

제주도 유용 해조류 갈래곰보(*Meristotheca papulosa*) 야외개체군의 생장과 성숙

김보연 · 최한길¹ · 고준철*

국립수산과학원 제주수산연구소, ¹원광대학교 생명과학부/씨앤바이오테크

Growth and Maturation of Natural Population of *Meristotheca papulosa* in Jeju Island

Bo Yeon Kim, Han Gil Choi¹ and Jun-Cheol Ko*

Jeju Fisheries Research Institute, NFIS, Jeju 63068, Korea

¹Faculty of Biological Science and Sea & Biotech, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

The growth and maturation pattern of a commercial and endemic red algae *Meristotheca papulosa* were investigated in Jeju Island. Ecological researches were performed in a natural population of 10 m water depth in Sinheung from March 2014 to November 2015. Maximal blade length and weight of *M. papulosa* were 8.7 cm and 5.49 g in July 2014 and 10.7 cm and 10.17 g in September 2015, respectively. Growth in blade area of the species reached a maximum of 43.84 cm² and 67.41 cm² in July 2014 and 2015, respectively. Thalli in the field population were rarely observed from October to December but new recruits were found from January, following year. Carposporophytes were observed from June to September when bottom seawater temperatures were around 20°C. At the study site, seawater temperature was in the range of 14.9-25.7°C. Growth parameters of *M. papulosa* and relative abundance of carposporophytes showed significant correlation with environmental factors (temperature, salinity, DIN). In this result, we clarified the growth and maturation period of *M. papulosa*, and provided effective data on the protection and management of natural populations and basic data for mass culture of the alga.

Key words: *Meristotheca papulosa*, Natural population, Growth, Maturation, Phenology

서론

홍조류 갈래곰보(*Meristotheca*) 속(genus)의 해조류는 전세계적으로 13종이 분포하며(Guiry and Guiry, 2018), 우리나라 연안에서는 2종(*Meristotheca papulosa*, *Meristotheca coacta*)이 서식하는 것으로 알려져 있다(Lee and Kang, 2002). 그 중 갈래곰보(*Meristotheca papulosa* J. Agardh)는 일본의 남부 태평양연안, 대만, 필리핀, 폴리네시아, 인도양까지 넓게 분포하며, 수심 5-30 m 범위에서 주로 분포하고 있다(Lewis and Norris, 1987; Silva et al., 1987; Yoshida, 1998; Faye et al., 2005; Tsuda and Walsh, 2013). 우리나라에서 갈래곰보는 최저 수온이 12-13°C 이상을 유지하는 제주 남부 해역에서만 서식하는 지역종(endemic species)이며(Kim et al., 2016), 이들의 생장적온은 20-24°C로서, 상대적으로 고온에서 성장하는 아열대성

해조류이다(Lideman et al., 2011; Guiry and Guiry, 2018).

갈래곰보는 식감이 우수하여 샐러드로 이용되고, 일본과 중국에서도 고급해산물 요리에 사용되고 있으며(Xia and Abbott, 1987; Shinmura and Tanaka, 2008), 고지혈증의 개선에 효과가 있을 것이라고 보고되어(Park et al., 2001) 식품학적으로도 활용 가치가 높다. 우리나라에서는 제주 연안에서 갈래곰보가 서식한다는 것이 1960년에 최초로 기록되었으며(Kang, 1960), 1985년부터 자연 개체군에서 해녀들에 의해 본격적으로 채취되기 시작하였다. 제주도 해양수산현황(Marine Fisheries Status, 2018)에 따르면, 갈래곰보의 연생산량(생산금액)은 1990년에 161톤(6억원)으로 최대였고 이후 점차 감소하여 2004년에 11톤(2,300만원)으로 최저였으며, 2007년 이후에는 생산량에 대한 기록을 찾을 수 없을 정도로 자연 개체군이 감소하였

*Corresponding author: Tel: +82. 64. 750. 4375 Fax: +82. 64. 743. 5883

E-mail address: kjc3410@korea.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0059>

Korean J Fish Aquat Sci 52(1), 59-66, February 2019

Received 2 October 2018; Revised 9 November 2018; Accepted 24 December 2018

저자 직위: 김보연(인턴연구원), 최한길(교수), 고준철(연구원)

다. 이러한 갈래곰보의 남획 이유는 시장가격(1985-2013년)이 평균 3,030원/kg으로 제주도에서 생산되는 다른 해조류(돛, 1,734원/kg; 우뚝가사리, 1,981원/kg)에 비해 높고, 일본에 수출하는 가격은 염장 상태로 13,000원/kg으로서 돛(9500원/kg)에 비해 매우 높기 때문이었다. 이처럼, 우리나라에서 갈래곰보는 제주해역에서만 서식하는 지역종이며 남획으로 인하여 개체군이 현저하게 감소하여 자연상태에서의 보호가 필요한 종으로서 개체군 복원 및 어업인의 소득증대를 위하여 갈래곰보의 개체군 변동에 대한 연구와 향후 양식에 대한 연구가 절실하게 필요한 실정이다.

식용종인 갈래곰보에 대한 연구는 일본에서 주로 이루어졌으며, 갈래곰보 포자의 방출과 초기생장(Shinmura, 1974a), 계절별 성장과 포자 방출 시기(Shinmura, 1974b)에 관한 연구를 시작으로, 야외개체군 생태 연구(Serisawa et al., 2000), 해양심층수를 이용한 수조 배양(Ohno et al., 2001), 생식구조(Faye et al., 2005), 성장 및 광합성(Lideman et al., 2011; Lideman et al., 2012) 등 다양한 연구가 수행되었다. 우리나라에서는 갈래곰보의 원형질체 분리에 관한 연구(Chung et al., 1999)와 추출물에 대한 생리활성 효능에 관한 연구가 수행되었다(Park et al., 2001). 하지만, 경제성 높은 지역 특산종인 갈래곰보의 자연개체군에 대한 생태·생리학적 연구 자료는 1995-1997년에 국립수산진흥원에서 수행한 유용해조류(홀파래, 돛, 갈래곰보) 양식기술개발의 보고서 자료가 전부이고 학회지에 게재된 논문은 한 편도 없는 실정이다. 해조류는 서식 환경에 따라 성장 및 성숙시기가 다르고 나아가 개체군의 감소와 성장에 대한 영향을 많이 받으므로, 우리나라 제주도에 서식하는 갈래곰보 개체군에 대한 계절별 성장과 성숙에 대한 생물학적 기초 연구가 수행되어야 할 것이다.

갈래곰보와 같은 경제종 양식과 개체군 복원을 위해서는 채묘 및 종묘 관리가 필수적인데, 이를 위해서 야외개체군의 성장 및 성숙 시기에 대한 정보가 필요하며, 양식 및 복원 해역의 환경을 파악하기 위해서는 자연 서식처의 환경에 대한 자료가 필요하다. 따라서 본 연구는 다양한 환경요인들과의 통합 분석을 통해 제주도산 갈래곰보 야외개체군의 최적 성장 및 성숙시기를 파악하여 채묘를 위한 포자확보 시기와 양식에 적절한 환경 및 양식시기에 대한 정보를 제공하기 위한 목적으로 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구를 수행하기 위해 해양환경조사와 갈래곰보의 채집은 제주 남동부에 위치한 신흥(33°17'N, 126°46'E) 해역의 조하대 수심 10 m에서 2014년 3월부터 2015년 11월까지 매월 SCUBA Diving에 의해 실시되었다(Fig. 1).

갈래곰보 서식처 환경 조사

본 연구 해역의 저층 수온은 자동온도측정장치(HOBO U24-002-C, Onset, USA)를 수심 10 m에 설치하여 1시간 마다 측정

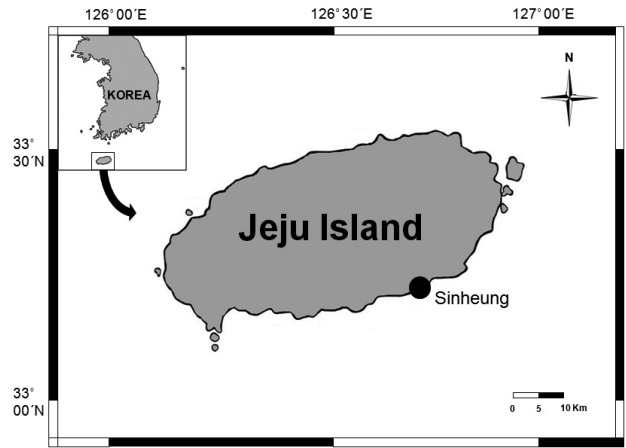


Fig. 1. A map of sampling sites in Jeju Island, Korea.

하였고, 염분 측정은 YSI (6600-V2, YSI Incorporated, USA)를 이용하였다. 해수 시료는 Niskin 채수기를 이용하여 채수 후 4°C를 유지하면서 실험실로 운반한 후에 분석하였다. 암모니아 질소($\text{NH}_4^+\text{-N}$), 아질산 질소($\text{NO}_2^-\text{-N}$), 질산 질소($\text{NO}_3^-\text{-N}$), 인산 인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)은 각각 indophenol method, NED method, cadmium reduction method, ascorbic acid method로 분석하였으며 (MLTMA, 2010), 규산 규소[$\text{Si}(\text{OH})_4\text{-Si}$]는 molybdenum blue method로 spectrophotometer (UVIKONxs, SCOMAM)를 이용하여 정량화하였다. 용존무기질소(dissolved inorganic nitrogen, DIN)는 암모니아와 아질산 및 질산 질소의 합으로 나타났다. 부유물질(suspended solid, SS)은 해수시료 2 L를 GF/F 여과지로 여과하고 110°C에서 건조한 후 전자저울(CP124S, Sartorius, Germany)로 무게를 측정하였다. Chl a는 해수시료 1 L를 GF/F 여과지로 여과한 후, 90% 아세톤 용액 10 mL를 첨가하여 엽록소를 추출한 다음 원심분리기로 분리된 상등액을 spectrophotometer (UVIKONxs, SCOMAM)를 이용하여 측정하였다(Parsons et al., 1984).

갈래곰보 채집 및 분석

본 연구 해역의 수심 10 m에서 서식하는 갈래곰보를 부착기와 엽체가 손상되지 않도록 끝갈을 이용하여 매일 30개체 이상 무작위로 채집한 후 실험실로 운반하였다. 갈래곰보의 생식상태를 근거로 영양체(vegetative), 사분포자체(tetrasporophyte)와 과포자체(carposporophyte)를 구분하였고(Fig. 2), 개체별 엽장, 엽중량 및 엽면적을 측정하였다. 개체별 엽장(blade length, cm)은 부착기에서 정단부까지를 vernier calipers로 측정하였고, 엽중량(blade weight, g wet weight)은 엽체 표면의 수분을 종이타월로 제거한 후 0.01 g 단위까지 전자저울로 측정하였다. 갈래곰보 엽체의 면적(blade area, cm^2)은 사진을 촬영한 후 image J 프로그램(1.40s, National Institute of Health, Bethesda, USA)으로 측정하였다. 또한, 갈래곰보 야외개체군

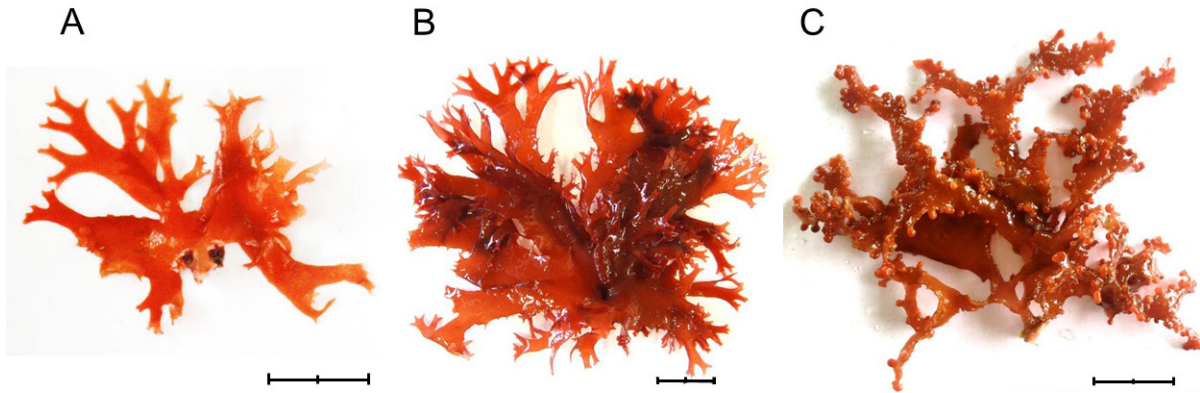


Fig. 2. Fronds of *Meristotheca papulosa*. A, vegetative; B, tetrasporophyte; C, carposporophyte. Scale bars, 2 cm.

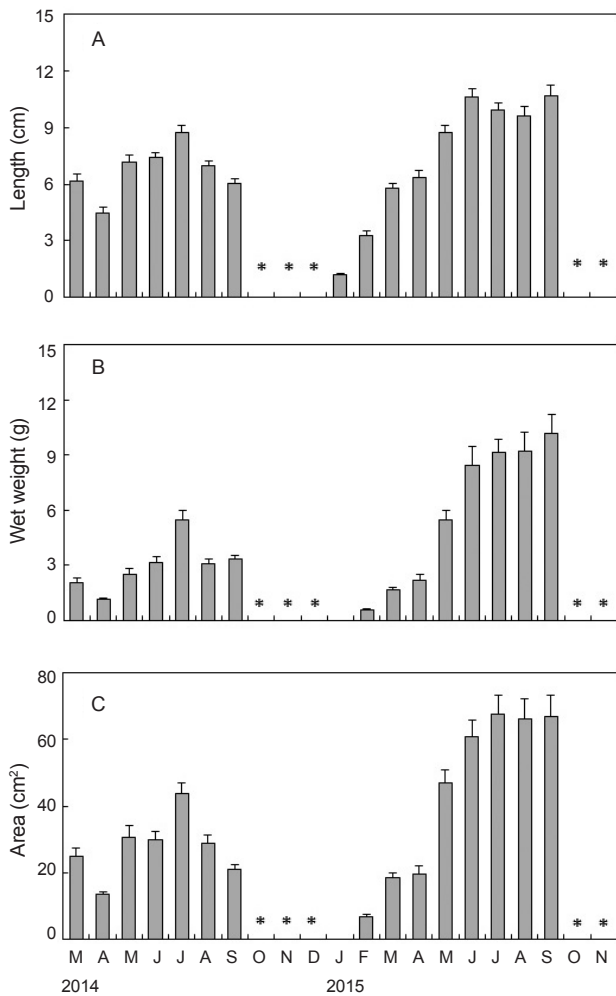


Fig. 3. Monthly variations in average blade length (A), wet weight (B), and area (C) of *Meristotheca papulosa* at Sinheung site, Jeju Island, from 2014 to 2015. Vertical bars represent standard errors ($n = 30$ thalli). *, no observation.

의 성장과 성숙에 영향을 미치는 환경요인과의 관계를 알아보기 위해 상관분석(pearson correlation)을 실시하였으며, 분석에는 SPSS (Ver 23.0, IBM, USA)와 microsoft Excel 2010을 이용하였다.

결 과

성장 및 성숙

갈래곰보의 엽장(cm)은 평균 7.1 ± 0.7 cm (mean \pm SE)였으며, 2014년에는 6.7 ± 0.5 cm, 2015년에는 7.4 ± 1.1 cm로 2015년에 다소 증가하였다. 월별 엽장을 보면, 2014년에는 4.5-8.7 cm로 7월에 최대였고, 2015년에는 1.2-10.7 cm로 9월에 최대로 성장하였다(Fig. 3A). 갈래곰보의 개체별 엽중량(g wet weight)은 평균 4.51 ± 0.84 g (mean \pm SE)였으며, 2014년에는 2.97 ± 0.51 g, 2015년에는 5.86 ± 1.38 g로 2015년에 증가한 것을 확인하였다. 월별 엽중량을 보면, 2014년에는 1.13-5.49 g으로 7월에 최대였으며, 2015년에는 0.55-10.17 g으로 9월에 최대생장을 보였다(Fig. 3B). 갈래곰보 엽체의 면적(cm²)은 평균 36.37 ± 5.35 cm² (mean \pm SE)였고, 2014년에는 27.55 ± 3.54 cm², 2015년에는 44.09 ± 8.93 cm²로 2015년에 증가하였다. 월별 엽면적을 보면, 2014년에는 13.63-43.84 cm²로 엽장, 엽중량과 마찬가지로 7월에 최대를 보였으며, 2015년에는 6.89-67.41 cm²로 7월에 최대였다(Fig. 3C). 갈래곰보의 엽장, 엽중량과 엽면적을 근거로 한 생장기는, 늦봄부터 여름(5-9월)이었으며, 가을(10월)에 모두 사라졌다가 겨울(1월)에 다시 나타나는 전형적인 일년생 해조류의 계절적 특성을 보였다.

생식기관인 사분포자낭과 과포자낭을 가진 갈래곰보는 5월(2014년)과 4월(2015년)에 관찰되기 시작하였다(Fig. 4). 2014년에 사분포자체는 5-9월에 나타났으며, 7월에 53.33%로 최대였고, 과포자체는 6-9월까지 발견되었으며, 9월에 83.33%로 최대였다. 미성숙한 영양체는 3-6월까지 나타났으며, 7월 이후에는 모든 개체가 성숙된 것으로 확인되었다(Fig. 4A). 2015년에

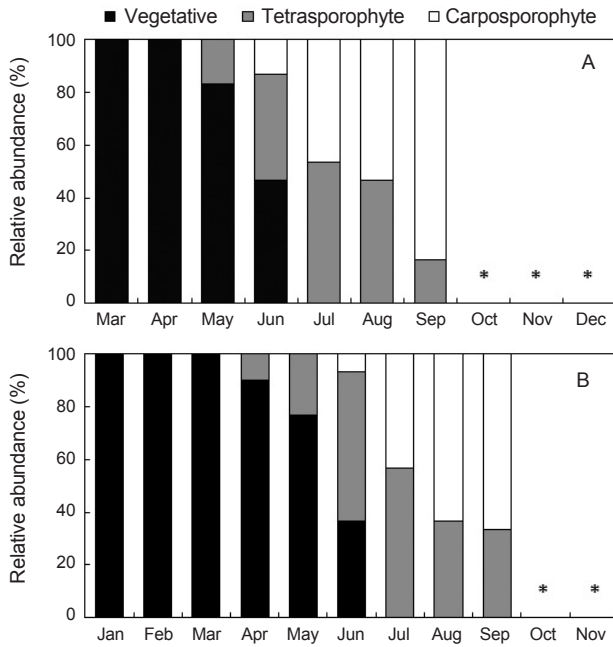


Fig. 4. Monthly variations in relative abundance of vegetative, tetrasporophyte and carposporophyte of *Meristotheca papulosa* at Sinheung site in Jeju Island, from 2014 (A) to 2015 (B). *, no observation.

는 사분포자체가 4-9월까지 출현하였으며, 6-7월에 56.67%로 최대였고, 과포자체는 6-9월까지 출현하였으며, 9월에 66.67%로 최대였다. 영양체는 1월부터 6월까지 출현하였으며, 7월 이후에는 모든 개체가 성숙하였다(Fig. 4B). 갈래곰보 성숙 개체(사분포자체, 과포자체)의 출현 비율로 볼 때 성숙 시기는 6-9월로 확인되었다.

서식처 환경

본 연구해역의 저층 수온(seawater temperature)은 $19.9 \pm 3.67^\circ\text{C}$ (mean \pm SD)였으며, 연도별로는 2014년에 $19.3 \pm 3.55^\circ\text{C}$, 2015년에 $20.6 \pm 3.67^\circ\text{C}$ 로 2015년의 수온이 1°C 이상 높은 것으로 확인되었다(Fig. 5). 수온의 월별 변화는 2014년에 $14.9\text{--}25.4^\circ\text{C}$ 로 2월에 최소, 9월에 최대였고, 2015년에는 3월에 평균 15.3°C 로 최소, 9월에 25.7°C 로 가장 높았다. 연평균 저층 염분(salinity)은 33.5 ± 0.23 psu (mean \pm SE)이었고, 연도별로는 2014년에 33.6 ± 0.34 psu, 2015년에 33.3 ± 0.32 psu로 2015년에 다소 낮게 나타났다(Table 1). 염분의 월별 변화는 2014년에 $31.8\text{--}35.0$ psu로 9월에 최소, 4월에 최대였고, 2015년에는 $31.8\text{--}34.7$ psu로 9월에 가장 낮았고, 2월에 가장 높았다.

연구기간 동안 용존무기질소(dissolved inorganic nitrogen, DIN)의 농도는 연평균 0.085 ± 0.008 mg/L (mean \pm SE)이었고, 연도별로는 2014년에 0.062 ± 0.009 mg/L, 2015년에 0.106 ± 0.010 mg/L로 2015년에 증가한 것을 확인하였다

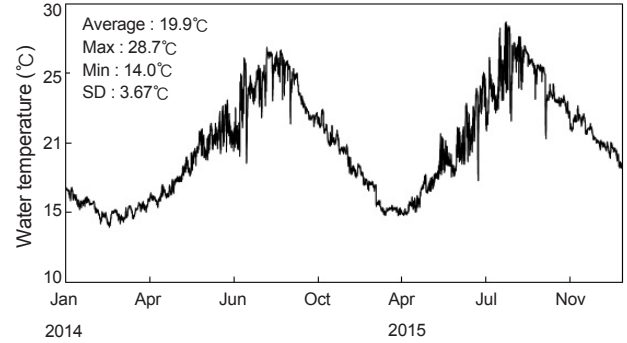


Fig. 5. Variations of seawater temperature (10 m in depth) of Sinheung site in Jeju Island from 2014 to 2015. SD, standard deviation.

(Table 1). 월별로는 2014년에 0.037-0.118 mg/L로 11월에 최소, 8월에 최대였으며, 2015년에는 0.061-0.154 mg/L로 5월에 최소, 11월에 최대로 나타났다. 용존무기인(dissolved inorganic phosphorus, DIP)의 연평균 농도는 0.004 ± 0.001 mg/L (mean \pm SE)이었고, 연도별로 큰 차이를 보이지 않았으며, 월별로는 2014년 8월에 0.013 mg/L의 농도를 보이며 최대값을 보였다. 규산규소(silicon dioxide, SiO_2)는 0.183 (2014년)-0.193 (2015년) mg/L (평균 0.188 ± 0.021 mg/L)로 2015년에 다소 증가하였으며, 월별로는 2014년에 0.076 (11월)-0.258 (8월) mg/L, 2015년에는 0.059 (9월)-0.373 (5월) mg/L의 범위로 나타났다. 부유물질(suspended solid, SS)의 경우 연평균 2.85 ± 0.34 mg/L이었고, 연도별로는 2014년에 3.42 ± 0.50 mg/L, 2015년에 2.33 ± 0.42 mg/L로 2015년에 감소하였다. 월별로는 2014년에 1.80-5.80 mg/L의 범위로 4월과 5월에 최소, 11월에 최대를 보였으며, 2015년에는 0.65-4.38 mg/L로 3월에 최소, 11월에 최대였다. Chlorophyll a의 경우 연평균 농도는 2.32 ± 0.17 $\mu\text{g/L}$ 였으며, 연도별로는 2014년에 2.88 ± 0.21 $\mu\text{g/L}$, 2015년에 1.82 ± 0.11 $\mu\text{g/L}$ 로 2015년에 감소한 것을 확인하였다. 월별로는 2014년에 2.06-3.71 $\mu\text{g/L}$ 로 4월에 최소, 11월에 최대였으며, 2015년에는 1.26-2.40 $\mu\text{g/L}$ 으로 2월에 가장 낮고, 7월에 가장 높은 값을 보였다.

환경요인과의 상관관계

갈래곰보 서식처의 해양환경요인과 갈래곰보 야외개체군의 월별 엽장, 엽중량, 엽면적 및 과포자체의 출현비율의 상관관계를 분석한 결과는 Table 2와 같다. 서식처의 수온은 갈래곰보의 엽중량, 엽면적 및 과포자체의 비율과 양의 상관관계를 나타냈으며, 이 중 엽중량($r=0.65$), 과포자체의 비율($r=0.83$)과 높은 상관관계를 보였다(Table 2). 염분은 수온과 음의 상관관계($r=-0.79$)를 보였으며, 갈래곰보 개체군의 생태학적 특성값도 음의 상관관계를 나타냈다. 영양염류 중에서는 용존무기질소(DIN)가 갈래곰보의 엽장($r=0.53$), 엽중량($r=0.56$), 엽면적($r=0.50$),

과포자체의 비율($r=0.50$)과 양의 상관관계를 보였으며, 그 상관계수의 값은 낮았으나 유의성을 나타내는 것($P<0.05$)을 확인하였다.

고찰

해조류의 성장과 성숙은 수온, 광 등 다양한 환경요인의 영향을 받는 것으로 알려져 있으며(Lüning, 1990; Pizarro and Santelices, 1993; Agrawal, 2012), 동일종이라도 서식처 환경에 따라 생물계절적 차이를 보였다(Kain and Norton, 1990). 본 연구에서 제주도 신흥해역의 조하대에 서식하는 갈래곰보의 생장은 7-9월에 최대였으며, 2015년 9월에 엽장(10.7 cm), 엽중량(10.17 g)과 엽면적(66.80 cm²)은 최대였다. 국립수산진흥원의 1997년 보고서에서도 제주도 남부해역에 서식하는 갈래곰보 야외개체군에서 개체별 평균 엽장은 12.9 cm이고 습중량은 9.3 g으로 9월에 최대생장을 보인다고 기록하여 본 연구의 결과와 유사한 패턴을 보였다(NFRD, 1997). 한편, 일본 Tosa만의 갈래곰보 개체군에서 엽장은 7월(20.5 cm), 생물량은 5월(2.1 kg/m²)에 최대를 보였는데(Serisawa et al., 2000), 갈래곰보의 최대 성장시기가 일본에 비해 제주도 개체군이 더 늦은 것을 알 수 있었다. 이는 일본의 Tosa만(15.7-27.3°C)이 제주 신흥해역

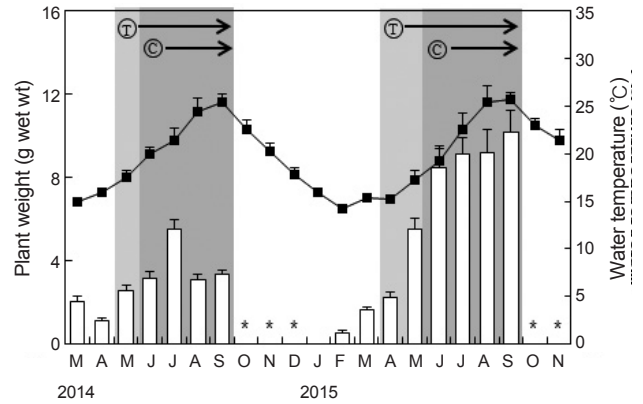


Fig. 6. Monthly variations blade weight of *Meristotheca papulosa* and seawater temperature at Sinheung site in Jeju Island, from 2014 to 2015. The shade represents the period of appearance of the tetrasporophyte (T) and carposporophyte (C). *, no observation.

(14.9-25.4°C)에 비해 수온이 높기 때문이며, 제주산과 일본산 갈래곰보 모두 성장기의 수온은 21-25°C로 유사하였다. 일본의 Tosa 만은 쿠로시오 난류의 본류가 연안에 직접적으로 영향을

Table 1. Monthly variations of physical and chemical values observed in the bottom water (10 m in depth) at Sinheung site in Jeju Island, from 2014 to 2015

	Sal (psu)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	SS (mg/L)	Chl a (µg/L)		
2014	Mar	34.3	0.056	0.002	0.120	3.40	2.65	
	Apr	35.0	0.044	0.001	0.086	1.80	2.06	
	May	34.6	0.043	0.005	0.219	1.80	2.32	
	Jun	33.6	0.043	0.001	0.223	4.80	2.44	
	Jul	32.8	0.086	0.001	0.230	4.00	3.37	
	Aug	33.9	0.118	0.013	0.258	2.20	3.64	
	Sep	31.8	0.077	0.003	0.244	4.80	2.43	
	Oct	32.8	0.059	0.002	0.193	2.20	3.31	
	Nov	33.8	0.037	0.010	0.076	5.80	3.71	
	2015	Feb	34.7	0.090	0.001	0.259	1.90	1.26
		Mar	34.1	0.065	0.001	0.243	0.65	1.80
Apr		33.9	0.127	0.002	0.361	1.08	1.39	
May		32.8	0.061	0.001	0.373	0.85	1.78	
Jun		32.4	0.111	0.005	0.141	4.27	1.95	
Jul		32.4	0.083	0.002	0.072	2.71	2.40	
Aug		32.7	0.108	0.005	0.169	2.95	1.60	
Sep		31.8	0.123	0.002	0.059	2.80	1.96	
Oct		33.7	0.136	0.004	0.148	1.75	2.09	
Nov		34.5	0.154	0.005	0.104	4.38	1.98	

Sal, Salinity (psu); DIN, Dissolved inorganic nitrogen (mg/L); DIP, Dissolved inorganic phosphorus (mg/L); SiO₂, Silicon dioxide (mg/L); SS, Suspended solid (mg/L); Chl a, Chlorophyll a (µg/L).

미치는 해역으로 수온이 상승하는 시기가 빠르고, 그 지속기간도 길어 제주 연안보다 수온이 높은 것으로 사료된다. 또한, 다양한 온도(16, 20, 24, 28, 32℃)에서 실시된 갈래곰보의 성장실험에서 적수온은 24℃였고, 이보다 높은 수온에서는 성장과 광합성이 급감하였는데(Lideman et al., 2011), 이는 갈래곰보 야외개체군의 성장기 수온과 일치하였다.

본 연구에서 제주산 일년생 갈래곰보의 계절별 성장과 성숙은 밀접하게 관련되어 있었는데, 과포자체는 서식지 수온이 19.3-20.0℃인 6월에 최초로 관찰된 후 9월까지 출현 비율이 지속적으로 증가하였으나(Fig. 6), 일본 개체군에서 과포자체는 4월(20℃)부터 7월까지 출현한다고 기록되어 성장과 성숙은 일본 개체군이 약 2개월 빠른 것으로 나타났다(Serisawa et al., 2000). 또한, 본 연구에서 갈래곰보는 과포자체 비율이 최대인 9월 이후 포자를 방출한 후 소멸되었으며, 3-4개월이 경과한 1월 중순경에 새롭게 가입(recruits)된 개체(엽장 1 cm 이하)가 관찰되었고 수온이 상승하는 5월에 빠른 성장을 보이다가 9월에 최대 성장을 기록하였다. 일본산 갈래곰보는 수온상승이 일어나는 3월부터 생물량이 급증하였으며, 7월에 최대생장과 성숙을 기록한 후 소멸하였다가 11월에 다시 출현한다고 하였는데(Serisawa et al., 2000), 이는 일년생 갈래곰보는 최대 성장과 성숙이 일어나 포자를 방출하는 패턴을 보였으나 서식지 환경에 따라 성장 및 성숙시기에 차이가 있음을 확인하였다. 특히, 갈래곰보는 수온상승과 함께 빠른 성장을 보이다가 수온이 20℃ 이상인 시기에 성장이 최대에 도달하고 성숙이 일어나기 시작하는 것으로 사료된다. 또한, 성숙한 갈래곰보 엽체는 수온이 상승하면서 포자를 방출하고 이로 인해 끝녹음이 진행되면서 엽체가 소실된 것으로 분석된다. 이처럼 서식지 수온은 갈래곰보 야외개체군의 성장 및 성숙을 결정짓는 중요한 환경요인으로 확

인되었는데, 본 연구에서 수온과 갈래곰보의 엽중량 및 과포자체 비율이 각기 양의 상관관계(각각 $r=0.65$, $r=0.83$)를 나타낸 것도 수온의 중요성을 뒷받침한다. 수온이 해조류의 성장 및 성숙에 중요한 환경요인이라는 것은 *Kappaphycus alvarezii*의 성장(Muñoz et al., 2004), 꼬시래기과(*Gracilaria* spp.)의 8종의 성장(Raikar et al., 2001)에서도 확인되었다.

이외에도 용존무기질소(DIN)가 갈래곰보의 성장에 영향을 주는 환경요인으로 확인되었는데, 이는 해조류가 해수에 용존하는 무기영양염류를 흡수하여 성장 및 생존에 필요한 에너지로 사용(Lobban and Harrison, 1994)하기 때문인 것으로 판단된다. 더 나아가 제주 연안의 영양염류 농도는 용천수, 육상양식장 배출수, 양자강 유출수, 강우시 흘러 들어오는 하천수 등 다양한 요인에 의해 영향을 받으므로(Koh et al., 2013), 해조류의 생육과 영양염류의 상관관계는 복합적인 분석이 필요할 것으로 생각된다.

결론적으로 본 연구는 갈래곰보의 성장과 성숙은 수온의 변화와 밀접한 관련이 있는 것으로 확인되었으며, 이외에도 염분, 영양염 농도와도 관련이 있음을 확인하였다. 갈래곰보의 성장 및 성숙 시기는 일본 개체군이 제주 개체군에 비해 약 2개월 빠른 것으로 비교되어 동일종일지라도 서식지 수온과 다른 환경요인에 따라 성장 및 성숙 시기가 변화한다는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 경제종으로 중요하면서도 자연개체군이 감소하는 갈래곰보의 성장 및 성숙시기를 명확히 밝힘으로써 효율적인 자연 개체군의 보호 및 관리(채취 금지 기간 등)와 채묘 및 종묘 관리를 통한 대량 양식을 위한 기초 자료가 확보되었고 할 수 있다.

Table 2. Pearson correlation coefficient between environmental factors and biological parameters of *Meristotheca papulosa* at Sinheung site in Jeju Island, from 2014 to 2015

	Tem	Sal	DIN	DIP	SiO ₂	SS	Chl <i>a</i>	BL	BW	BA	RAC
Tem											
Sal	-0.79**										
DIN	-	-									
DIP	-	-	-								
SiO ₂	-	-	-	-							
SS	-	-	-	-	-						
Chl <i>a</i>	-	-	-	0.55*	-	0.49*					
BL	-	-0.56*	0.53*	-	-	-	-				
BW	0.65**	-0.73**	0.56*	-	-	-	-	0.89**			
BA	0.59*	-0.64**	0.50*	-	-	-	-	0.94**	0.98**		
RAC	0.83**	-0.67**	0.50*	-	-	-	-	-	0.59**	0.51*	

Tem, Temperature (°C); Sal, Salinity (psu); DIN, Dissolved inorganic nitrogen (mg/L); DIP, Dissolved inorganic phosphorus (mg/L); SiO₂, Silicon dioxide (mg/L); SS, Suspended solid (mg/L); Chl *a*, Chlorophyll *a* (µg/L); BL, Blade length (cm); BW, Blade weight (g); BA, Blade area (cm²); RAC, Relative abundance of carposporophyte (%); *, P<0.05; **, P<0.01.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 제주수산연구소「제주주변 연근해 어업 및 환경생태조사, R2019027과제의 일환으로 수행되었습니다.

References

- Agrawal SC. 2012. Factors controlling induction of reproduction in algae review: the text. *Folia Microbiol* 57, 387-407. <https://doi.org/10.1007/s12223-012-0147-0>.
- Chung GH, Sun SM, Cho YC, Gong YG and Yoon JT. 1999. Isolation and culture of *Meristotheca papulosa* protoplasts. *J Aquaculture* 12, 7-14.
- Faye EJ, Shimada S, Kawaguchi S and Masuda M. 2005. Characterization of the edible red alga *Meristotheca papulosa* (Solieriaceae, Gigartinales) from Japan. *Phycol Res* 53, 234-245. <https://doi.org/10.1111/j.1440-183.2005.00391.x>.
- Guiry MD and Guiry GM. 2018. AlgaeBase. National University of Ireland, Galway, Ireland. Retrieved from <http://www.algaebase.org> on Sep 27, 2018.
- Kain JM and Norton TA. 1990. Marine Ecology. In: *Biology of the Red Algae*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 377-422.
- Kang JW. 1960. The summer algal flora of Cheju Island (Quelpart Island). *Bull Pusan Fish Coll* 3, 17-23.
- Kim BY, Ko JC and Choi HG. 2016. Rock type difference and Benthic Community Structures in the coast of Jeju, Korea. *Korean J Environ Ecol* 30, 996-1008. <https://doi.org/10.13047/KJEE.2016.30.6.996>.
- Koh HJ, Park SE, Cha HK, Chang DS and Koo JH. 2013. Coastal eutrophication caused by effluent from aquaculture ponds in Jeju. *J Kor Soc Mar Environ Saf* 19, 315-326. <https://doi.org/10.7837/kosomes.2013.19.4.315>.
- Lee YP and Kang SY. 2002. A Catalogue of the Seaweeds in Korea. Jeju National University Press, Jeju, Korea, 1-662.
- Lewis JE and Norris JN. 1987. A history and annotated account of the benthic marine algae of Taiwan. *Smithsonian Contr Mar Sci* 29, 1-38. <https://doi.org/10.5479/si.01960768.293>. iv
- Lideman, Nishihara GN, Noro T and Terada R. 2011. In vitro growth and photosynthesis of three edible seaweeds, *Betaphycus gelatinus*, *Eucheuma serra* and *Meristotheca papulosa* (Solieriaceae, Rhodophyta). *Aquaculture Sci* 59, 563-571. <https://doi.org/10.11233/aquaculturesci.59.563>.
- Lideman, Nishihara GN, Noro T and Terada R. 2012. Effect of temperature and light on the photosynthetic performance of two edible seaweeds: *Meristotheca coacta* Okamura and *Meristotheca papulosa* J. Agardh (Solieriaceae, Rhodophyta). *Aquaculture Sci* 60, 377-388. <https://doi.org/10.11233/aquaculturesci.60.377>.
- Lobban CS and Harrison PJ. 1994. *Seaweed Ecology and Physiology*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 1-366.
- Lüning K. 1990. *Seaweed: Their Environment, Biogeography and Ecophysiology*. Wiley, New York, NY, U.S.A., 1-527.
- Marine Fisheries Status. 2018. Jeju Special Self-Governing Province, Jeju, Korea, 1-176.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2010. *Standard methods of marine environment in Korea*.
- Muñoz J, Freile-Peigrín Y and Robledo D. 2004. Mariculture of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) color strains in tropical waters of Yucatán, México. *Aquaculture* 239, 161-177. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.05.043>.
- NFRD (National Fisheries Research Development). 1997. *Studies on development of cultivation technique of available seaweeds (Monostroma nitidum, Hizikia fusiformis and Meristotheca papulosa)*. NFRD, Yeosu, Korea, 1-488.
- Ohno M, Yano M, Hiraoka M, Oka N and Taniguchi M. 2001. Tank culture of *Eucheuma serra* and *Meristotheca papulosa* using with deep sea water. *Bull Mar Sci Fish Kochi Univ* 20, 35-40.
- Park HY, Yoon HD and Oh EG. 2001. Effect of *Meristotheca papulosa* on lipid concentration of serum and liver in rats fed high fat diet. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30, 107-111.
- Parsons TR, Maita Y and Lalli CM. 1984. *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. Pergamon Press, Oxford, U.K., 1-173.
- Pizarro A and Santelices B. 1993. Environmental variation and large scale *Gracilaria* production. *Hydrobiologia* 260/261, 357-363.
- Raikar SV, Iima M and Fujita Y. 2001. Effect of temperature, salinity and light intensity on the growth of *Gracilaria* spp. (Gracilariales, Rhodophyta) from Japan, Malaysia and India. *Indian J Mar Sci* 30, 98-104.
- Serisawa Y, Taino S and Ohno M. 2000. Ecological study of utilized red alga, *Meristotheca papulosa* (Solieriaceae, Gigartinales) population off Susaki, Tosa Bay, Southern Japan. *Aquaculture Sci* 48, 597-601. <https://doi.org/10.11233/aquaculturesci1953.48.597>.
- Shinmura I. 1974a. Development of spore and its growth in *Meristotheca papulosa*. *Bulletin of the Japanese Soc Phycol* 22, 77-82.
- Shinmura I. 1974b. The seasonal variation of growth and the period of spore-liberation in *Meristotheca papulosa*. *Bull Japan Soc Phycol* 22, 124-129.
- Shinmura I and Tanaka T. 2008. Useful seaweeds of Kagoshima III. Rhodophyta. *Jpn J Phycol* 56, 123-128.
- Silva PC, Meñez EG and Moe RL. 1987. Catalog of the benthic marine algae of the Philippines. *Smith Contr Mar Sci* 27, 1-179. <https://doi.org/10.5479/si.1943667X.27.1>.
- Tsuda RT and Walsh SK. 2013. Bibliographic checklist of the marine benthic algae of central Polynesia in the Pacific

Ocean (excluding Hawai'i and French Polynesia). *Micronesica* 2013-02, 1-91.

Xia B and Abbott IA. 1987. Edible seaweeds of China and their place in the Chinese diet. *Econ Bot* 41, 341-353.

Yoshida T. 1998. *Marine Algae of Japan*. Uchida Rokakuho Publishing Co., Ltd. Tokyo, Japan, 1-222.