) 및 5개의 조도 구간 (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 °C와 $20 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 실험구에서 엽장 4.5 ± 1.0 cm, 중량 1.2 ± 0.7 g으로 가장 높은 길이생장 및 엽중량의 증가를 나타내었다. 지금까지의 연구 결과로 옥덩굴의 인공채묘는 자연에서 성숙된 개체를 얻기 어려우므로 재생에 의한 영양생장 효과를 이용하는 것이 보다 효과적이라고 보여진다.

사 사

이 논문은 해양수산부에서 시행한 수산특정연구사업으로 수행된 결과입니다.

참 고 문 헌

- 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.
- Delgado, O., C. Rodriguez-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., Rodríguez-Prieto, C., Delgado, O. 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.
- 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. Cultivation of the green alga, *Caulerpa lentillifera* (G. C. Trono and T. Toma). 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.
- 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.
- 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.
- 강제원, 1968. 한국동식물도감, 제8권 식물편 (해조류), 삼화출판사, 서울, 465pp.
- 当真武, 1980. クビレッタ養殖に関する基礎的研究 I. 昭和54年度沖繩縣水試事業報告, 134-154.
- 当真武, 1983. クビレッタ養殖に関する研究 II. 昭和56年度沖繩縣水試事業報告, 187-203.
- 当真武, 1984. 新しい海藻資源. 3. クビレッタ (海ぶどう). 水産の研究, 3(3) : 47-52.
- 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.