

홍조류 무절석회조, 납작돌잎 (*Lithophyllum yessoense*) 사분포자체의 포자방출과 성장

황은경* · 김은진 · 김형근* · 손철현
부경대학교 양식학과, *강릉대학교 해양생명공학부

Tetraspore Release and Growth of a Crustose Coralline Alga, *Lithophyllum yessoense* (Rhodophyta, Corallinaceae)

Eun Kyoung HWANG, Eun Jin KIM, Hyung Geun KIM* and Chul Hyun SOHN

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

*Faculty of Marine Bioscience & Technology, Kangnung National University,
Kangnung 210-702, Korea

Growth and tetraspore release pattern of *Lithophyllum yessoense* (Rhodophyta, Corallinaceae) were investigated from March 2000 to July 2001. Pinkish tetraspores were $40.2 \pm 0.4 \mu\text{m}$ in diameter. After release, tetraspores attached on substrate shortly. Culture conditions were five temperatures (5, 10, 15, 20, 25°C), four irradiances (0, 20, 50, 100 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) and six salinities (0, 9, 17, 25, 34, 43 ppt). Maximum growth of gametophyte was occurred at 20°C, 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 16:8h (L:D) and 34 ppt. Maximum relative growth rate was 0.1232 at 20°C. The amount of tetraspore release showed maximum at September as 266 cells per crust area (cm^2), and tetraspores did not release from January to March.

Key words: *Lithophyllum yessoense*, Tetraspore release, Growth rate

서 론

최근 우리 나라 연안의 조간대 및 조하대는 유용해조류가 녹아나가고, 무절석회조류가 급격히 증가하는 갯녹음으로 황폐화되어 가고 있으며 (Chung et al., 1998), 이로 인하여 유용 수산 동물 자원도 감소하고 있는 실정이다. 이러한 갯녹음 현상은 서식지의 환경요인들이 복합적으로 작용하고 있는 생태계의 변화로, 연안의 암반이 석회조류로 피복되며, 이들이 죽어서 하얗게 변해 가는 현상 (正置·秋岡, 1980)으로서, 해중립과 석회조류 군집이 서로의 극상을 반복하는 생태적 현상으로 설명되기도 한다 (谷口, 1996). 일단 석회조류에 의해 우점된 극상을 일반 해조류가 우점하는 상태로 만들어 주기 위하여는 인공어초의 투입이나 해조류의 이식과 같은 인공적인 해중립 복원의 노력이 요구된다. 또한 갯녹음의 원인생물로 알려져 있는 무절석회조류의 생태를 파악하여 해중립 복원을 위한 효과적인 인공어초 투입의 시기를 조절하려는 노력도 필요하다.

일본에서도 수산업상 갯녹음 현상의 심각성을 인식하고, 홋카이도의 갯녹음 지역에서 폭넓게 분포하는 *Lithophyllum*속의 종들 대한 연구가 이루어져 오고 있다. 이들 가운데는 *L. yessoense*의 생리 생태학적인 특성 및 성숙의 주기성을 밝힌 Noro (1976)와 Noro et al. (1983)의 연구 뿐 아니라 엽체의 계절별 광합성 및 호흡량의 변화 (Fujita, 1988; Ichiki et al., 2001), 배양환경에 따른 포자의 성장 (Notoya, 1976; Ichiki et al., 2000) 등에 대하여도 조사된 바 있으나, 지금까지 무절석회조류에 대한 국내의 연구는 분류학적 위치와 분포를 밝히는 데 불과했으며 (Kang, 1966; Park,

1976, 1977, 1978; Kim, 2000), 최근에는 제주도의 갯녹음 현상을 보고한 Chung et al. (1998)의 연구가 있으나, 이 역시 무절석회조류의 분포 실태를 보고하였을 뿐이고, 갯녹음 현상의 대책 강구를 위한 기초연구로서의 무절석회조류의 성장과 포자방출 양상을 구명하기 위한 실내배양 등의 연구는 이루어지지 못하였다.

따라서 이 연구에서는 부산의 기장군 지역 조하대에 폭넓게 분포하는 무절석회조류의 한 종인 납작돌잎을 대상으로 하여 사분포자의 배양환경에 따른 성장과 매월 포자 방출량을 정량화 함으로써 포자방출 패턴을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

배양실험은 2000년 3월에 부산 기장군 인근 해역의 조간대에서 채집된 납작돌잎 사분포자체로부터 사분포자를 받아 수행되었다. 모든 실험은 광주기 16:8h (L:D)로 하여, 온도는 5조건 (5, 10, 15, 20, 25°C)과 광량 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 하에서, 광량은 4조건 (0, 20, 50, 100 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)과 온도 20°C 조건하에서 각각 이루어졌으며, 이때의 염분농도는 34 ppt를 유지하였고, 염분농도는 6조건 (0, 9, 17, 25, 34, 43 ppt)과 광량 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 온도 20°C 조건하에서 이루어졌다. 사분포자의 수집은 20°C 및 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 조건하에서 10 L의 용기에서 포기하면서 포자 방출 여부를 확인하고, 방출된 포자는 cover glass에 착생시켜 각 온도, 조도 및 염분 농도별 실험에 사용하였다. 각 실험구는 직경 6 cm의 멸균된 petri dish를 사용하였으며, 각 실험구별로 포자가 착생된 cover glass 1개를 수용한 후 20 mL의 PES 배양액을 공급하였다. 상대성장률 (relative growth rate)은 아래의 식에 따라 구하였으며, 3반복 실험구에서 각각 성장률을 구하였다.

*Corresponding author: ekhwang@hatmail.com

$$RGR = (\ln L_2 - \ln L_1) / (t_2 - t_1)$$

L_1, L_2 는 각각 시간 t_1, t_2 에서엽체의 직경

월별 포자방출의 정량화는 2000년 8월부터 2001년 7월까지 매월 시료를 채집하여 실시하였다. 채집된 기질 표면에 착생된 납작돌잎의 표면적을 계측한 후 투명한 전복 배양용 파판을 5.8 cm 직경의 디스크 모양으로 절단하여 300 mL 용기의 배양기 바닥에 깔고, 멸균 해수와 납작돌잎이 피복된 돌을 함께 넣어 $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 와 16:8h (L:D), 15°C의 인큐베이터에서 48시간 동안 방출되어 배양기 바닥의 디스크에 부착된 포자의 총 수를 계수하였다. 방출된 포자의 수는 포자가 부착된 디스크를 멸균해수와 함께 6 cm 직경의 petri dish에 넣고, 방안지를 이용하여 구획을 설정한 후, 실체현미경 (Olympus, SZH 10) 하에서 디스크에 부착된 총 포자의 수를 측정하였으며, 이를 기질에 피복된 납작돌잎의 단위면적당 방출된 포자의 수로 환산하였다. 모든 실험구는 5반복 실험하였다. 모든 배양 조건은 인큐베이터 (Twin-room incubators, VS-1203P4 N, Korea)를 사용하여 광주기 16:8h (L:D)로 조절하였다. 또한 광량의 측정은 LI-1000 Data Logger (LI-Cor)를 이용하였다.

결 과

납작돌잎의 사분포자체는 기질 위에 포복하여 분홍색을 띠며 (Fig. 1A), 사분포자낭의 개구 부분이 백색으로 뚜렷이 구분되었다. 방출된 사분포자의 직경은 약 $40 \mu\text{m}$ 로 구형 (Fig. 1B)이며 붉은 색을 띠었다. 사분포자는 방출 후 즉시 기물에 착생하였으며, 이 시기에는 매우 약한 점액질로 둘러싸여 있어서 조금만 자극을 주어도 포자가 터져버렸으나 착생 1일 후에는 이미 기질에 단단히 부착하여 붓으로 건드려도 탈락되지 않았다. 포자는 매우 빠른 성장을 나타내어 방사상으로 기질 면을 포복하면서 성장하였다 (Fig. 1C~F).

납작돌잎 포자의 성장은 온도 구간에 따라 큰 차이를 나타내었다. 5°C 및 10°C 구간에서는 배양 20일까지 발아체의 평균 직경은 $200 \mu\text{m}$ 이하로 거의 성장이 이루어지지 않았으나 15°C 조건에서는 배양 10일 이후부터 빠른 성장을 나타내어 배양 20일째 최대 직경 $379.0 \mu\text{m}$ 에 달하였다. 20°C 구간에서는 전 배양기간동안 최대의 성장을 나타내어 배양 20일째 최대 직경 $607.7 \mu\text{m}$ 를 나타내었다. 그러나 25°C 구간에서는 평균 직경 $502.7 \mu\text{m}$ 의 성장을 나타내었다.

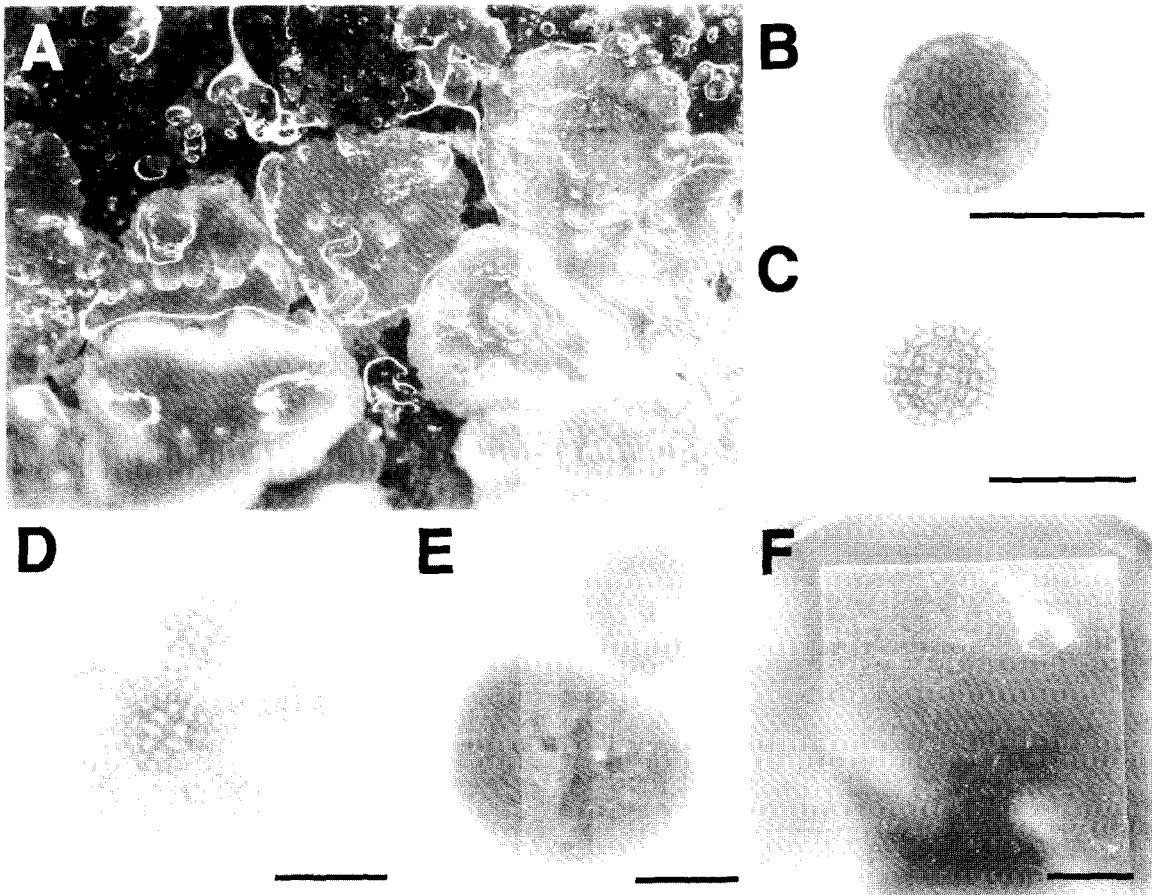


Fig. 1. Growth of *Lithophyllum yessoense* under $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 20°C and 16:8h (L:D). A: Mature tetrasprophyte with conceptacles attached on stone (scale bar 1 cm). B: Tetraspore just after release (scale bar $50 \mu\text{m}$). C: Divided gametophyte after 2 days culture (scale bar $100 \mu\text{m}$). D: Radial growth of gametophyte after 7 days culture (scale bar $100 \mu\text{m}$). E: Crust after 40 days culture (scale bar 1 mm). F: Gametophytes attached on plastic abalone culture plate (scale bar 1 cm).

따라서 5~10°C 구간에서는 생장의 저하가 일어나고 15~20°C의 수온 조건이 포자의 생장에 최적 수온으로 나타났다. 배양 20일 후 측정된 각 온도구간별 성장률은 5°C 및 10°C 구간에서는 0.019~0.040를 나타내었으며, 15°C 구간에서는 0.085, 20°C 구간에서 0.110으로 최대치를 보였으며, 25°C 구간에서는 0.094를 나타내었다 (Fig. 2).

광량 구간별 납작돌잎 포자의 생장은 암조건에서 배양한 포자의 경우 배양 20일까지 엽체의 평균 직경이 79 μm로 거의 증가하지 않았으며, 많은 수의 포자가 색소를 잃고 고사하였다. 광량조건 20 μmol · m⁻² · s⁻¹ 이상의 조건에서는 배양 10일 이후부터 빠른 성장을 보여 배양 20일후 엽체의 직경이 평균 516.5 μm를 나타내었다. 50과 100 μmol · m⁻² · s⁻¹의 조건에서는 배양 15일까지 광량 조건별 생장의 차이를 나타내지 않았으나 배양 15일 이후 100 μmol · m⁻² · s⁻¹의 광량조건에서 엽체의 직경이 441.7 μm로 50 μmol · m⁻² · s⁻¹ 조건의 평균 엽체 직경 498 μm 보다 다소 낮게 나타났다. 납작돌잎 포자는 암조건에서는 생장이 거의 이루어 지지 않았으며, 20 μmol · m⁻² · s⁻¹ 이상의 광량 조건에서는 폭넓은 광 내성을 나타내었다. 광량 구간에 따른 납작돌잎 포자의 성장률은 Fig. 3과 같이 암조건에서 0.007, 20 μmol · m⁻² · s⁻¹ 구간에서 0.104로 최대치를 보였으며, 50과 100 μmol · m⁻² · s⁻¹의 구간에서는 각각 0.099 및 0.089를 나타내었다.

염분농도 조건별 납작돌잎의 성장률은 Fig. 4와 같다. 증류수를 사용한 실험 구간에서는 배양 1일 후 모든 포자가 고사하였으며, 9 ppt 구간에서도 배양 15일 이후 모든 포자가 색소체를 잃고 고사하였다. 17 ppt 구간에서는 포자의 분열이 관찰되었으나 역시 배양 15일 이후 모든 포자가 고사하였다. 25 ppt 구간에서는 배양 20일후 성장률이 0.083이었으며, 34 ppt 구간에서는 성장률이 0.123으로 최대치를 나타내었으나 43 ppt 구간에서는 0.080으로 감소하였다.

매월 채집된 납작돌잎으로부터 측정된 월별 포자 방출량은 Fig. 5와 같이 9월에 최대 266개/cm²의 포자를 방출하였다. 이후 10월에서 12월까지 44~49개/cm²의 포자가 방출되었으며, 1월부터 3월까지 포자방출이 보이지 않았고, 4월에 9개/cm²로 나타났다.

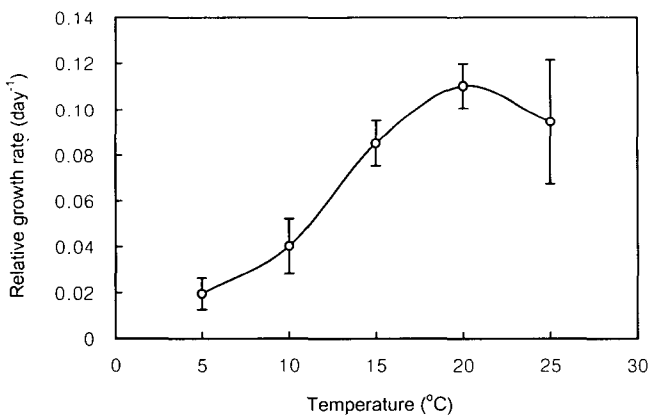


Fig. 2. Relative growth rate, during their first 20 days, of young germlings of *Lithophyllum yessoense* at various temperatures. Culture conditions were 16:8h (L:D), 34 ppt and 50 μmol · m⁻² · s⁻¹. Data were expressed as mean value of triplicates. Bars, standard deviation.

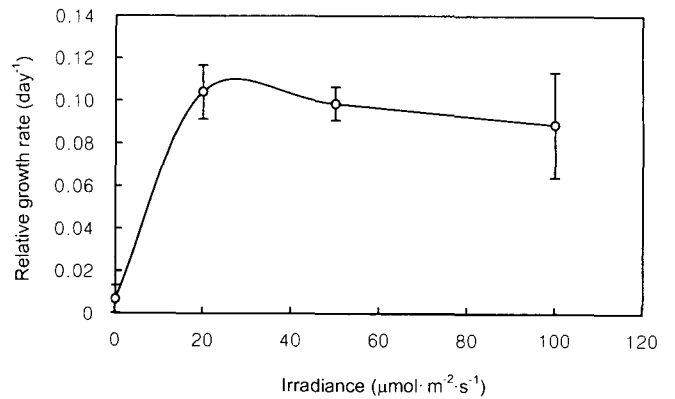


Fig. 3. Relative growth rate, during their first 20 days, of young germlings of *Lithophyllum yessoense* at various irradiances. Culture conditions were 16:8h (L:D), 34 ppt and 20°C.

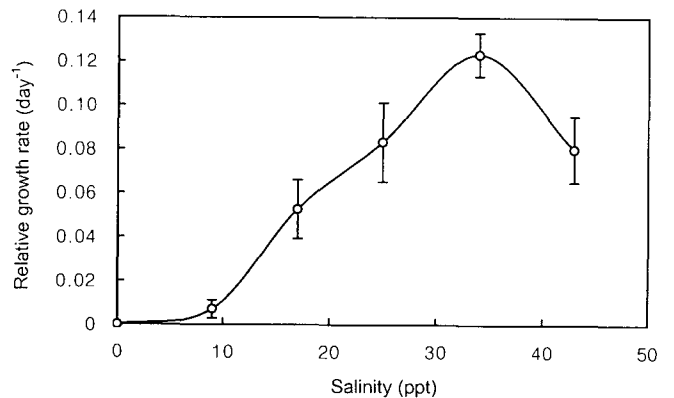


Fig. 4. Relative growth rate, during their first 20 days, of young germlings of *Lithophyllum yessoense* at various salinities. Culture conditions were 16:8h (L:D), 50 μmol · m⁻² · s⁻¹ and 20°C.

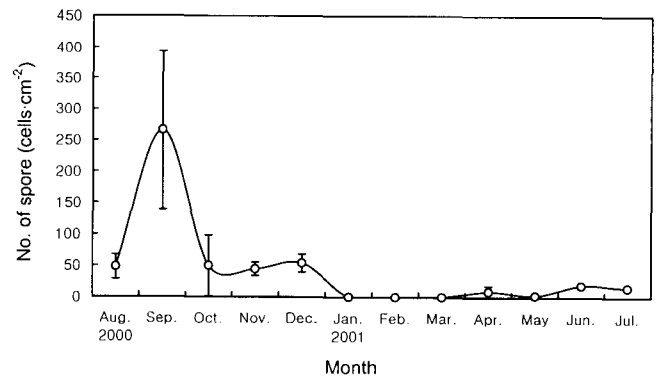


Fig. 5. Monthly pattern of tetraspore release in *Lithophyllum yessoense*. Tetraspore release was calculated by counting total number per custs area during 2 days under 16:8h (L:D), 50 μmol · m⁻² · s⁻¹ and 15°C.

고찰

해조류의 기능형군들 가운데 각상 (殼狀)의 형태는 물리적 환경의 교란에 의해 영향받기 쉬운 직립 성장형 보다도 환경 적응에 유리하다 (Dethier, 1994). 즉 염체의 수평적인 확산생장은 잦은 물리적 환경 교란이나 포자를 죽일 수 있는 극심한 생리적 환경의 교란이 있는 지역에서 생존에 유리함을 의미한다. 일반적으로 각상 해조의 환경 교란에 대한 내성은 납작한 형태로부터 기인되며, 각상의 염체가 기질에 견고히 부착하므로써 기질로부터 완전히 제거되기 어렵고, 일단 손상된 염체 조직도 효과적으로 재생되는 것으로 알려져 있다 (Slocum, 1980; Kitting, 1980; Littler and Littler, 1983, 1984; Littler et al., 1983; Stewart, 1989; Steneck et al., 1991).

지금까지 무절석회조류의 성장에 관한 연구는 열대지역 또는 한대지역에서 주로 수행되어져 왔으며, 아열대 지역이나 온대지역에서는 연구된 바가 매우 적다. 그러나 최근 온대해역 무절석회조류의 서식 면적 증가는 수산업 상으로도 큰 영향을 미치고 있다. 온대지역에서 보고된 무절석회조류의 성장률에 대한 계절성의 연구도 본래 무절석회조류 군집의 서식환경과는 크게 다른 조간대의 조수웅덩이 또는 얇은 조하대에서 수행되어왔다 (Adey and McKibbin, 1970; Adey, 1970; Potin et al., 1990; Leukart, 1994). Leukart (1994)에 의하면 무절석회조류의 성장률은 $0.5 \text{ mm} \cdot \text{month}^{-1}$ 이하이거나 일부 두께가 얇은 종에서는 $0.75 \text{ mm} \cdot \text{month}^{-1}$ 이상이 되기도 한다고 보고하였다. 이 연구 결과 납작돌잎의 초기 배양단계에서 나타난 성장률은 $0.12 \mu\text{m} \cdot \text{day}^{-1}$ 였다. 자연상태에서 측정된 성장률과 실내배양에서 나타난 성장률을 직접 비교하기는 어려우나 각 배양조건에서 나타난 성장률은 환경조건에 따라 큰 변화를 보이지 않았다. Ichiki et al. (2001)은 *L. yessoense* 성엽의 광량과 온도 조건별 광합성을 측정된 연구에서 저수온의 모든 광량 조건에서는 순광합성량이 비교적 높게 나타났으며, 보상광도와 포화광도가 고수온에서 광량 증가에 의존적으로 증가하는 것으로 나타나 *L. yessoense*는 대형 해조의 조관층 (algal canopy) 아래의 환경에서는 잘 성장할 수 없음을 설명해 준다고 하였다.

또한 이 연구에서 *L. yessoense* 포자의 성장을 위한 적정 수온 조건은 20°C 였으며, 25°C 조건에서는 생장이 저하되는 것으로 나타났다. Ichiki et al. (2000)과 Fujita (1986)의 연구에서도 동일한 결과를 보였다.

포자의 최대 성장을 보이는 광량 조건은 종에 따라 다르게 나타났다. *L. absimile*은 $4,600 \text{ lux}$ (ca. $92 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)에서, *L. neofarlowii*는 $1,000 \text{ lux}$ (ca. $4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)에서 최대생장을 보였다 (Notoya, 1976), *L. yessoense* 성엽의 경우 $83 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서, 포자의 경우 $240 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 생장이 포화되었다고 보고하였다 (Ichiki et al., 2000; 2001). 이 연구에서는 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 상대생장률이 가장 높게 나타나 기존의 연구와 비교하여 낮은 광량에서 생장률이 높게 나타났다. 이는 모조로 사용된 염체의 서식 환경과 관련이 있을 것으로 보여진다.

Notoya (1976)는 *L. neofarlowii*의 성장을 위한 최적 염분농도가 49 ppt로 나타났으며, *L. absimile*와 *Melobesia pacifica*의 경우 34

ppt의 일반 해수의 염분농도가 최적 염분 농도라고 하였다. 이 연구에서 *L. yessoense*의 경우 역시 34 ppt의 염분농도에서 최대 성장률을 나타내어, 종에 따라 최적 염분농도에 약간의 차이를 보이거나 일반적으로는 정상 해수 염분 농도에서 최대 성장률을 나타내는 것으로 보인다.

Chihara (1974)는 석회조류의 포자방출 양상과 포자의 분열 방식, 포자의 발아 특성을 기준으로 하여 석회조류를 일년중 여름철에만 포자를 방출하는 *Lithophyllum*군과 연중 계속적인 포자방출 양상을 보이는 *Lithothamnium*군으로 대별한 바 있으나, 무절석회조류들중 많은 종류가 연중 지속적인 생식기집 (conceptacle)의 형성을 보이는 것으로 알려져 있고, *Lithophyllum neoatalayense*, *Titanoderma* sp. 및 *Porolithon* sp. 등은 연중 지속적으로 포자방출을 한다고 하였다 (Taino, 1995). 이러한 특성은 일년중 특정 시기에만 생식세포를 방출하는 다른 해조류들에 비하여 생태적 우위를 점할 수 있는 잇점이라 할 수 있는데, Noro et al. (1983)은 *L. yessoense* 또한 연중 지속적인 생식기집 형성을 보이는 *Lithothamnium*군에 속한다고 하였고, 이 연구에서도 *L. yessoense*는 연중 계속해서 생식기집을 형성하였으며, 1월부터 3월까지의 시기를 제외한 나머지 기간동안 포자의 방출 양상을 보였다.

이러한 납작돌잎의 포자방출 양상은 갯녹음 지역의 인공어초 조성시 인공 기질을 투입하는 시기를 결정하는데 중요한 자료로 사용될 수 있다. 이는 Serisawa et al. (1998)의 연구에서도 인공어초를 12월 및 2월에 시설한 경우 무절석회조류의 증식이 적고 유용갈조류의 증식을 유도할 수 있었다고 보고한 바와 같이, 갯녹음 지역의 인공 해중립 조성시 무절석회조류의 포자 방출 패턴을 이용하여, 주 포자 방출 시기를 피하여 인공어초를 투입하고 해중립을 조성하는 것도 인공어초 투입 효과를 높이는 한 방안이 될 것이다.

요약

부산의 기장군 지역 조하대에 폭넓게 분포하는 무절석회조류의 한 종인 납작돌잎 (*Lithophyllum yessoense*)을 대상으로 하여 사분포자의 배양환경에 따른 성장과 사분포자 방출량을 정량화 함으로써 포자방출 양상을 구명하고자 하였다. 포자의 배양실험은 2000년 3월에 채집한 납작돌잎 사분포자체로부터 사분포자를 받아 수행하였다. 배양조건은 온도는 5조건 (5, 10, 15, 20, 25°C), 광량은 4조건 (0, 20, 50, $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)과 염분농도는 6조건 (0, 9, 17, 25, 34, 43 ppt) 하에서 각각 포자의 상대생장률을 측정하였다. 월별 포자방출의 정량화는 2000년 8월부터 2001년 7월까지 매월 시료를 채집하여 $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 15°C 과 16:8h (L:D) 조건 하에서 48시간 동안 방출된 포자의 총 수를 계수하였다.

배우체의 최적 성장 조건은 20°C , $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 과 34 ppt 조건이었으며, 최대 상대생장률은 20°C 조건에서 0.1232였다. 포자의 방출량은 9월에 사분포자체 단위면적 (cm^2) 당 266개로 최고치를 보였고, 연중 1월부터 3월까지의 시기를 제외한 모든 시기에 포자가 방출되는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 연구는 해양수산개발원이 지원한 수산특정연구과제 ‘갯녹음(백화) 현상의 원인규명 및 대책’의 일부로 수행되었습니다. 시료의 동정을 도와준 한국해양연구원의 김지희 박사님에게 감사드립니다. 또한 이 논문의 심사 과정에서 세심한 지적을 해주신 익명의 세분 심사위원께도 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Adey, W.H. 1970. The effects of light and temperature on growth rates in boreal-subarctic crustose corallines. *J. Phycol.*, 6, 269~276.
- Adey, W.H. and D. McKibbin. 1970. Studies on the maërl species *Phymatolithon calcareum* (Pallas) nov. comb. and *Lithothamnium corallioides* Crouan in the Ria de Vigo. *Bot. Mar.*, 13, 100~106.
- Chihara, M. 1974. The significance of reproductive and spore germination characteristics to the systematics of the Corallinales: nonarticulated *Coralline* algae. *J. Phycol.*, 10, 266~274.
- Chung, H., K.W. Cho, K.H. Chung, J.H. Kim, J.S. Kang and I.K. Lee. 1998. A characteristic of whitening event observed at coastal zone of Seogwipo area in Chejudo Island, Korea. *Algae*, 13, 361~374.
- Dethier, M.N. 1994. The ecology of intertidal algal crusts: variation within a functional group. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 177, 37~71.
- Fujita, D. 1988. Seasonal changes of photosynthetic and respiratory rates of *Lithophyllum yessoense* Foslie (Corallinales). *Suisanzoshoku*, 36, 7~10.
- Ichiki, S., H. Mizuta and H. Yamamoto. 2000. Effects of irradiance, water temperature and nutrients on the growth of sporelings of the crustose coralline alga *Lithophyllum yessoense* Foslie (Corallinales, Rhodophyceae). *Phycol. Res.*, 48, 115~120.
- Ichiki, S., H. Mizuta, H. Yasui and H. Yamamoto. 2001. Effects of irradiance and water temperature on the photosynthesis and growth of the crustose coralline alga *Lithophyllum yessoense* Foslie (Corallinales, Rhodophyceae). *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 52, 103~109.
- Kang, J.W. 1966. On the geological distribution of marine algae in Korea. *Bull. Busan Fish. Coll.*, 7, 1~125.
- Kim, J.H. 2000. Taxonomy of the Corallinales, Rhodophyta in Korea. PhD thesis, Seoul Natl. Univ., 349pp.
- Kitting, C.L. 1980. Herbivore-plant interactions of individual limpets maintaining a mixed diet of intertidal algae. *Ecol. Monogr.*, 50, 527~550.
- Leukart, P. 1994. Field and laboratory studies on depth dependence, seasonality and light requirement of growth in three species of crustose coralline algae (Corallinales, Rhodophyta). *Phycologia*, 33, 281~290.
- Littler, M.M. and D.S. Littler. 1983. Heteromorphic life-history strategies in the brown alga *Scytosiphon lomentaria* (Lyngb.) Link. *J. Phycol.*, 19, 425~431.
- Littler, M.M. and D.S. Littler. 1984. Relationships between macroalgal functional form groups and substrata stability in a subtropical rocky-intertidal system. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 74, 13~34.
- Littler, M.M., D.S. Littler and P.R. Taylor. 1983. Evolutionary strategies in a tropical barrier reef system: functional-form groups of marine macroalgae. *J. Phycol.*, 19, 229~237.
- Noro, T. 1976. Physiological and ecological studies of crustose Corallinales (Rhodophyta, Cryptonemiales) in the "Isoyake" area at Kaitorima, Hokkaido. Master's Thesis, Hokkaido Univ., Hakodate, 52pp.
- Noro, T., T. Masaki and H. Akioka. 1983. Sublittoral distribution and reproductive periodicity of crustose coralline algae (Rhodophyta, Cryptonemiales) in southern Hokkaido, Japan. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 34, 1~10.
- Notoya, M. 1976. On the influence of various culture conditions on the early development of spore germination in three species of the crustose corallines (Rhodophyta). *Bull. Jap. Soc. Phycol.*, 24, 137~142.
- Park, C.H. 1976. Studies on the Melobesioideae of Korea (I). *Bull. Natl. Fish. Univ. Busan*, 16, 49~54.
- Park, C.H. 1977. Studies on the Melobesioideae of Korea (II). *Bull. Natl. Fish. Univ. Busan*, 17, 59~70.
- Park, C.H. 1978. The crustose coralline algae (Rhodophyta, Cryptonemiales) in Korea. PhD thesis, Busan Fish. Coll. Korea, 64pp.
- Potin, P., J.Y. Floc'h, C. Augris and J. Cabioch. 1990. Annual growth rate of the calcareous red alga *Lithothamnium corallioides* (Corallinales, Rhodophyta) in the Bay of Brest, France. *Hydrobiologia*, 204/205, 263~267.
- Serisawa, Y., S. Taino, M. Ohono and Y. Aruga. 1998. Succession of seaweeds on experimental plates immersed during different seasons in Tosa Bay, Japan. *Bot. Mar.*, 41, 321~328.
- Slocum, C.J. 1980. Differential susceptibility to grazers in two phases of an intertidal alga: advantages of heteromorphic generations. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 46, 99~110.
- Steneck, R.S., S.D. Hacker and M.N. Dethier. 1991. Mechanisms of competitive dominance between crustose coralline algae: an herbivore-mediated competitive reversal. *Ecology*, 72, 938~950.
- Stewart, J.G. 1989. Establishment, persistence and dominance of *Corallina* (Rhodophyta) in algal turf. *J. Phycol.*, 25, 436~446.
- Taino, S. 1995. Study on the vegetation and reproduction of *Lithophyllum neoatalayense* (Melobesioideae, Rhodophyta) found abundantly in "Isoyake" region. Msc. thesis of Kochi Univ., 24pp.
- 谷口和也. 1996. 海中林造成の基礎と実践. 藻類 44, 103~108.
- 正置富太郎・秋岡英承. 1980. 北海道における磯焼の現象について. 北海道栽培漁業振興公社. 育てる漁業研究会 別刷, pp. 4~19.

2002년 1월 29일 접수

2002년 4월 25일 수리