

제주도에 서식하는 보호대상 해조류 넓미역의 생태학적 특성: 성장 및 성숙

황은경·공용근·박찬선^{1*}

국립수산과학원 해조류바이오연구소, ¹목포대학교 해양수산자원학과

Ecological Characteristics of the Endangered Brown Alga, *Undariopsis peterseniana* (Kjellman) Miyabe et Okamura, at Jeju Island, Korea: Growth and Maturation

Eun Kyoung Hwang, Yong Gun Gong and Chan Sun Park^{1*}

Seaweed Research Institute, NFRDI, Mokpo 530-831, Korea

¹Department of Marine and Fisheries Resources, Mokpo National University, Jeonnam 534-729, Korea

Ecological characteristics of *Undariopsis peterseniana*, an endangered brown alga, were investigated from January to December 2007 at Jeju Island, Korea. The *U. peterseniana* population formed dense patches at depths of 12~17 m depth. Growth in length of the alga reached a maximum of 168±36cm at June. Sorus were observed from May to August, and a maturation peak was detected in June, when bottom seawater temperatures were around 18°C. After zoospore release, the alga bleached and disappeared after August. Developmental initiation of sporophytes occurred at temperature above 15°C, and sorus formation required approximately 236 degree-days. This is the first study to examine a *U. peterseniana* population throughout the entire year in a natural habitat.

Key Words: Endangered alga, Growth, Maturation, *Undariopsis peterseniana*

서 론

우리나라에 분포하는 해조자원은 총 735종으로 보고 (Lee and Kang, 2002)되어 있고, 산업적으로 식용 또는 공업용 원료로 이용되고 있는 종류는 20종 이내이며 (Sohn, 1993), 대량으로 양식되는 종은 김, 미역, 다시마, 툇, 모자반, 쇠미역사촌, 파래류 등이다. 따라서 해조자원의 효율적인 이용 및 해조류 양식 산업의 활성화를 유도하기 위해선 다양한 해조자원의 보전 및 관리 그리고 다양한 양식 대상종을 개발할 필요성이 있다.

넓미역 [*Undariopsis peterseniana* (Kjellman) Miyabe et Okamura]은 갈조류 다시마목 미역과에 속하는 일년생 해조류로 우리나라 제주도와 일본의 큐우슈우 서북부 지방에 분포한다 (Kang, 1968; Kawashima, 1989). 우리나라에서의 분포는 제주 성산포와 우도사이 해협이 산호밭에 제한적으로 서식하고 있다. 제주지역에서는 넓미역을 쌈 형태로 식용하여 왔으나 근래 넓미역의 자원량이 크게 줄면서 그 이용이 제한되고 있다. 한편, 정부에서는 최근에 넓미역을 보호대상 해조류로 지정하여 일정기간 채취를 금지하고 있다. 즉, 넓미역은 우리나라의 경우 제주도라는 매우 제한된 지역에만 서식하고 있으며, 자연군락의 규모도 점점 줄어들어 멸종 가능성이 있는 해조류로, 인위적인 증식을 통한 서식지 확대 등 자연개체군의 보호와 효율적인 이용을 동시에 추구해야 하는 중요한 종이다.

넓미역은 우리나라 제주도와 일본의 남부해역의 수심 15 m 부근에 서식하고 있는 지역 특산종으로 현재까지 몇몇 분류학적 연구 (Migita, 1963; Kang, 1966; Lee and Koh, 1991; Lee, 1998)와 미역속간 종들의 교잡연구 (Saito, 1972) 등 제한된 연구만이 수행되었다. 선행된 연구결과에서 넓미역은 4월에 주걱모양의 3-5 cm 엽장으로 성장하기 시작하여 6월경 번무한 군집을 형성하고 7월에 성숙하며, 8월에는 엽체가 소실되는 것으로 알려져 있다 (Lee, 1998). 그러나 현재까지 보고된 넓미역에 관한 연구들은 일년중 넓미역의 특정 성장단계 시료만을 대상으로 분석된 결과가 대부분이며, 생태학적 측면에서 이 종의 연주기적 성장과 성숙주기를 상세히 밝히기 위한 연구는 수행된 바 없다.

따라서 이 연구에서는 넓미역 자연개체군의 생태학적 시계열성 연구를 통한 넓미역의 성장과 성숙주기를 정확히 밝힘으로써 보호대상종인 넓미역의 인위적인 증식 및 자연개체군의 효율적인 보호 및 보전 관리의 과학적 근거를 마련하고자 하였다.

재료 및 방법

분포 및 환경조사

넓미역의 분포는 넓미역이 주로 서식하는 제주도 성산포 종달리와 우도 사이 해역의 수심 12-20 m 지역을 대상으로 SCUBA diving에 의한 정성적 목시조사로 실시하였다 (Fig. 1). 서식지의 환경은 수온, 염분 및 용존산소를 YSI-85 (YSI Inc., USA)로 매월 정성조사시 현장에서 측정하였다.

*Corresponding author: cspark85@mokpo.ac.kr

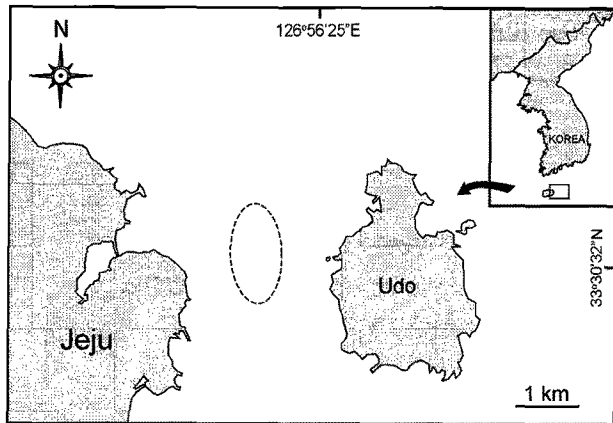


Fig. 1. A map showing the sampling site at Jeju Island, Korea. Dotted circle represents the population distribution of *Undariopsis peterseniana*.

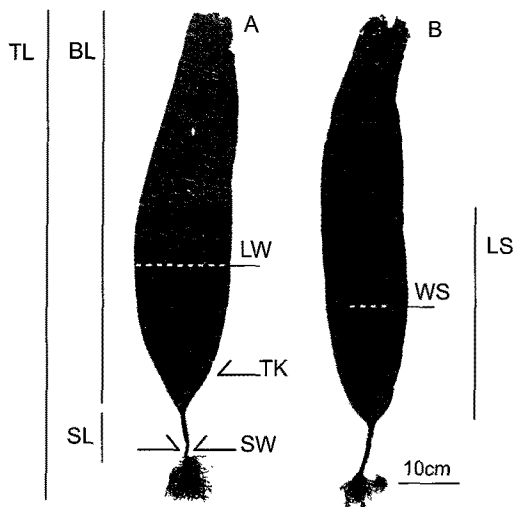


Fig. 2. Morphological character of *Undariopsis peterseniana*. A: Non-fertile sporophyte. B: Fertile sporophyte forming sorus. TL: Total length. BL: Blade length. SL: Stipe length. SW: Stipe width. TK: Thickness. LW: The largest width. LS: Length of sorus. WS: Width of sorus.

개체군 생태조사

넓미역의 성장 및 성숙 주기는 2007년 1월부터 12월까지 매월 SCUBA diving을 실시하여, 50×50 cm 방형구법을 통한 정량조사법으로 실시되었으며, 시료는 최소한 3개 이상의 방형구내에 분포하는 넓미역 엽체를 전량 채취하였다. 현존량 분석은 방형구별 넓미역의 출현 개체수 및 중량을 단위면적당 습중량 및 밀도로 환산하였다.

월별 엽장 빈도분포는 1월부터 12월까지 매월 채집된 넓미역 시료의 엽장을 0-300 cm구간까지 25 cm 단위별 크기 그룹으로 구분하여, 월별로 출현한 전체 엽체수에 대한 각 크기 그룹의 비율로 나타내었다.



Fig. 3. The natural habitat of *Undariopsis peterseniana* at Udo, Jeju Island, Korea. A: February 2007. B: May 2007.

형태형질 측정

채집된 넓미역 엽체의 형태 형질은 시료를 실험실로 옮겨 전장, 엽장, 엽폭, 주지길이, 주지폭, 엽체 두께, 자낭반 형성면 길이, 자낭반 형성면 폭을 구분하여 측정하여 분석하였다 (Fig. 2). 생식세포 형성 및 형성을, 성숙 주기는 Figs. 2, 3과 같이 넓미역 엽체의 자낭반 형성 유무 확인, 자낭반 형성 개체의 출현비율 및 자낭반 형성 면적의 비율을 월별로 측정하여 분석하였다.

성숙유효적산온도 추정

넓미역의 성숙 유효 적산온도 추정은 성장 자료를 근거로 하여 넓미역의 생물학적 영점온도를 15°C로 설정하였고 (Fig. 4), 조사지점의 표층수온 측정치와 제주 지역의 연안수온 관측치 (2003년부터 2008년까지 5개년 동안 넓미역의 주성장기인 12월부터 다음해 5월까지의 누적치를 평균한 값, Table 1)를 근거로 하여 1일 평균 생육수온에서 성숙 유효 하한수온 (15°C)을 뺀 값을 누적시켜 구하였으며, 관계식은 Allen (1976)의 식을 응용하여 아래와 같이 구하였다.

$$Y_n = \sum_{i=1}^n (t_i - \theta)$$

[Y_n: 성숙 유효 적산온도, t_i: 생육수온, θ: 성숙 유효 하한수온 (15°C)]

Table 1. Calculation of degree-days for maturation of *Undariopsis peterseniana* at Udo, Jeju Island, Korea from December 2003 to May 2008

Periods (water temperature)	Degree days (°C-day)	Remark
1st Dec 2003 (15.0°C)~29th May 2004 (18.0°C)	228.6	
1st Dec 2004 (15.5°C)~30th May 2005 (18.9°C)	301.1	
3rd Dec 2005 (15.2°C)~31th May 2006 (18.1°C)	321.3	Developmental thresholds: 15°C
1st Dec 2006 (14.9°C)~31th May 2007 (18.1°C)	135.6	
3rd Dec 2007 (14.9°C)~29th May 2008 (18.1°C)	193.5	
Mean	236.0±76.6	

Table 2. Morphological data of *Undariopsis peterseniana* at Udo, Jeju Island, Korea

Month	Biomass (kg-fresh wt/m ²)	Density (ind./m ²)	Total length (cm)	Blade length (cm)	Width (cm)	Stipe length (cm)	Proportion of reproductive thallus (%)	Sorus area (cm ² /ind.)
J	-	7	1.4±1.1	1.3±1.1	0.7±0.5	0.2±0.1	-	-
F	0.007	118.7±23.1	2.7±0.5	2.4±0.4	1.0±0.1	0.3±0.1	-	-
M	0.2±0.1	134.4±77.6	18.8±2.5	15.1±1.9	5.1±0.7	3.6±0.5	-	-
A	1.1±0.2	95.0±4.5	55.9±7.0	44.7±5.9	9.2±0.9	11.2±1.7	-	-
M	13.3±1.2	92.0±17.2	146.8±64.5	130.6±62.8	18.7±6.8	16.3±6.2	13	36.5±11.7
J	7.0±0.7	41.3±12.2	168.1±35.7	152.0±35.7	23.7±2.2	16.1±0.6	65	515.2±245.5
J	3.3±1.1	40.0±4.5	109.8±18.8	96.8±17.4	17.8±2.4	13.5±1.3	79	377.1±51.9
A	1.1±0.1	34.7±2.3	64.0±5.4	48.2±5.3	10.2±0.5	15.8±0.2	100	286.2±61.2
S~N	-	-	-	-	-	-	-	-
D	-	-	0.6±0.4	0.5±0.3	0.3±0.1	0.1±0.1	-	-

결과 및 고찰

생태 및 환경적 특성

넓미역은 제주도 성산포 종달리와 우도 사이의 유속이 0.5-1.5 m/sec로 강한 수로에 주로 분포하고, 저질은 무절산호 조류가 직경 2-4 cm의 피를 형성하고 있었다. 분포 수심은 12-17 m 범위였으나, 넓미역이 가장 왕성하게 서식하는 곳의 수심은 14-16 m 범위였다. 조사지역에서 넓미역 개체군의 분포 면적은 약 228 ha로 추정되었다 (Fig. 1). 현재까지 알려진 넓미역의 분포지역은 우리나라의 경우 제주도 우도와 비양도, 가파도 (Kang, 1960, 1966; Lee and Koh, 1991) 및 청산도 (Lee et al., 1991)의 수심 15 m 이상인 지역으로 보고되었으나, 광범위하게 넓은 지역에 군집을 형성하는 곳은 제주도 우도 지역

이 유일한 것으로 파악되었다. 넓미역이 분포하거나 우점군집을 형성하는 서식지역은 수심이 깊고, 투명도가 높으며 외양역에 면해 조류의 흐름이 빠르며, 쿠로시오 난류의 영향이 강한 해역인 것으로 분석되었다.

넓미역 서식지의 환경조사 결과 표층수온은 14.0-29.0°C였으며, 수심 15 m의 저층수온은 13.7-26.0°C로 3월에 가장 낮고, 8월에 가장 높았다. 염분 농도는 31.6-34.3 ppt 범위였으며, 용존산소 농도는 5.4-7.6 mg/L 그리고 전기전도도는 40.8-48.5 ms 범위였다. 미역이나 다시마류의 분포 및 생물량은 일반적으로 수온에 따라 매우 다른 양상을 보이는 것으로 알려져 있다 (Kirihara et al., 2006). 즉, 22°C 또는 그 이상의 수온 조건에서 성숙하고 생물량도 증가하는 종류로는 미역과 곱피가 있으나 대부분의 다른 다시마류 (*Laminaria japonica*,

Kjellmaniella crassifolia, *Agarum cribrosum* f. *rugosum* 및 *Costaria costata*)는 20°C 이하의 수온 조건하에서 성숙된다 (Kiriha et al., 2006). 일본의 큐우슈우 북부지역의 연안에 서식하는 넓미역의 경우는 수온 25°C 이상인 조건에서 성숙하는 것으로 알려져 있다 (Migita, 1963). 본 조사결과 넓미역 성숙 엽체의 출현비율이 가장 높았던 시기는 8월로 표층수온은 29°C였으나, 넓미역이 분포하는 저층의 수온은 26°C로 Migita (1963)의 보고와 유사한 수온범위를 보였다.

우도 지역 넓미역 서식지의 저질은 홍조 산호조류인 *Lithophyllum* spp.가 피를 형성해 밀집하여 쌓여있는 독특한 상태이며 (Fig. 3), 넓미역은 이들 산호조류에 착생하여 서식하고 있다. 넓미역이 이들 산호조류에 부착하여 서식하는 기질 특이성과 같은 현상에 대해서는 알려진 바 없으나 이 지역의 저질이 주로 무절산호조류의 피로 덮여 있어 넓미역은 기질선택의 여지없이 저질의 기질을 이루고 있는 무절산호조류의 피에 부착 서식할 수밖에 없기 때문인 것으로 보였다. 그 근거로서는, 본 연구자들이 실시한 넓미역 인공 양식실험의 결과 (미발표 자료)에 의하면 넓미역 유주자가 양식 로프에도 성공적으로 부착하여 생육됨이 확인되었다. 이는 넓미역이 무절산호조류의 피와 같은 특정 기질에만 선택적으로 부착 생육할 수 있는 것이 아니라 넓미역 자연군락 서식지의 저질을 무절산호조류의 피와 같은 특정 기질이 우점하여 형성하고 있기 때문에 넓미역의 유주자들이 기질 선택의 여지없이 주로 산호조류에 착생하여 생육하고 있는 것으로 추론되었다.

또한 넓미역이 순군락을 이루어 분포하는 서식지의 해조상은 매우 단조로워 담배잎산말, 감태 그리고 몇몇 소형 홍조류들만이 출현하는 양상을 보였다. 즉, 넓미역 개체군의 서식군락에는 다른 대형갈조류의 서식이 거의 확인되지 않았다. 이와 같은 분포양상은 성장속도가 빠른 대형의 1년생인 넓미역 개체군이 서식지의 공간 및 수광 경쟁에서 성장속도가 느린 다년생인 감태 또는 모자반류, 소형의 홍조류들 보다 앞서고, 또한 서식지의 기질이 무절산호조류의 피들로 이루어져 감태 또는 모자반류와 같이 엽체가 크고 다육질인 해조류가 강한 파도나 강한 조류의 흐름에 견디어 낼 수 있도록 엽체를 견고히 부착시키는데 다소 부적합하기 때문인 것으로 판단되었다.

생장특성

넓미역의 단위면적당 현존량 (Table 2)은 2월부터 점차 증가하기 시작하여 5월에 13.3±1.2 kg/m²로 최대치를 보였고, 이후 점차 감소하여 9월에는 모든 엽체가 소실되었다. 단위면적당 엽체수 (Table 2)는 3월에 134.4±77.6 ind./m²로 가장 많았으며, 이후 점차 감소하였다.

넓미역의 전장 (Table 2, Fig. 4)은 수심 15 m의 저층수온이 15°C 이상으로 상승하기 시작하는 4월부터 빠른 신장이 이루어져, 저층수온이 18°C인 6월에 168.1±35.7 cm로 최대생장을 나타내었고, 저층수온이 19°C 이상으로 증가하면 엽체 소실이 일어나 급격하게 감소되는 경향을 보였다. 넓미역의 전장 크기별 빈도 분포 (Fig. 5)는 1월에 전장이 주로 25 cm 이하 그룹으로 출현하였으나, 엽체의 길이 생장이 급격하게 이루어지는 5월과 6월에는 전장 25-50 cm 그룹부터 전장 250-275 cm 그룹

까지 고른 출현비율을 나타내었다. 8월 이후에는 선단부터 녹아나가기 시작하여 다시 전장 100 cm 이하의 그룹만 출현하는 1년생 해조류의 전형적인 패턴을 보였다.

Lee (1998)는 넓미역의 성숙엽체 출현 시기를 7월로 보고하였으나 본 연구결과 성숙 엽체는 5월부터 관찰되기 시작하였고, 성숙엽체의 출현비율은 5월 (저층수온 17.0°C) 이후 8월 (저층수온 26.0°C)까지 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 성숙 엽체의 자낭반 형성 면적은 저층수온이 18.0°C인 6월에 515.2±245.5 cm²/ind.로 최대값을 보였으며 (Table 2), 이후에는 점차 유주자의 방출 및 수온 상승에 따른 엽체의 소실 때문에 감소하여 9월에 엽체의 대부분이 거의 소실되는 경향을 보였다. 이와 같이 넓미역의 성숙시기가 빨라진 것은 해조류의 성숙에 직간접적인 영향을 미치는 요소 중의 하나인 수온변화를 고려해 볼 수 있다. 실제로 제주도 연안의 최근 10년간 연평균수온은 18.1°C (KHOA, 1997-2006)였던 것이 2007년에 19.1°C로 1.0°C가 상승되었고, 특히 12월부터 3월까지의 겨울철 수온은 최근 10년간 평균수온보다 무려 1.8°C나 높아진 것으로 분석되었다. 해조류의 경우 생장이나 성숙과 같은 특정 종의 발달 단계를 위해 요구되는 누적온도의 총합은 항상 일정하며 온도와 시간의 조합에 따라 같은 양으로 나타나게 된다 (Baskerville and Emin, 1969; Allen, 1976). 넓미역의 경우 야외 개체군 조사에서 생물학적 영점온도는 15°C로 추정되었으며 (Table 1), 성숙유효 적산온도 약 236°C·day가 경과되면 자연 상태에서 넓미역 엽체가 자낭반을 형성하는 것으로 추정되었다. 이는 Hwang et al. (2003)이 옥덩굴 (*Caulerpa okamurae*) 개체군의 성숙유효 적산온도가 약 270 degree-days로 보고한 것에 비교하면 상대적으로 비교적 짧은 시간으로 이와 같은 차이는 해조류 종별 생리생태학적 특이성에서 기인된 것으로 보인다. 본 넓미역의 생태학적 연구 결과는 지구온난화에 따른 지속적인 연근해 수온상승이 연안에 서식하는 해조류의 시계열성에 직간접적인 영향을 미치고 있다는 것을 의미한다.

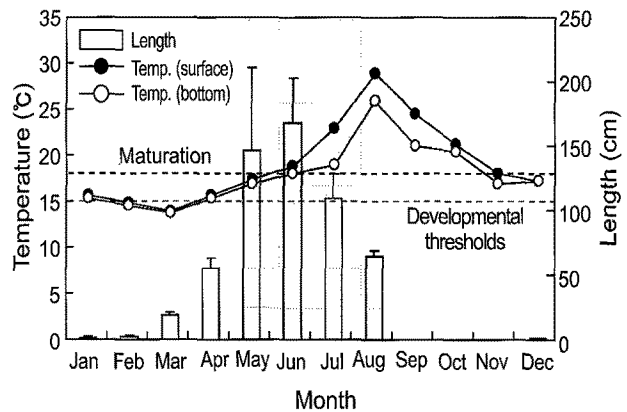


Fig. 4. Relation between seawater temperature and total length of *Undariopsis peterseniana* at the natural habitat at Udo, Jeju Island, Korea. Vertical bar represents standard deviation. Shaded area indicates maturation period in the habitat. Note the developmental thresholds and maturation temperature.

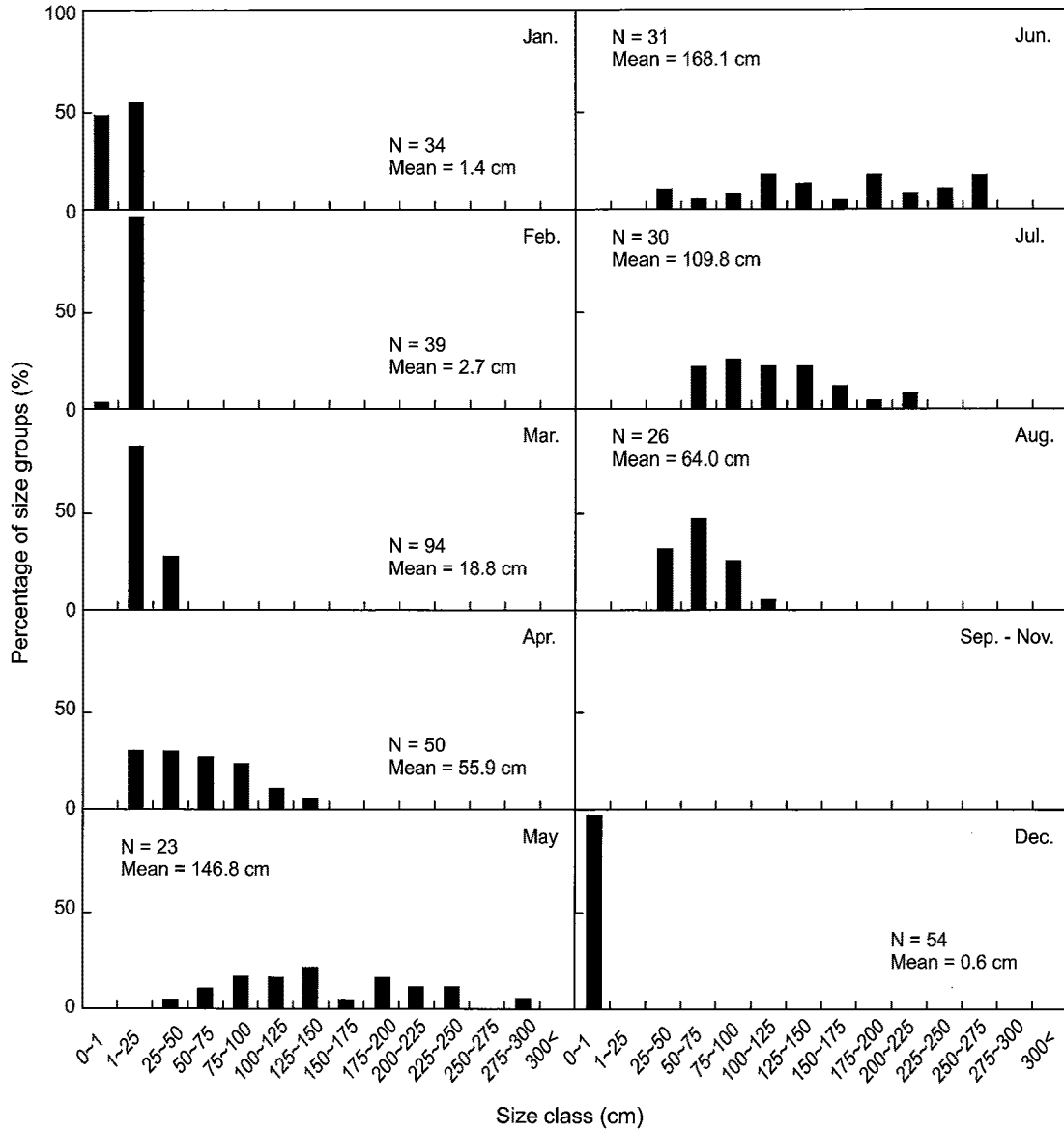


Fig. 5. Fluctuation of the size class groups of *Undariopsis peterseniana* from January to December 2007 at Udo, Jeju Island, Korea.

이 논문에서는, 제주도 우도해역의 제한된 지역에 서식하고 있는 보호대상 해조류인 넓미역의 성장과 성숙주기를 밝힘으로써 넓미역 자연자원의 보호와 효율적인 이용을 위한 필수적인 자료를 제공하고자 하였으며, 남방계 미역 품종인 넓미역의 생리생태학적 특성을 이용하여 현재의 미역 양식기간 연장을 위한 품종개량 연구에도 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 농림수산식품부의 수산특정연구과제 “제주도 특산 해조류 넓미역의 대량양식기술개발 (F20815408H22 0000100)” 및 국립수산물품질관리원 (RP-AQ-2009-053)의 연구비 지

원에 의하여 수행되었습니다. 잠수조사에 도움을 준 첼린저 조운찬 님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Allen JC. 1976. A modified sine wave method for calculating degree-days. *Environ Entomol* 5, 388-396.
- Baskerville GL and Emin P. 1969. Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. *Ecology* 50, 514-517.
- Hwang EK, Park CS, Han JW, Shin WJ, Choi CG

- and Sohn CH. 2003. Growth and maturation of a green alga, *Caulerpa okamurae* Weber van Bosse. *Algae* 18, 217-223.
- Kang JW. 1960. The summer algal flora of Cheju Island (Quelpart Island). *Bull Pusan Fish Coll* 1, 17-23.
- Kang JW. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. *Bull Pusan Fish Coll* 7, 1-125.
- Kang JW. 1968. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea. Vol 8 Marine algae. Samwha Publ 152-153.
- Kawashima S. 1989. Nihon-san konbu zukan. Kitanihon Kaiyo Center, Sapporo, Japan, 153-155, 200-207.
- KHOA. 1997-2006. Seawater temperature statistics. <http://www.khoa.go.kr>. down loaded 12 August 2009.
- Kirihara S, Nakamura T, Kon N, Fujita D and Notoya M. 2006. Recent fluctuations in distribution and biomass of cold and warm temperature species of Laminariales algae at Cape Ohma, northern Honshu, Japan *J Appl Phycol* 18, 521-527.
- Lee IK, Choi DS, Oh YS, Kim GH, Lee JW, Kim KY and Yoo JS. 1991. Marine algal flora and community structure of Chongsando Island on the south sea of Korea. *Korean J Phycol* 6, 131-143.
- Lee KW and Koh SJ. 1991. Algal flora of four islets without inhabitants along the coast of Cheju Island. *Rep Sci Res, Four inhabited islets in the vicinity of Cheju Island*. Cheju MBC, 235-269.
- Lee YP. 1998. *Undariella*, a new genus of the Alariaceae (Laminariales, Phaeophyta). *Algae* 13, 419-426.
- Lee YP and Kang SY. 2002. A Catalogue of the Seaweeds in Korea. Cheju National Univ Press, 1-662.
- Migita S. 1963. Studies on ecology and culture of *Undaria peterseniana*. *Bull Fac Fish Nagasaki Univ* 15, 24-48.
- Saito Y. 1972. On the effects of environmental factors on morphological characteristics of *Undaria pinnatifida* and the breeding of hybrids in the genus *Undaria*. In: Contributions to the systematics of benthic marine algae of the North Pacific. Abbott IA and Kurogi M eds. *Jpn Soc Phycol* 117-132.
- Sohn CH. 1993. *Porphyra*, *Undaria* and *Hizikia* cultivation in Korea. *Korean J Phycol* 8, 207-216.

2009년 8월 19일 접수
 2009년 10월 5일 수정
 2010년 2월 4일 수리