

녹조류 참홀파래 (*Monostroma nitidum*)의 생태와 초기생장

윤장택 · 조용철¹ · 공용근² · 정규화^{3*}

국립수산과학원 제주수산연구소, ¹내수면양식연구소, ²동해수산연구소, ³전남대학교 생명산업공학과

Ecology and Early Growth of *Monostroma nitidum* (Ulvales, Chlorophyta) in Korea

Jang-Taek YOON, Yong-Chul CHO¹, Yong-Gun GONG² and Gyuhwa CHUNG^{3*}

Jeju Fisheries Research Institute, NFRDI, Jeju 690-192, Korea

¹Inland Aquaculture Research Institute, NFRDI, Jinhae 645-806, Korea

²East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Kangnung 210-861, Korea

³Department of Biotechnology, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

This study investigated the ecology and growth of *Monostroma nitidum* Wittrock in both its natural habitat and the laboratory. The maximum length, width, and weight of *M. nitidum* in March were 9.0±4.7 cm, 9.6±3.6 cm, and 1.52±1.13 g, respectively. Yellowish-green or yellowish-brown reproductive thalli began to appear in January, and over 80% of the thalli matured by March. The male and female spores were ca. 6 μm long, and elongate and ovoid in shape. The spores had two flagella and one-eye spot, and tended to swim toward light. Maximum number of spores released from matured thalli was 236 cells/mL after 70 minutes at a light intensity of 100 μmol/m²/s. The zygote diameter ranged from 3.4-6.0 μm (mean 4.2 μm) and increased to 69.8 μm 14 weeks after culture. The mass release of zoospores was observed from thalli in the dark (3 to 12 days), after 30 min under dry conditions in the shade, at 25 °C, and a light intensity of 100 μmol/m²/s. The maximum number of zoospores released was 109.8 cells/mL after 60 min of induction. *M. nitidum* fronds on the net increased to 6.8-7.2 cm in length, and 6.6-8.9 cm in width during the winter.

Key words: *Monostroma nitidum*, Seaweed, Spores, Zoospores, Thalli

서 론

녹조식물문 갈파래목 (Ulvales) 홀파래과 (Monostromataceae)에 속하는 참홀파래 (*Monostroma nitidum* Wittrock)는 일본, 미국의 태평양·대서양 연안, 유럽의 서해안 및 뉴질랜드 등 전 세계에 분포하는 해조류로서 (Lee and Kang, 1986), 우리나라에는 부산 다대포, 완도, 진도를 포함한 남해안 각지의 파도가 조용한 내만의 조간대 상부에 군락을 이루어 서식하고 있다 (Kang, 1966).

홀파래과 해조류는 1년생으로 배우체와 포자체가 이형세대 교변을 한다. 현미경적 크기인 배우체는 고수온기인 여름에, 육안적인 포자체는 가을에서 초여름 (10월-4월)에, 암수 배우자들은 봄과 초여름 사이에 성숙된 포자체 엽체에서 방출된다. 방출된 배우자들은 결합하여 구형의 접합자를 이루고 여름동안 성장하여 가을에 유주자낭을 형성한다. 유주자낭에서 방출된 유주자는 기질에 착생하여 성장한다. 암수배우자가 결합하지 못한 개체들은 단위생식에 의해 성장한다 (Ohno,

1993).

참홀파래에는 단백질, 섬유소, 지방, 칼슘, 철분 및 비타민C 등이 풍부하여 그 영양가가 높을 뿐 아니라 파래 특유의 향기가 있어 예로부터 고급 식품원으로 이용되어 왔다. 또한 한방에서는 홀파래를 신기 (身氣)라 하여 혈압강하제나 진정제의 약재로도 사용해 왔는데, 최근에는 항고지혈증과 콜레스테롤 저하효과가 있음이 밝혀져 (Jung et al., 1997) 금후 보다 다양한 소재로의 활용이 기대됨으로서 대량생산을 위한 양식기술개발이 요구된다. 천해양식이 가능한 본종의 양식기술개발은 특히 양식종의 다양화와 수익성 증대를 통한 우리나라 해조류 양식산업의 활성화에 기여될 것으로 이를 위한 생물계절학 및 형태발생에 관한 연구가 절실하게 요구되는 실정이다.

참홀파래에 대한 연구로는 일본에서 양식어장환경 변화에 따른 엽체의 성장, 부착밀도, 건조량 및 chlorophyll-a 함량에 관하여 보고된 바 있다 (Kida, 1990; Ohno, 1995). 우리나라에서는 조도, 광주기, 수온, 염분도에 따른 잎파래 (*Enteromorpha linza*)와 가시파래 (*E. prolifera*)의 성장과 형태 (Kim et al., 1991), 잎파래의 형태변이와 털가시파래 (*E. multiramosa*)의

*Corresponding author: chung@chonnam.ac.kr

발아생장에 대한 온도와 염분도의 효과 (Kim et al., 1990) 등이 보고되었으나, 참홀파래의 생태에 관해서는 아직까지 보고된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 참홀파래의 자연서식지에서 엽체의 성장상태를 파악하고 아울러 실내배양을 통하여 생활사에 따른 포자의 발생 및 성장과정을 구명함으로써 자원조성과 인공종묘의 대량 생산을 위한 자료로 제공코자 하였다.

재료 및 방법

생태조사

참홀파래의 생태조사와 형태발생학적 연구를 위한 시료채집은 전남 진도군 임회면 죽림리 (34°22'23"N, 126°15'16"E)의 조간대에서 수행하였다 (Fig. 1). 우리나라 남서단에 위치한 이 지역은 해안선을 따라 암초지대가 형성되어 있으며 비교적 물의 흐름이 완만한 내만이다.

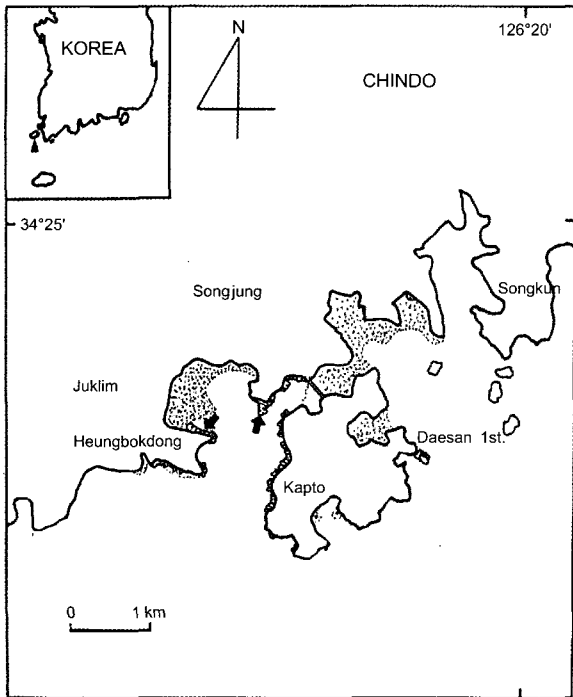


Fig. 1. Sampling sites of *Monostroma nitidum* in Jindo, Korea.

실험시료는 1995년-1997년에 육안으로 엽체의 관찰이 가능한 10월부터 익년 4월 사이의 매월 소조시에 선정된 참홀파래 군락에서 1회에 약 100 g을 채집하였다. 채집한 시료는 냉장상자에 넣어 즉시 실험실로 운반하여 그중 30개체를 무작위로 선정하여 계절별 소장관계를 파악하고, 선별된 개체 가운데 성숙엽체수에 대한 비율로 성숙도를 산정하였으며, 성장과정과 성숙 및 포자방출 시기 등을 조사, 분석하였다. 참홀파래 군락지의 혼생해조류의 분포는 10×10 cm 크기로 세분된 50×50 cm 크기의 방형구를 무작위로 4회에 걸쳐 피도에 의해 조사하

였다. 생식세포 관찰과 배우자 방출을 위한 엽상체는 항생제 용액 (Guillard, 1968)을 첨가한 멸균해수로 세척하여 사용하였다. 엽체 부위별 세포의 형태와 크기, 모세포에서의 배우자 방출은 광학현미경으로 관찰하였다.

배우자 방출과 접합자 배양

실내배양을 위해 채집한 참홀파래는 해수로 모래와 흙 그리고 부착생물을 세척 제거하고 손으로 물기를 짰 다음 10°C의 냉장상자에 넣어 실험실로 옮겼다. 엽체는 멸균해수로 깨끗이 세척하여 15°C의 암소에 넓게 펼쳐서 12시간 음건시켰다. 음건된 시료는 투명한 플라스틱 원형수조(Ø34.5 cm×35.4 cm) 4개에 각각 1 kg씩 넣고 유리막대로 가볍게 모조를 저은 후 100-160 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 백색형광등 하에 두어 배우자 방출을 유도하였으며, 주광성에 의하여 배우자가 수면으로 부상하게 하였다. 배우자의 방출량은 현미경 100배 시야에서 Sedgwick-Rafter chamber로 계수하여 1 mL당 개체수로 나타내었다.

참홀파래의 배우자가 방출된 수조에서 모조를 제거하고 1 mm 두께의 플라스틱 접합자판 (10 cm×20 cm)을 수조당 20 개씩 넣은 후 검정비닐로 밀봉하여 24시간 동안 배우자의 접합과 착생을 유도하였다. 접합자가 부착된 플라스틱판은 40 cm×50 cm×30 cm 크기의 투명한 플라스틱 사각수조로 옮겨 수온 18-20°C, 조도 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 광주기 12L:12D의 조건에서 4개월 동안 배양하였다. 접합자와 단위발생체는 배우자의 결합 초기에 접합형태나 크기에 따라 구분이 가능했으며, 성장과정은 접합자판에 표시를 하고 1주일 간격으로 검정하였다.

유주자 방출과 초기성장

참홀파래의 접합자는 직경 50-60 μm 정도로 성장하였을 때 유주자낭을 형성하였다. 유주자낭의 성숙을 촉진시키기 위하여 접합자 배양수조를 2-3주간 검정비닐로 덮어 암처리 하였다. 그 후 접합자가 부착된 플라스틱판을 10-20분간 실내에서 음건시킨 다음 배양 수온 보다 5-6°C가 높은 25-26°C에서 유주자를 방출시켰다. 온도자극 외에도 광자극을 위해 형광등으로 100-160 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 밝기를 유지시켰다. 방출된 유주자는 1% 포르말린용액에 고정시켜 유주자의 크기, 편모, 안점 등을 현미경하에서 조사하였다. 포자의 발생과정은 유주자를 슬라이드글라스에 착생시켜 PES 배지를 넣은 페트리디쉬(Ø 15 cm)에 넣고 18±0.5°C, 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 12L:12D의 조건에서 정지배양하며 관찰하였다.

결 과

생태적 특성

조사해역은 담수의 영향을 다소 받는 곳으로 저질은 사니질과 자갈 및 암반으로 구성되어 있으며 해수의 투명도는 1.0-1.5 m로 매우 낮은 편이었다. 수온은 9월에 평균 26.9°C로 최고였으며, 2월에 평균 7.1°C로 최저였다. 염분도는 조사기간 동안 22.0-26.2‰ 범위였다.

참홀파래는 노출시간 2-3시간대의 조간대 암반에 가장 밀생하였으며, 하루로 갈수록 풍도 (abundance)는 점차 줄어드는 경향을 보였다. 조사지의 조간대에는 참홀파래 외에도 잎파래 (*E. linza*), 실파래 (*E. crinita*), 갈파래류 (*Ulva* spp.) 등 파래종류가 많이 분포하였으며, 그 외 돌김류 (*Porphyra* spp.), 불등풀가사리 (*Gloiopeltis furcata*), 돌가사리 (*Chondracanthus tenellus*) 등이 서식하였다 (Table 1). 2월 이후에는 구멍갈파래 (*U. pertusa*), 잎파래 (*E. linza*), 둥근돌김 (*P. suborbiculata*) 등의 침입으로 참홀파래의 서식층이 좁아졌는데 이는 조간대 상부에 서식하던 비교적 엽체가 연약한 참홀파래가 소실된 자리에 다른 종의 자리바꿈이 일어났기 때문이다. 그외 지층이 (*Sargassum thunbergii*), 애기우뚱가사리 (*Gelidium divaricatum*), 풀가사리류 (*Gloiopeltis* spp.) 등이 조사기간 동안 출현하였다.

1995년-1997년의 매년 10월부터 4월까지 조사지역에 서식하는 참홀파래의 엽장, 엽폭, 습중량 및 성숙도를 비교한 결과 (Table 2), 엽체의 체장과 엽폭 및 습중량은 조사기간이 경과함에 따라 점차 증가하는 경향을 보였다. 유아 및 유엽기인 10월에는 1995년과 1996년에 각각 0.6±0.4 cm, 0.4±0.2 cm였으며, 12월에는 각각 3.4±1.5 cm - 2.8±1.0 cm로 점차 성장하였다. 1995년과 1996년 2월의 엽체는 각각 6.5±2.5 cm, 6.3±2.4 cm의 크기로 성장하였으며, 일부 엽체의 가장자리에 배우자 모

세포를 형성하여 배우자가 방출되기도 하였다. 엽장과 엽폭의 생장은 1996년 4월과 1997년 3월에 최대로서 엽장은 각각 9.1±1.6 cm, 10.1±4.5 cm, 엽폭은 각각 9.8±3.8 cm, 9.8±3.1 cm였다. 이 시기에는 최대 25 cm에 달하는 엽체도 채집되었다. 엽체의 생중량은 1996년과 1997년 2월에 개체당 각각 1.99±0.86 g, 2.24±1.10 g으로 가장 높게 나타나 엽체의 크기와는 다소 차이가 있었다. 엽체의 소실기인 5월 이전까지는 생식세포 방출과 더불어 엽장과 엽폭이 계속 성장하였다.

참홀파래의 생식세포는 수온이 10.2-22.9°C 사이인 1월부터 형성되기 시작하였으며, 생식세포가 형성된 엽체의 가장자리는 엷은 황록색 또는 황갈색으로 변하였다. 2월 이후에는 소조시에 채집된 엽체의 60% 이상이 육안으로 식별할 수 있을 정도로 성숙되어 배우자를 방출하였다. 성숙도가 가장 높은 시기는 3월로 80-85%였다. 4월에 채집된 엽체는 3월의 것에 비해 성숙도가 낮았는데 이는 성숙부위인 엽체 연변부가 배우자 방출 후 탈락되어 미성숙 점유도가 많았기 때문이다.

참홀파래 엽상체는 단일 세포층의 구조로서 얇고 유연하며 광택이 있었다. 유엽시에는 난형 또는 타원형을 나타냈으나 성장하면서 엽장과 엽폭의 크기가 거의 비슷한 원형으로 되었다. 엽체의 가장자리는 대상을 나타내었으며 엽체에 구멍이 생기지 않는 특징을 보였다.

Table 1. Monthly abundance (coverage/m²) of seaweeds at the sampling site in Jindo

Species	Month						
	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
<i>Monostroma nitidum</i>		+	++	+++	+++	++	+
<i>M. grevillei</i>		+	++	+++	+++	+++	++
<i>Enteromorpha compressa</i>			+	++	+++	+++	++
<i>E. linza</i>			+	+	+	+	+
<i>E. crinita</i>				+	+	+	
<i>Ulva pertusa</i>	+		+++	+++	+++	+++	+++
<i>U. conglobata</i>	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Ishige okamurae</i>	+	++	++	++	++	++	++
<i>Sargassum thunbergii</i>	+	+	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Porphyra suborbiculata</i>		++	++	++	++	++	+
<i>P. yezoensis</i>		+	+	+	+	+	+
<i>Gelidium divaricatum</i>	+		+	+	+	+	+
<i>Corallina pilulifera</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	+	+	+	+	+	++	++
<i>Gloiopeltis furcata</i>		+	+	+	++	++	++
<i>G. tenax</i>			+	+	++	++	++

+, (5%); ++, (5-10%); +++, (10-20%).

Table 2. Morphological variations of *Monostroma nitidum* from October 1995 to April 1997 in Jindo (Mean±SD)

Traits	Year	Month						
		Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
Length (cm)	1995-1996	0.6 ± 0.4	1.5 ± 0.5	3.4 ± 1.5	4.5 ± 1.9	6.5 ± 2.5	8.0 ± 4.8	9.1 ± 1.6
	1996-1997	0.4 ± 0.2	1.2 ± 0.3	2.8 ± 1.0	4.9 ± 2.0	6.3 ± 2.4	10.1 ± 4.5	8.1 ± 3.0
Width (cm)	1995-1996	0.8 ± 0.3	2.1 ± 0.8	3.9 ± 1.6	5.1 ± 2.4	7.3 ± 3.2	9.4 ± 4.0	9.8 ± 3.8
	1996-1997	0.6 ± 0.2	1.9 ± 0.6	4.2 ± 1.9	6.3 ± 2.8	9.0 ± 3.0	9.8 ± 3.1	7.0 ± 3.2
Weight (g)	1995-1996	0.05 ± 0.03	0.1 ± 0.08	0.26 ± 0.24	0.43 ± 0.34	1.99 ± 0.86	1.35 ± 1.05	1.50 ± 1.10
	1996-1997	0.08 ± 0.04	0.3 ± 0.1	0.41 ± 0.30	0.50 ± 0.31	2.24 ± 1.10	1.68 ± 1.20	1.40 ± 1.30
Maturity (%)	1995-1996	-	-	-	38	72	85	60
	1996-1997	-	-	-	42	68	80	58

참홀파래 엽상체의 부위별 세포 특성은 Table 3에 나타난 바와 같다. 세포의 형태는 가근부에서 타원형이었고 엽상부 중앙부와 가장자리에서 다소 각진 형태를 보였다. 유엽과 성엽의 세포는 기부 부분에서 평균 $54.5 \mu\text{m}$ 와 $73.0 \mu\text{m}$ 로 가장 두꺼웠으며, 유엽시에는 가장자리 세포가 중앙 부위에 비하여 얇았으나 성엽이 되었을 때는 반대 현상을 보였다. 이는 엽체가 가장자리에 생식세포가 생성되어 배우자 모세포로 분열되어 엽체가 두꺼워진 것으로 생각된다.

Table 3. Morphology of vegetative cells in different parts of *Monostroma nitidum* frond

Part of frond	Shape	Thickness	
		Young frond* (μm)	Adult frond** (μm)
Marginal	Round	13-20 (16.0)	40-61 (51.1)
Middle	Angular	18-38 (30.5)	20-55 (38.4)
Holdfast	Elliptical	40-58 (46.5)	53-101 (77.0)

*Young frond is 2.0-2.8 cm (mean 2.5 cm) in length.

**Adult frond consists of mature gametangia.

배우자 방출

성숙된 엽체는 상단의 연변부가 황록색 또는 황갈색을 띠며, 이 부분의 세포가 배우자 모세포로 되어 다수의 원형 내지 타원형의 작은 세포로 분열되고, 성숙하여 배우자 방출이 가까워지면 배우체의 세포는 서양배 또는 방추형을 이루었다 (Fig. 2B).

참홀파래의 성숙된 모조를 $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이상의 광량하에서 해수에 담그면 배우자 모세포는 곧바로 팽윤하고, 배우체 세포는 활성을 나타내며 세포막이 파괴되고 배우자를 방출하였다. 모세포 1개에서 방출되는 배우자 수는 모세포의 크기나 분열의 정도에 따라 8-36개 범위였다.

배우체에서 방출된 배우자는 서양배 모양 또는 방추형이며, 선단부에 위치한 체장의 1.5배 정도의 편모 2개를 움직여 활발하게 유영하였다. 후단부에는 각각 1개씩의 엽록체와 안점을 가졌다. 방출 직후의 배우자 크기는 장경 $6 \mu\text{m}$, 단경 $2 \mu\text{m}$ 정도였다 (Fig. 2C). 방출된 배우자는 처음에 해수 중에서 황록색의 구름 모양을 띠며 용기의 가장자리 밝은 부분의 표층에 농밀하게 모여 유영하였다. 방출 직후의 유영속도는 약 $100 \mu\text{m}/\text{sec}$ 였으며, 방출 직후에 1쌍으로 접합이 이루어졌고 접합이 되지 않은 배우자는 단위 생식체로 성장하였다 (Fig. 2D). 배우자는 방출 후 1-2일간 유영을 계속하다가 시간이 경과함에 따라 활성이 약해지면서 편모를 소실하고 기질에 부착하여 구상으로 되었다. 접합자가 부착할 때의 직경은 $3.4\text{-}6.1 \mu\text{m}$ (평균 $4.2 \mu\text{m}$)였고 수일 후 피막이 생기며 시간 경과에 따라 구상체는 점차로 커지고 두께도 증가하며 엽록체도 뚜렷한 녹색을 띠었다. 접합하지 않는 단위 발생체는 $2.63\text{-}5.44 \mu\text{m}$ (평균 $3.40 \mu\text{m}$)로서 접합자에 비하여 크기가 다소 작았다.

접합자 배양

참홀파래 접합자의 채묘기 플라스틱 평판 1mm^2 에 부착된

구상체의 포자는 5.1-12.4개 (평균 8.4개)로 부착 상태가 양호하였다. 접합자판에 부착된 접합자 (zygote, 2n)와 단위 발생체 (parthenogamete, n)의 시간 경과에 따른 생장 결과는 Table 4와 같다.

암수 배우자가 접합된 접합포자는 7일 후 평균 직경이 $5.02 \mu\text{m}$, 21일 후에 $7.86 \mu\text{m}$ 로 느리게 성장하다가 35일 후에는 $15.20 \mu\text{m}$, 49일에는 $30.86 \mu\text{m}$ 로 급성장 하였고, 84일 후에는 $60.02 \mu\text{m}$, 3개월 후인 91일째에는 $69.8 \mu\text{m}$ 의 성장을 보였으며, 98일 후에는 구상체의 대부분이 성숙하여 일부 구상체에서는 표면관이 돌기모양으로 튀어나와 유주자 방출이 가능한 상태가 되었다 (Fig. 2E).

한편, 단위 발생체는 접합자에 비해 다소 작았으나 모양은 비슷한 구상의 단세포체로 1개의 안점과 엽록체를 가졌으며 접합자와 구별되었다. 이 단위 발생체도 착생 7일 후에 $4.10 \mu\text{m}$, 21일 후에는 $8.10 \mu\text{m}$ 로 서서히 성장하다가 63일 후에는 $30.15 \mu\text{m}$, 91일에는 $53.89 \mu\text{m}$ 로 빠르게 자라서 98일 후에는 최대 $55.34 \mu\text{m}$ 까지 성장하였다. 접합자와 마찬가지로 접합자판에 착생된 대부분의 단위 발생체도 3개월 후에는 성숙하여 황록색의 띠를 형성하였으며, 온도, 조도 및 수온 자극처리에 의해 대량의 유주자 방출이 가능해졌다.

유주자 방출

채묘판에 부착된 접합자를 실내 자연조건에서 98일까지 배양한 결과 60.5-88.4%가 성숙되었으며, 성숙된 유주자낭은 그 내부에 세포분열이 일어나고 있었다. 유주자 방출직전의 완숙된 유주자낭은 엷은 황색을 드리우며 수온자극, 암처리 전에 비하여 성숙상태가 급속히 진전되어 세포막의 일부가 팽창하여 돌기 모양의 형상을 이루었다 (Fig. 2E). 유주자낭 내부의 유주자는 원형 또는 난형의 형태를 나타내고 방출이 가까워짐에 따라 방추형 혹은 서양배 모양으로 변화하였다. 유주자 방출이 도래했을 때 유주자낭의 돌출부가 개구되었으며, 이 개구된 구멍을 따라 유주자가 방출되었다 (Fig. 2F).

1개의 유주자낭에서 방출된 유주자 수는 유주자낭의 크기에 따라 다소의 차이가 있었으나 약 8-32개가 방출되었다. 유주자의 유영속도는 $70\text{-}90 \text{mm}/\text{sec}$ 로서 배우자에 비해 다소 느렸으나 뚜렷한 주광성을 나타내었고, 방출되어 부착할 때까지의 유주시간도 배우자의 1-2일간에 비해 훨씬 짧아서 1-24 시간 정도였다.

방출된 유주자의 크기는 평균 $8.2 \times 4.1 \mu\text{m}$ 로 서양배 모양이고 같은 크기의 편모 4개를 가졌으며 편모 반대 방향에 1개씩의 엽록체와 안점이 관찰되었다. 방출유도 10분 후부터 녹색의 연기처럼 유주자가 방출되기 시작하여, 30분 후 39 cells/mL, 60분 후 109.8 cells/mL로 점차 증가하였으나, 그 이후에는 급격히 감소하였다. 유주자의 방출유도 80분 이후부터는 유주자의 유영능력이 다소 떨어지기 시작하였으며, 점차 기질에 부착하기 시작하였다. 접합자로부터 방출된 유주자는 대부분 24시간 이내에 부착기질에 착생하여 구형으로 되었다.

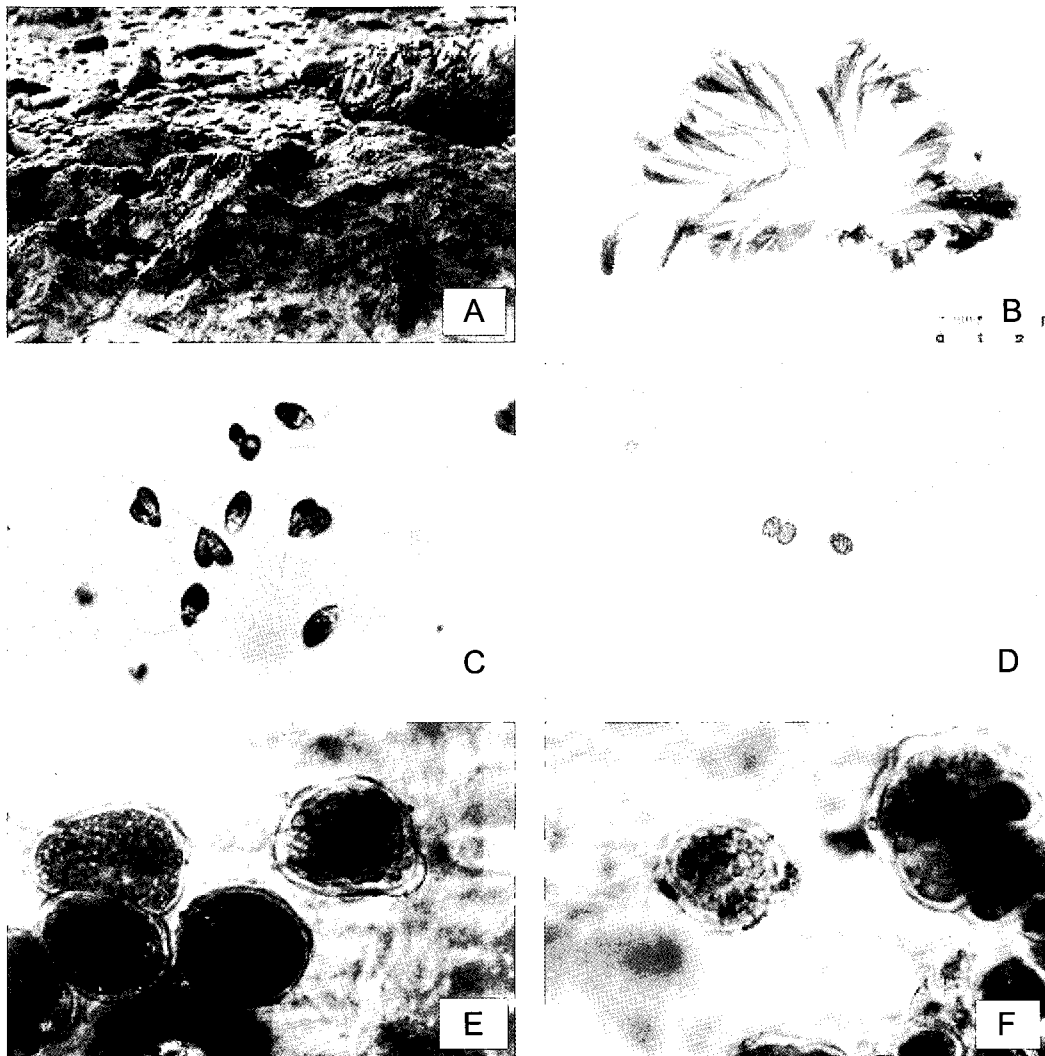


Fig. 2. Development of zygotes in *Monostroma nitidum*. A, Population in the intertidal zone; B, Adult thallus; C, Biflagellate spores ($\times 1,000$); D, Zygotes ($\times 1,000$); E, Mature zygotes showing swollen cell wall (size 30-50 μm); F, Release of zoospores from a zygote.

Table 4. Growth of zygotes and parthenogametes of *Monostroma nitidum* in culture

Growth	Days in culture											
	0	14	21	35	42	56	63	70	77	84	91	98
Zygote (μm)	4.21	7.86	11.30	15.20	21.76	39.91	48.58	53.11	56.34	60.02	69.81	71.34
Parthenogenic gamete	3.40	6.02	8.10	12.15	16.40	27.20	30.15	36.51	43.15	48.44	53.89	55.34

초기발생

구상체의 집합자에서 방출된 유주자는 부착기질에 착생한 직후 편모가 소실되고 1주일 후에는 세포벽을 형성한 둥근 가장자리를 보였다. 이때 포자의 직경은 평균 4.0-6.5 μm (평균 5.4 μm)이며, 4-6개의 pyrenoid를 뚜렷이 볼 수 있었다 (Fig. 3A). 기질에 착생한 포자는 3일간은 외형상 큰 변화를 나타내지 않았으나, 그 이후부터 포자가 점차 증대하고 부착 10일 후에는 직경 10 μm 로 성장하였다. 이때부터 포자의 선단 부분이 신장하기 시작하여 2분열의 세포로 되었고 (Fig. 3B), 20일

이후 부터는 횡분열을 계속하여 3-5회의 세포분열이 일어난 후 (Fig. 3C), 선단부에서 종분열이 개시되었다. 27일 후에는 기부에 가근이 형성되었는데 발아체가 2-3개의 세포를 가지는 시기로 부터 가근이 신장되기 시작하지만 때로는 10세포가 된 것도 가근을 형성하지 않은 경우가 있었다 (Fig. 3D). 일부 이상발생을 하는 것도 나타났는데 세포의 크기가 증대하여도 세포분열이 늦는 것, 발아체가 차상으로 가지를 내어 성장하는 것 등이 관찰되었다. 일반적으로는 느리게 성장하는 개체 들은 엽상체가 타원형, 난형 혹은 원형의 직립체로 되었고,

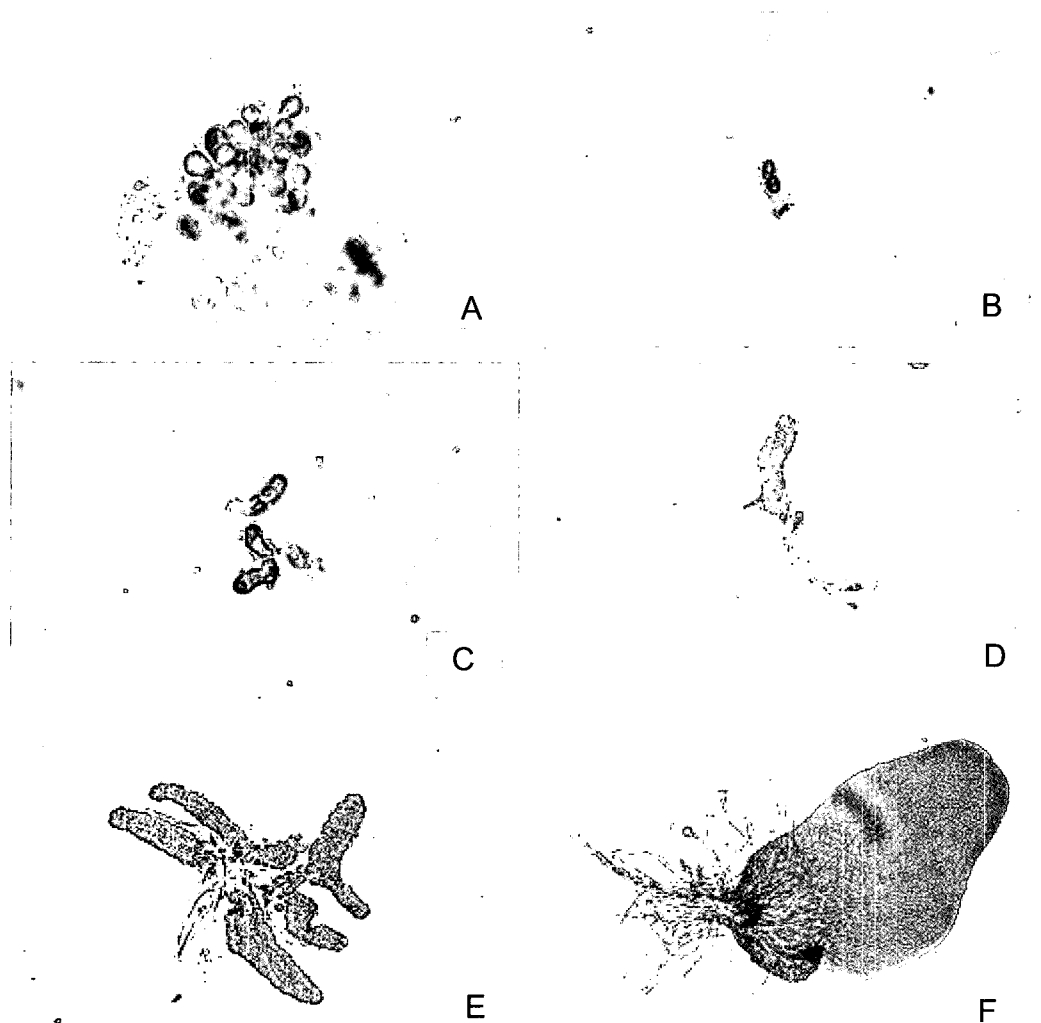


Fig. 3. Development of thallus in *Monostroma nitidum*. A, settled zoospores ($\times 400$); B, two-cell stage; C, three and five-cell stage ($\times 100$); D, development of rhizoids from young thallus 27 days after culture; E, branched thalli 35 days after culture; F, a young thallus 47 days after culture.

가근을 발생하여 세포가 증대하면서 신장하여 기질에 밀착하였다. 35일 후에는 엽체가 갈라지기 시작하였으며 가근도 형성되었다 (Fig. 3E). 40일 후의 엽체세포 형태는 엽체 부위에 따라 약간의 차이가 있었으나 선단부의 세포는 4-5각형의 형태를 보였으며 직경은 $8.1 \pm 1.4 \mu\text{m}$, 중앙부의 세포는 5-7각형 또는 부정형으로 세포크기는 장경 $1.01 \pm 2.1 \mu\text{m}$, 단경 $6.5 \pm 1.4 \mu\text{m}$ 였다. 기부의 세포는 원추형으로 되며 세포의 크기는 장경 $20.4 \pm 5.2 \mu\text{m}$, 단경 $6.1 \pm 1.3 \mu\text{m}$ 였다. 92일 후 엽체는 $0.4 \text{ cm} \times 0.4 \text{ cm}$ 의 크기로 자라며 126일 후에는 엽장 1.5 cm, 엽폭 2.0 cm로 성장하였다 (Fig. 3F).

고 찰

연안 조간대에 분포·서식하는 해조류의 생장은 광량, 수온, 염분 등 여러 가지 환경요인의 영향을 받는다 (Gendron, 1989;

Santelices et al., 1993). 참홀파래의 엽상체는 10월부터 유엽이 출현하기 시작하여 4월 하순 소실될 때까지 성장, 성숙, 쇠퇴기의 과정을 거친다. 엽체의 최대 성장시기는 수온이 16°C 이상되고 광량이 증가하는 3월이었다. 배우체의 성숙은 1월에 채집한 엽체에서 생식세포가 형성되기 시작하여 수온 $18.2\text{--}22.3^\circ\text{C}$, 일장 12-14시간이 되는 2, 3월에 68.1-85.5%로 가장 높은 값을 보였다. 성숙된 엽체는 연변부가 황록색 또는 황갈색을 띠어 육안으로도 성숙엽체의 구별이 가능하였다. 이와 같이 엽상체가 성숙하여 배우자 방출이 가능한 시기는 2-3월에 한정되어 있으며, 대조시에 비하여 소조시에 성숙정도가 높게 나타나므로 배우자 방출을 위해서는 소조시 채집하는 것이 좋다 (Ohno, 1971). Kida (1990)의 보고와 비교할 때, 성숙된 엽체가 황갈색 또는 황록색을 띠고 육안으로 쉽게 확인이 가능한 점은 같지만 성숙엽체의 출현시기가 수온 $20\text{--}23^\circ\text{C}$,

일장 14-16시간이라는 점에는 다소의 차이가 있는데 이는 지역적인 특성 때문이라고 사료된다.

참흄과래의 성숙엽체로 부터 배우자의 대량방출을 유도하기 위해서는 15℃의 공기 중에서 약 12시간 음건하는 것이 가장 효과적이었다. 이것은 엽체가 수중에서 생활할 때는 생장이 지속되지만 공기 중에 노출되었을 때는 성장세포가 생식세포로 변하여 배우자낭을 생성하는 것으로 추정된다. 해수 중에 방출된 배우자들은 강한 주광성을 나타내어 밝은 곳에 응집함으로써 녹색액으로 관찰되었으며, 대부분의 흄과래 배우자는 야간보다는 주간에 방출되는 것으로 판단된다. 배우자들은 동형으로 쉽게 접합하였으며, 접합자는 기질에 착생한 후 구형으로 되었다. 배우자들이 방출된 후 장시간 빛을 조사하였을 경우는 접합자가 많이 형성되었던 반면 암처리한 조건에서는 접합자와 단위발생체가 비슷하게 나타났는데 이러한 결과로 볼 때 광조건이 배우자의 응집과 접합할 수 있는 기회를 제공하는 것으로 판단된다(MMAF, 1997). 접합자와 단위발생체는 모두 비슷한 경향으로 성장하였으나 단위발생체의 크기가 보다 작으며 유주자낭과 유주자 방출량에 차이가 있었다.

접합자의 유주자낭에서 방출된 유주자들은 빛의 반대방향으로 분산되어 기질에 즉시 착생하였다. 이러한 유주자의 특성은 양식을 위한 채묘시 세심한 주의가 요망되는 사항이다. 착생한 유주자는 초기에 원주상으로 성장하다가 반원형으로 확산생장을 하였다.

참흄과래 접합자의 배양에서 또한 주의할 점은 미세조류 착생으로 인한 성장 장애였다. 본 연구에서는 배양기간의 환수시 해수 200 L당 김 사상체 배양용으로 제조된 종합제조영양제(綜合除藻營養劑) 100 mL을 첨가하여 배양하였던 바, 규조류 발생은 억제되었으나 남조류를 비롯한 미세조류가 착생하여 성장하였다. 따라서 이들 미세조류를 제거하기 위하여 해수 교환시에는 증류수에 1-3분 정도 침지시켰다가 배양하였으며 밀생한 조류는 핀셋으로 제거하였다. 이 같은 미세조류의 착생은 여과해수내에 존재해 있던 포자가 접합자관에 부착하거나 해수 교환시 주위의 수조에서 오염되어 생육한 것으로 판단된다.

자용배우자의 단위 발생체는 접합자와 같은 구상단세포로 발생하고 단위 발생체의 구상체가 성숙하면 60-84개의 생식세포를 형성하며 유주자로 방출되어 인공채묘의 대상 포자로 이용이 가능하다(Kida, 1989). Kida (1967)는 접합자의 실내 배양에서 성숙된 배우자는 조도, 수온, 비중의 환경조건에 따라 성숙 유주자낭의 분열 상태가 달리 나타나고, 1-5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 저조도, 수온 25℃, 그리고 비중 1.010에서 가장 높은 성숙상태를 보이며, 유주자 방출도 3-8 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 수온 23-25℃, 비중 1.022에서 양호한 것으로 보고하였다. 본 실험에서도 단위 발생체에 의한 유주자 방출 가능성을 확인하였으나 방출된 유주자 양이나 활력은 현저한 차이를 나타내었다. 환경과 배양조건에 따라서 접합자와 단위 발생체의 발생 비율

에 대한 연구결과는 참흄과래 우량 종묘 생산에 많은 도움이 될 것이다. 이들 결과로 미루어 볼 때 참흄과래 유주자의 일시 대량 방출 유도에는 암흑전처리, 온도간출 및 광자극이 중요한 요소이며 상기 환경의 적정 조건하에서 대량 인공채묘가 가능한 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 여수대학교 2000년도 학술연구지원비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

Gendron, L. 1989. Seasonal growth of the kelp *Laminaria longicirris* in Baie des Chaleurs, Quebec, in relation to nutrient and light availability. Bot. Mar., 32, 345-354.

Guillard, R.R.L. 1968. A simplified antibiotic treatment for obtaining axenic cultures of marine phytoplankton. Mimeographed document. Woods Hole Oceano. Inst., Mar. Lab., 1-9.

Jung, Y.H., Y.C. Cho, I.S. Park, S.H. Ahn, Y.J. Kang and Y.K. Hong. 1997. Effect of the seaweed (*Monostroma nitidum*) extract on Triton WR-1339 induced hyperlipidemia in mouse. J. Kor. Fish. Soc., 30, 850-858.

Kang, J.W. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. Bull. Pusan Fish. Coll., 7, 1-125.

Kida, W. 1967. The present state and future of green-laver cultivation in Japan. Bull. Jap. Soc. Phycol., 15, 24-32.

Kida, W. 1989. Development and life-cycle of Partheno gametes in *Monostroma latissimum*. Suisanzoshoku, 32, 83-86.

Kida, W. 1990. Culture of the seaweed *Monostroma*. Mar. Behav. Physiol., 16, 109-131.

Kim, K.Y., I.K. Lee and C.I. Choi. 1990. Effects of temperature and salinity on germination and vegetative growth of *Enteromorpha multiramosa* Bliding (Chlorophyceae, Ulvales). Kor. J. Bot., 33, 141-146.

Kim, K.Y., Y.S. Ahn and I.K. Lee. 1991. Growth and morphology of *Enteromorpha linza* (L.) J. Ag. and *E. prolifera* (Müller) J. Ag. (Ulvales, Chlorophyceae). Kor. J. Phycol., 6, 31-45.

Lee, I.K. and J.W. Kang. 1986. A Check List of Marine Algae in Korea. Korean J. Phycol., 1, 311-325.

MOMAF (Ministry of Maritime Affairs and Fisheries). 1997. Studies on development of cultivation technique of available seaweeds (*Monostroma*, *Hizikia* and *Meristotheca*). Report for Fisheries Special Research

- and Development Project of Korea MOMAF, 1-164.
- Ohno, M. 1971. The periodicity of gamete liberation in *Monostroma*. Proc. Int. Seaweed Sym., 7, 405-409.
- Ohno, M. 1993. Cultivation of the green alga, *Monostroma* and *Enteromorpha prolifera*. 'Aonori'. In: Seaweed Cultivation and Marine Ranching. Ohno, M. and A.T. Critchley, eds., Japan International Cooperation Agency, 7-16.
- Ohno, M. 1995. Cultivation of *Monostroma nitidum* (Chlorophyta) in a river estuary, southern Japan. J. Appl. Phycol., 7, 207-213.
- Santelices, B., R. Westermeier and M. Bobadilla. 1993. Effects of stock loading and planting distance on the growth and production of *Gracilaria chilensis* in rope culture. J. Appl. Phycol., 5, 517-524.

2006년 5월 13일 접수

2006년 10월 28일 수리