J. Mar. Biosci. Biotechnol. 2019, p. 62 - 70 Vol. 11, No. 2 [Research Paper]

https://doi.org/10.15433/ksmb.2019.11.2.062 ISSN 2383-5400 (Online)

통영 연안에 분포하는 거머리말의 계절변동과 생식특성

Phenology of *Zostera marina* at Tongyeong in Southern Coast of Korea

윤준식[1] . 김남길[2,*]

Joon-Sik Yoon[1], Nam-Gil Kim[2,*]

[1]주임, 한국수산자원공단, 부산광역시 기장군 일광면 이동길 4, 46041, 대한민국
[2]교수, 경상대학교 해양생명과학과/해양산업연구소, 경남 통영시 통영해안로 2, 53064, 대한민국

[1]Korea Fisheries Resources Agency, Gijang, Busan-si, 46041, Korea
[2]Department of Marine Biology and Aquaculture/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong Gyeongnam 53064, Korea

(Received 22 November 2019, Revised 9 December 2019, Accepted 11 December 2019)

Abstract We investigated the variation of morphological features, density, biomass and characteristics of reproductive shoot on *Zostera marina*. This species was monthly monitored and collected during a year in Tongyeong (from January 2016 to December 2016). Morphological features, biomass and density showed significantly seasonal variation (p<0.001). Dimensions of *Z. marina* were highest in spring and early summer but lowest in winter. Biomass and leaf density of *Z. marina* showed highest value in May (4,700.5 g w·wt m^{-2}) and June (858.0 leaves m^{-2}) respectively and lowest value in November (515.9 g w·wt m^{-2} and 312.0 leaves m^{-2}). Reproductive shoot was monitored from April (13°C) to June (21°C) and grew up to ca. 200 cm. Spathe length, spadix weight, numbers and weight of fruit showed significantly different on monthly. None mature flowers were monitored in April but matured flowers, fruits were founded in May and seed releasing were occurred in June.

Keywords : *Zostera marina*, Phenology, Tongyeong, Southern coast

서 론

해초류는 남극을 제외한 전세계 지역에서 약 60여 종이 분포한다 [1-3]. 한국 연안에 분포하는 해초류는 총 10여종으로 거머리말속 6종, 새우말속 2종, 줄말속 1종, 해호말속 1종이 있다 [4-6].

거머리말(*Zostera marina*)은 온대 북태평양에 우점하는 해초류로 환태평양부터 베링해 북부지역까지 출현한다 [7]. 이 종은 한국 전 연안에 출현하고 분포수심은 1-10 m, 저질은 사질, 니질 등의 조용한 만에 출현하는 특징을 보인다 [3,5,8,9].

국내에서 거머리말에 관한 다양한 연구가 이루어졌다. 그 중 계절적 변동, 분포, 이식에 관한 연구가 대부분 이었고 [10-16], 최근 해초류 종자 발아에 관한 연구가 이루어지고 있다 [17-19]. 그러나 해초류 생식 능력에 관한 연구로는 한국산 해초 포기거머리말(*Zostera caespitosa*), 수거머리말(*Z. caulescens*), 애기거머리말(*Z. japonica*)과 거머리말(*Z. marina*)의 생

* Corresponding author
Phone: +82-55-772-9155 Fax: +82-55-772-9159
E-mail: ngkim@gnu.ac.kr

This is an open-access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

물계절학에 관한 연구 [20]와 남해 연안 거머리말 개체군의 생물계절학과 생식능력 [21]만이 있어 이에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

해초류는 지하경을 이용한 무성생식과 꽃과 종자를 이용한 유성생식을 통해 번식한다 [1,22,23]. 무성생식은 해초류 군락을 유지하는데 중대한 역할을 하며 유성생식은 유전적 다양성과 해초군락의 복원에 미치는 영향이 크다 [24-27].

본 연구는 한국 통영 연안에 분포하는 거머리말의 계절변동에 따른 형태적 특징 변화, 생식지의 형성시기, 개화, 열매형성 등의 생식 특징들을 파악함으로 이 지역에 분포하는 거머리말의 생물계절을 구명함과 동시에 생식 단계와 특징을 보다 상세히 구명함으로써 해초 군락지의 복원과 거머리말의 종자 생산을 위한 자료 제공을 목적으로 수행하였다.

재료 및 방법

이번 연구는 경상남도 통영시 도남동 해수욕장에 면한 조하대(34°49'N, 128°26'E)에 서식하는 거머리말을 대상으로 수행하였다(Fig. 1). 조사대상인 거머리말의 서식지 수심은 2-4 m 범위로, 2 m 수심대에서는 해호말(*Halophila nipponica*)과 혼생군락 혹은 단독군락의 형태로 서식하고 있었으나 4 m 수심대에서는 포기거머리말(*Z. caespitosa*)과 혼생군락의 형태로 서식, 분포하는 특징을 보였다. 조사해역인 통영시 도남동 연안의 거머리말 서식지는 외해에 개방된 형태의 해안지역으로 저질은 사니질의 퇴적환경을 나타냈다.

시료의 채집은 2016년 1월부터 12월까지 월 1회 skin SCUBA diving을 통해 이루어 졌다. 채집은 50cm × 50 cm 방형구를 이용하였으며 호미와 모종삽 등을 이용해 방형구 내에 출현하는 모든 지상부와 지하부를 일괄 채집하였다. 채집된 식물체는 계절변화에 따른 거머리말의 형태적 특징 변화를 파악하기 위하여 잎의 길이, 엽초의 길이, 잎의 폭, 뿌리의 길이, 절간의 길이, 지하경의 직경을 측정하였다. 거머리말의 밀도와 생물량 변화를 확인하기 위해 방형구내에 출현하는 모든 잎의 수를 계수하였다. 채집된 모든 식물체는 여과 해수를 이용해 부착생물과 뻘 등을 제거하였고 페이퍼 타올을 이용해 식물체 표면의 수분을 제거한 후, 메틀러(mettler) 전자저울을 이용해 습중량을 0.1 g까지 측정하였고, 측정된 잎의 수와 생물량은 1 ㎡ 값으로 환산하여 나타냈다. 생식지 출현시기에는 생식지의 길이와 생식지에 형성된 잎의 길이와 폭을 측정하였다. 또한 불염포와 육수화서의 길이와 폭, 육수화서 당 암술과 수술의 수와 무게, 열매의 수, 육수화서와 열매의 습중량을 측정하였고 화서의 성숙단계는 Alexandre et al. [28]의 방법을 수정하여 Table 1과 같이 구분하였다.

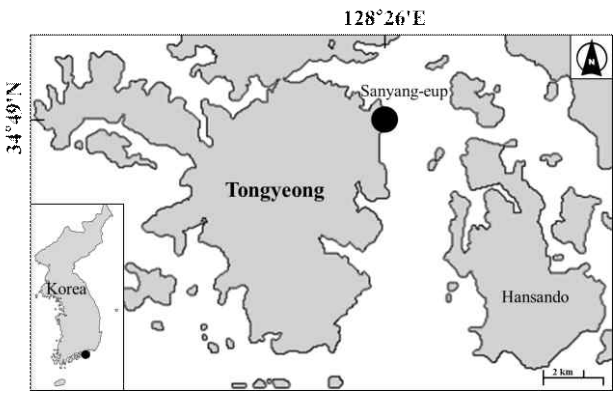

Figure 1. A map showing collecting site at Tongyeong coast in Korea.

조사 지역의 수온과 염분은 실시간으로 해양관측정보를 제공하는 국립해양조사원 통영조위 관측소의 자료를 인용하였으며 [29], 모든 측정값은 평균과 표준편차로 나타내었다.

통계분석은 SPSS Windows program (Release 20.0, SPSS INC.)를 이용했다. 계절변화에 따른 형태적 특징의 변화와 생식지 특징들의 값의 변화는 one-way analysis of variance (ANOVA)를 실시해 통계 분석하였으며 유의적 차이가 발견된 경우 Duncan의 방법으로 유의성을 검증하였다. 환경요인인 수온과 거머리말의 형태적 특징들과의 관계는 회귀분석을 이용해 통계처리하였다. 측정된 거머리말의 형태적 특징 변화의 모든 값은 평균 ± 95% 신뢰구간으로 나타내었다.

결 과

수온과 염분

실험지역에서 측정된 수온과 염분은 Fig. 2와 같다. 연평균 수온은 17.2±7.1℃로 나타났으며 월 평균 수온은 2016년 2월에 6.3±0.9℃로 가장 낮았고 8월에 29.2±2.1℃로 가장 높았다. 연평균 염분은 32.0±1.8 psu로 나타났으며 월 평균 염분은 2016년 9월에 28.7±0.4 psu로 가장 낮았고 2월에 34.3±0.2 psu로 가장 높았다.

Table 1. Maturation stage of the flowers inside the spathes (adapted from Alexandre et al., 2005).

Maturation stage		Main characteristics Maturation
Flowering	0	Undefined flowers inside the immature inflorescence
	I	Flowers aligned on a single stem; sheath closed
	II	Mature females erected outside sheath for fertilization
	III	Mature males release filiform pollen (anther dehiscing)
	IV	Fertilized females, thecae empty (if still present)
Fruiting	V	Presence of fruits
	Va	Small embryos inside the female flowers
	Vb	Fully developed fruit
	Vc	Creviced fruit skin (ready to seed release)
	Vd	Seed release (fruit skin remained only, without seed)

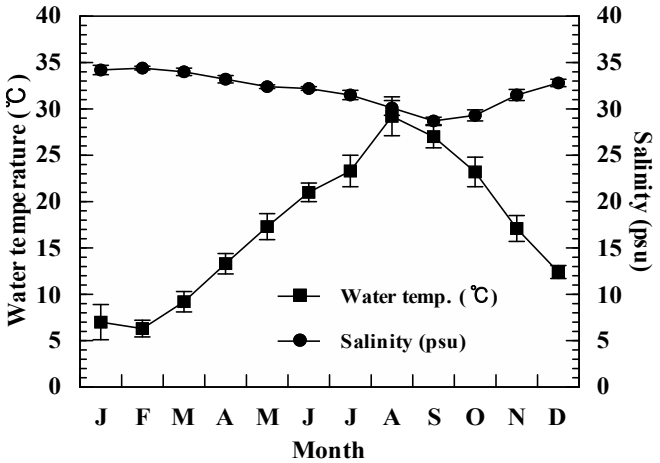

Figure 2. Monthly variation of water temperature and salinity at Tongyeong coast in Korea during the study period from January to December, 2016.

영양지의 변동 특징

거머리말의 잎 길이, 엽초 길이, 입의 폭, 뿌리 길이, 절간의 길이, 지하경의 직경과 같은 형태적 특징들의 값은 계절에 따른 유의한 차이를 보였고 (p<0.001) 수온과의 관계를 회귀분석한 결과 역시 모두 유의한 차이를 보였다(p<0.001; R^2의 값은 각각 0.20, 0.19, 0.25, 0.19, 0.24, 0.13). 거머리말의 잎 길이는 2016년 5월에 128.3±12.8 cm로 최대였으며 7월 이후부터 급격히 감소하는 경향을 보였고 2월에 44.3±9.7로 가장 짧은 길이를 보였다(Fig. 3A). 엽초의 길이는 2016년 5월에 15.4±0.6 cm로 가장 길었고 이후 점차 감소했으며 3월에 9.1±0.9 cm로 가장 작았다(Fig. 3B). 잎의 폭은 2016년 7월에 8.7±1.3 mm로 가장 넓었고 5월에 5.5±1.1 mm로 가장 좁았다(Fig. 3C). 뿌리의 길이는 2016년 8월에 59.7±8.8 mm 가장 큰 값을 보였고 2016년 10월에 19.9±7.6 mm로 가장 작은 값을 보였다(Fig. 3D). 절간의 길이는 2016년 7월에 19.1±4.7 mm로 최대값을 2016년 11월에 9.0±2.6 mm로 최소값을 보였다(Fig. 3E). 지하경의 직경은 2016년 7월에 7.1±1.6 mm로 최대값을 2016년 11월에 4.3±0.4 mm로 최소값을 보였다(Fig. 3F).

밀도와 생물량 변동

거머리말의 생물량은 초봄인 3월부터 증가하기 시작하여 5월에 최대값을 보였고 초여름인 6월부터 감소하는 경향을 보여 겨울철인 11월에 최소값을 보였다. 잎의 밀도는 3월부터 증가해 초여름인 6월에 최대값이 나타났고 여름철인 7월과 8월에 급격히 감소하였다. 이후 점차 감소하는 경향을 보였으며 11월에 최소값을 보였다. 거머리말의 생물량은 515.9 - 4,700.5 g w·wt m^{-2}의 범위를 보였고 잎의 밀도는 312.0 - 858.0 leavs m^{-2}의 범위를 보였다(Fig. 4).

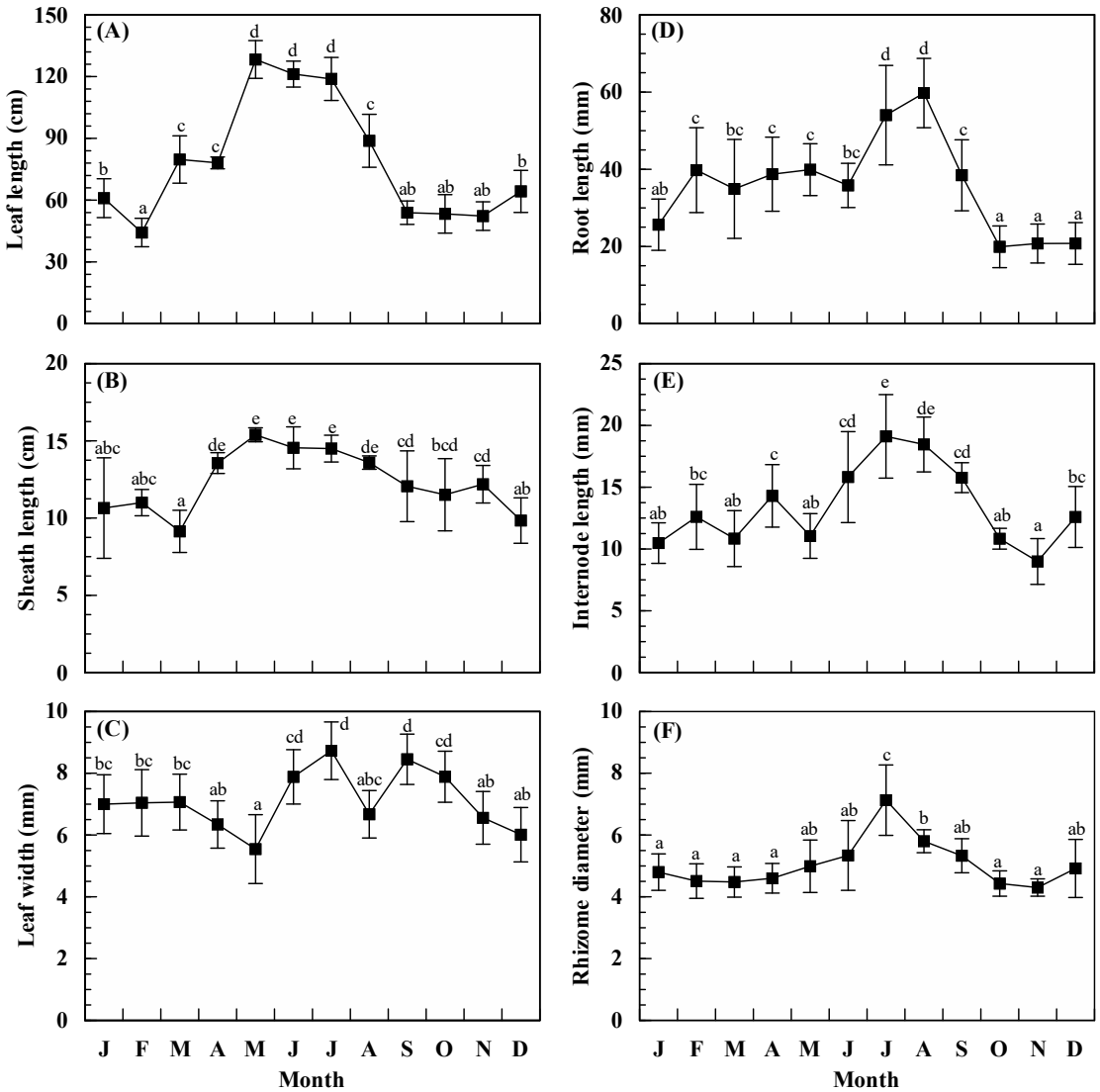

Figure 3. Seasonal variation of the dimensions of *Zostera marina* at Tongyeong from January 2016 to December 2016: (A) leaf length, (B) sheath length, (C) leaf width, (D) root length, (E) internode length, (F) internode diameter. Data are means 95% confidence intervals. Different letters above bars indicate significant differences (p<0.05).

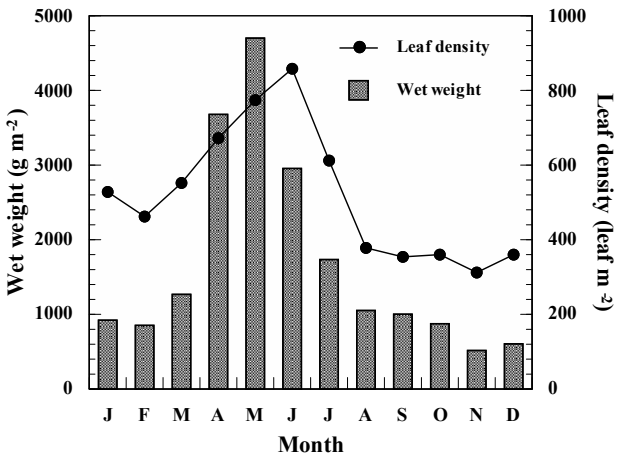

Figure 4. Seasonal variation of the leaf density and wet weight of *Zostera marina*.

생식지의 변동 특징

생식지는 2016년 4월(13.3±1.1℃)부터 6월(21.0±1.0℃) 까지 3개월 동안 출현하였으며 이후에는 관찰되지 않았다. 생식지는 5월에 189.0±10.6 cm로 가장 길었고 4월에 144.9±4.6 cm로 가장 짧았다(Fig. 5A). 생식지 잎의 길이는 6월에 47.0±8.7 cm로 가장 큰 값을 2016년 4월에 30.6±7.1 cm로 가장 작은 값을 보였다(Fig. 5B). 생식지 잎의 폭은 6월에 4.6±0.8 mm로 가장 넓었고 2016년 4월에 3.9±0.5 mm로 가장 좁았다(Fig. 5C).

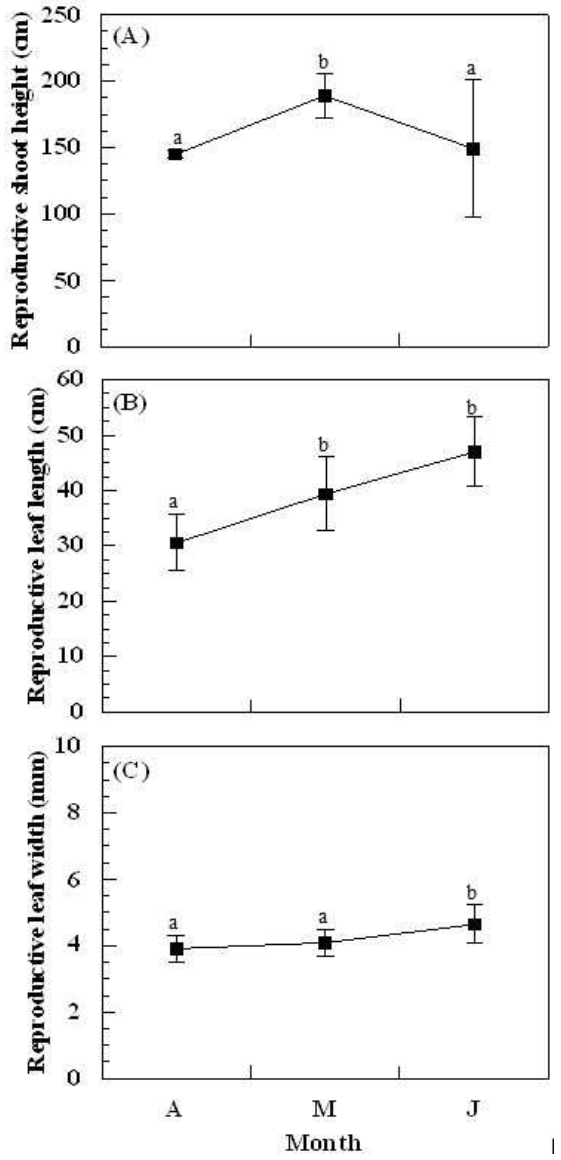

Figure 5. Seasonal variation of the reproductive shoots of *Zostera marina* at Tongyeong from April 2016 to June 2016: (A) reproductive shoot height, (B) reproductive leaf length, (C) reproductive leaf width. Other details like as in Fig. 3.

육수화서의 성숙과 특징 변화

거머리말 화서의 성숙과정은 Fig. 6과 같다. 거머리말의 육수화서는 2016년 4월에 성숙 I단계로 나타났고 5월에는 육수화서 성숙 II단계부터 Vb단계까지 나타나 암술의 기립(Fig. 6B), 수술 열개(Fig. 6C), 열매형성(Fig. 6D)까지 다양하게 관찰되었다. 6월에는 Vc-Vd단계로 열매가 벌어져 종자가 방출될 준비가 되어있거나 방출된 상태였다(Fig. 6E, 6F).

불염포의 폭, 육수화서의 길이와 폭은 월 변화에 따른 크기 변동이 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으며(p>0.05) 불염포의 길이, 육수화서의 습중량, 열매의 수와 열매의 무게에서는 확연한 유의적 차이를 보였다(p<0.05). 불염포의 길이는 4월에 7.2±1.4 cm로 가장 길었으며 6월에 6.6±1.1 cm로 가장 짧았다. 불염포의 폭은 4월에 5.9±0.8 mm로 가장 넓었으며 5월에 4.7±1.5 mm로 가장 좁았다. 육수화서의 길이는 5월과 6월에 5.8±0.7 cm로 가장 길었고 4월에 5.2±1.3 cm로 가장 짧았다. 육수화서의 폭은 6월에 4.4±0.1 mm로 최대 값을 4월에 4.2±0.6 mm로 최소 값을 보였다. 불염포의 습중량은 6월에 531.7±101.9 mg으로 가장 높은 값을 보였고 4월에 135.2±76.5 mg으로 가장 작은 값을 보였다. 4월의 암술과 수술의 수는 각 14.1±1.3개와 27.1±4.7개로 나타났으며 5월에는 각 13.3±0.5개와 23.4±0.5개로 나타났다. 육수화서당 암술과 수술의 습중량은 4월에 43.6±24.3 mg과 76.7±42.6 mg으로 나타났고 5월에 21.6±1.0 mg과 56.4±12.0 mg으로 나타났다. 수정된 육수화서에 형성된 과일의 수는 5월에 10.8±1.0개로 가장 많았으며 2016년 6월에 8.2±1.1개로 가장 적었다. 열매의 평균 습중량은 6월에 18.6±2.5 mg으로 가장 높았으며 2016년 5월에 13.5±4.8 mg으로 가장 낮았다(Table 2).

Table 2. Variation of reproductive phase characteristics on *Zostera marina* (mean±SE).

	Spathe length (cm)	Spathe width (mm)	Spadix length (cm)	Spadix width (mm)	Spathe wet weight (mg)	NPS (ea)	NAS (ea)	WPS (mg)	WAS (mg)	NFS (ea)	Fruit wet Weight (mg)
April, 2016	7.2 ± 1.4^{b}	5.9 ± 0.8	5.2 ± 1.3	4.2 ± 0.6	135.2 ± 76.5^{a}	14.1 ± 1.3	27.1 ± 4.7	43.6 ± 24.3	76.7 ± 42.7	0^{a}	0^{a}
May, 2016	6.7 ± 0.5^{ab}	4.7 ± 1.5	5.8 ± 0.7	4.3 ± 0.4	297.1 ± 79.6^{b}	13.3 ± 0.5	23.4 ± 0.5	21.6 ± 1.0	56.4 ± 12.0	10.8 ± 1.0^{c}	13.5 ± 4.8^{b}
June, 2016	6.6 ± 1.1^{a}	5.1 ± 0.6	5.8 ± 0.7	4.4 ± 0.1	531.7 ± 101.9^{c}	-	-	-	-	8.2 ± 1.1^{b}	18.6 ± 2.5^{c}

Date were analyzed by one-way ANOVA and post-hoc analyzed with Duncan test. Data with different letters means significant among different month (n=5-30, p<0.05). NPS, Number of pistils per spadix; NAS, Number of anthers per spadix; WPS, Wet weight of pistils per spadix, WAS, Wet weight of anthers per spadix; NFS, Number of fruits per spadix; - no data.

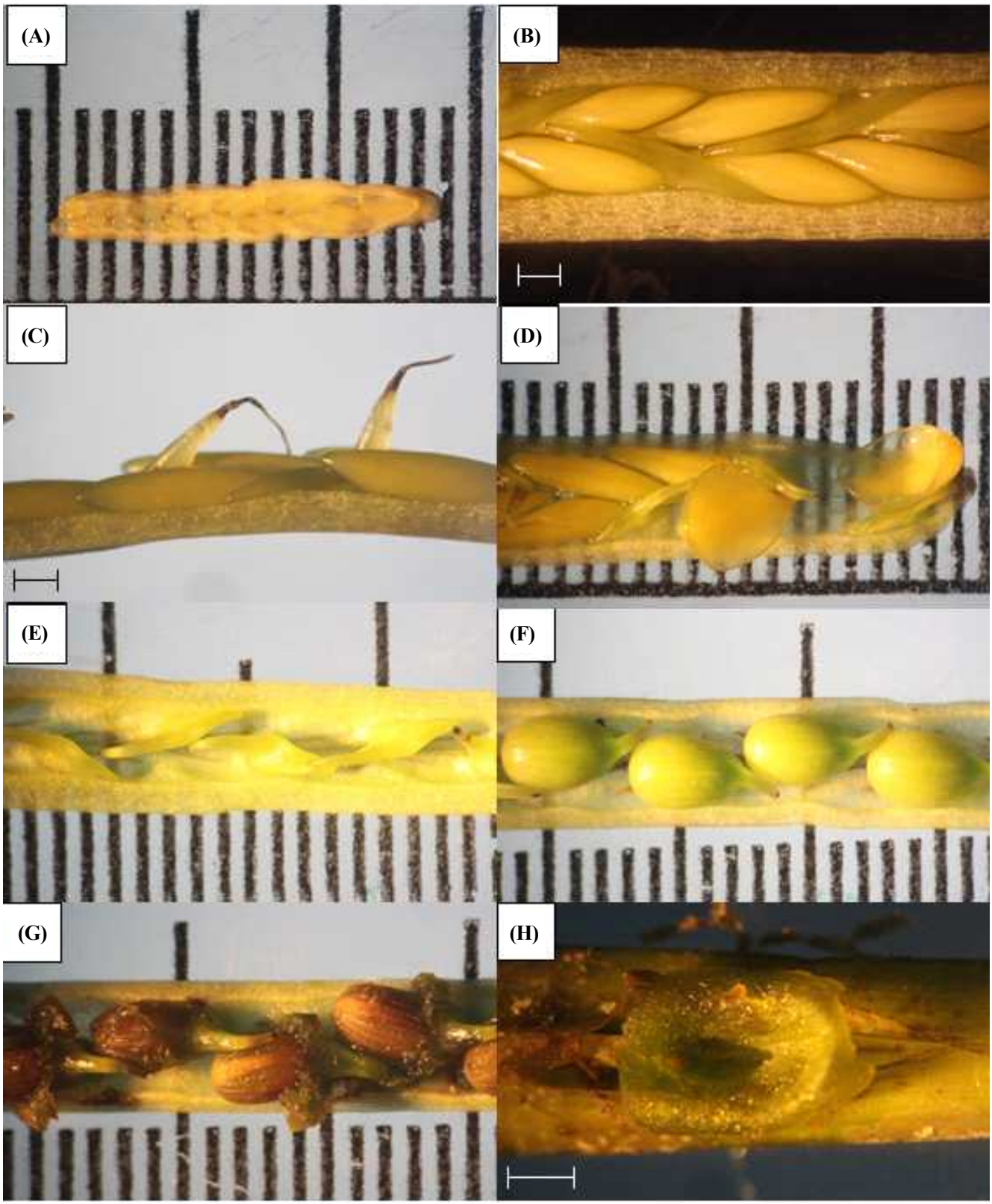

Figure 6. Variation of the maturation stage and spathe development of *Zostera marina*: (A) maturation stage I, (B) maturation stage II, (C) side view of spathe in maturation stage II, (D) maturation stage III, (E) maturation stage Va, (F) maturation stage Vb, (G) maturation stage Vc, (H) maturation stage Vd. All scale bars are 1 mm.

고 찰

거머리말(*Z. marina*)은 다년생 해초로 지상부의 잎은 5-11개의 잎맥을 가지며 120 cm까지 성장하고, 잎의 폭은 3-12 mm까지 다양한 너비를 보이며 엽초는 20 cm까지 성장한다. 정단부는 타원형부터 미철두까지 다양한 형태로 나타난다. 지하부는 1-3 cm 길이의 절간을 가진 포복하는 지하경과 뿌리로 구성되어 있다. 생식지는 150 cm까지 성장하며 육수화서에는 6-14개의 암술과 수술이 형성된다. 불염포의 길이는 4-7 cm로 육수화서보다 약 1 cm 길다 [8,9].

일반적으로 해초류의 생산성은 뚜렷한 계절적 변동을 보이며 봄과 여름에 증가하고 가을과 겨울에 감소하는 특징을 보인다 [30-33]. 또한 해초류의 성장, 형태적 특징, 밀도, 생물량은 종과 수온, 염분, 광질, 저질 등과 같은 서식지의 환경과 위도에 따라 다양한 차이를 보이는 것으로 보고되었다 [32, 35-37].

이번 연구에서 거머리말의 밀도와 생물량은 계절적 변동이 관찰되었으나 이 값들은 봄과 초여름에 높고 여름부터 감소하는 경향들을 보여 다소 차이를 보였다. 해초류는 적수온기에 최대성장을 보이며 30℃이상의 온도에서는 광합성률이 감소하게 되고 [38], 27℃의 온도 조건에서는 거머리말 엽상체는 낮은 온도 조건(18, 21℃)과 비교하였을 때 고사율이 높아지고, 잎과 지하경의 생물량이 감소하며 일간 생장이 낮아 진다 [39]. 실험지역에서 수온은 급격히 증가하여 8월에 약 30℃까지 증가하였고 이때 거머리말 잎의 길이와 폭이 급격히 감소하고 이후에 지하부의 형태적 특징을 나타내는 뿌리와 절간부의 길이 및 포복지의 직경 등도 감소하는 현상을 나타내어 해초류의 생장은 수온과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 수온과 거머리말 엽상체의 크기와의 관계는 유의한 차이를 보였으나(p<0.001) 상관계수는 다소 낮은 값을 보였다. 이는 봄과 여름철 초기인 수온 상승기에는 수온과 엽상체 크기의 관계가 양의 상관관계를 보이나 여름철 고수온기에는 음의 상관관계를 보여 이러한 결과에 기인하는 것으로 판단된다.

거머리말 생식지의 출현은 서식지 수심에서의 수온과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으며 [34], 이러한 현상은 지중해의 나폴리만(Gulf of Naples)에 서식하는 *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, *Zostera noltii*와 같은 해초류에서도 보고되고 있다 [40]. 또한 생식지의 출현 시기는 위도에 따라 다르게 나타나며, 생식지 형성에 미치는 영향은 수온뿐만 아니라 위도에 적응한 유전적 차이가 영향을 미치는 것으로 보고되었다 [34]. 이번 연구에서 생식지는 13-21℃의 수온 범위에서 출현하였다. 거제 연안 [32]에서는 13-18℃, 동대만과 앵강만 [21]에서는 7.5-21.4℃, 덕산항 [12]에서는 9-24℃, 승봉도 [20]에서 7-21℃, Swan Lake [33]에서 5-20℃의 출현 범위를 보였는데 이와 같이 지역 간의 생식지 출현시기의 차이는 단순히 수온뿐만 아니라 그 지역 환경에 대한 적응의 결과로 추정된다.

이번 연구에서 불염포의 길이는 시간의 경과에 따라 감소하였으나 육수화서의 길이와 폭은 증가하였는데 이는 육수화서의 성숙과 열매의 형성에 의한 결과로 추정된다. 수술은 생식지 출현기간 중 5월까지만 발견되었으며 육수화서당 수술의 수는 5월이 4월보다 감소하여 나타났는데 이는 수정을 위해 수술이 열개해 화분을 방출한 후에 육수화서에서 소멸되거나 탈락된 결과로 사료되고 육수화서 당 열매의 수는 6월이 5월보다 낮았는데 이는 성숙한 열매로부터 종자가 방출된 결과로 판단된다.

조사 지역에서 거머리말의 밀도, 생물량, 엽상체의 생장을 볼 때 봄과 초여름인 수온 10-20℃가 성장적수온으로 판단된다. 생식지는 겨울철을 지나 수온 상승기인 봄에 형성되고 이후 20℃ 전후에 열매가 성숙해 여름철 고수온기 전에 종자를 방출하는 특징을 보였다.

References

1. Den Hartog, C. 1970. The sea-grasses of the world. North-Holland Publ. Co. Amsterdam. pp. 1-275.
2. Phillips, R. C. and Mennez, E. G. 1988. Seagrass. Washington D.C., Smithsonian Institution. Press, pp. 1-106.
3. Short, F. T., Carruthers, T., Dennison, W. and Waycott, M. 2007. Global seagrass distribution and diversity: a bioregional model. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **350**, 3-20.
4. Shin, H. C., Kang, H. C. and Oh, Y. S. 2002. *Zostera geojeensis*, a new species of seagrass from Korea. Algae. **17**, 71-74.
5. Lee, K. S. and Lee, S. Y. 2003. The seagrasses of the

Republic of Korea. In: Green E. P. and Short F. T. (eds), World Atlas of Seagrasses. University of California Press. Berkeley, pp. 193-198.
6. Kim J. B., Park J. I., Jung C. S, Lee P. Y. and Lee K. S. 2009b. Distributional range extension of the seagrass Halophila nipponica into coastal waters off the Korean peninsula. *Aquat. Bot*. **90**, 269-272.
7. Green, E. P. and Short, F. T. 2003. World Atlas of Seagrasses. University of California Press Berkeley, pp. 1-298.
8. Shin, H. and Choi, H. K. 1998. Taxonomy and distribution of *Zostera* (Zosteraceae) in eastern Asia, with special reference to Korea. *Aquat. Bot*. **60**, 49–66.
9. Kuo, J. and Den Hartog, C. 2001. Seagrass taxonomy and identification key. In: Short F. T. and Coles R. G. (eds), Global Seagrass Research Methods. Amsterdam The Netherlands Elsevier. pp. 31-58. .
10. Lee, S. Y., Kwon, C. J. and Choi, C. I. 2000. Distribution of *Zostera* (Zosteraceae) and habitat characteristics in the eastern coastal waters of Korea. *J. Korean. Fish Soc*. **33**, 501-507.
11. Lee, S. Y., Lee, S. M., Jee, H. G. and Choi, C. I. 2001. The distribution and habitation characteristics of *Zostera marina* L. along the southern coast of Korea. *Korean. J. Environ. Biol*. **19**, 313-320.
12. Lee, S. Y., Lee, S. M., Kim, J. H. and Choi. C, I. 2003. Phenology and morphometrics change of *Zostera marina* L. population at Duksan port in the eastern coast of Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr*. **8**, 70-77.
13. Kim, J. B., Park, J. I. and Lee, K. S. 2009a. Seagrass distribution in Deukryang Bay. *Korean J. Fish Aquat. Sci*. **42**, 509-517. 6.
14. Park, J. I., Park, J. Y. and Son, M. H. 2012b. Seagrass distribution in Jeju and Chuja islands. *Koean J. Environ. Biol*. **30**, 339-348.
15. Ok, J. S. and Lee, S. Y. 2014. The autecology of *Zostera marina* and *Z. japonica* at Sagumi Bay in the southwestern coast of Korea. *J. Environ. Sci. Int*. **23**, 1563-1572.
16. Kim, J. B., Park, J. I., Lee, W. C. and Lee, K. S. 2015. Growth and population dynamics of *Zostera marina* due to changes in sediment composition in the Seomjin estuary, Korea. *The Sea* **20**, 43-52.
17. Park, J. I., Lee, K. S. and Son, M. H. 2012a. Germination rate of *Zostera marina* and *Phyllospadix japonicus* related to environmental factors. *Korean J. Environ. Biol*. **30**, 280-285.
18. Park, J. I., Park, J. H., Lee, K. S. and Son, M. H. 2014. Germination rate of *Zostera marina* seeds relative to storage methods and periods. *The Sea* **19**, 164-168.
19. Park, J. I., Kim, J. H. and Kim, J. R. 2017. Germination rate and moisture content of eelgrass, *Zostera marina* upon desiccation. *J. Korean Soc. Oceanogr*. **22**, 69-76.
20. Lee, S. M., Lee, S. Y. and Choi, C. I. 2005b. Reproductive phenology of four Korean seagrasses, *Zostera caespitosa, Z. caulescens, Z. japonica* and *Z. marina*. *Ocean and Polar Res*. **27**, 125-133.
21. Lee, S. Y., Lee, S. M. and Choi, C. I. 2005c. Phenology and reproductive effort of two *Zostera marina* L. populations on the southern coast of Korea. *Ocean and Polar Res*. **27,** 67-74.
22. Eriksson, O. 1989. Seedling dynamics and life histories in clonal plants. *Oikos* **55**, 231 – 238.
23. Eriksson, O. and Froborg, H. 1996. “Windows of opportunity” for recruitment in long-lived clonal plants: experimental studies of seedling establishment in Vaccinium shrubs. *Can. J. Bot*. **74**, 1369 – 1374.
24. Hemminga, M. A. and Duarte, C. M. 2000. Seagrass Ecology. Cambridge University Press, pp. 1-298.
25. Orth, R. J., Harwell, M. C., Bailey, E. M., Bartholomew, A., Jawad J. T., Lombana A. V., Moore K. A., Rhode J. M. and Woods, H. E. 2000. A review of issues in seagrass seed dormancy and germination: implications for conservation and restoration. *Mar. Ecol. Prog. Ser*. **200**, 277–288.
26. Plus, M., Deslous-Paoli, J. and Dagault, F. 2003. Seagrass (*Zostera marina* L.) bed recolonization after anoxia-induced full mortality. *Aquat. Bot.* **77**, 121–134.
27. Kendrick, G. A., Waycott, M., Carruthers, T. J. B., Cambridge, M. L., Hovey, R., Krauss, S. L., Lavery, P. S., Les, D. H., Lowe, R. J. and Vidal, O. M. 2012. The central role of dispersal in the maintenance and persistence of seagrass populations. *Bio Science* **62**, 56-65.
28. Alexandre, A., Santos, R. and Serrão, E. 2005. Effects of clam harvesting on sexual reproduction of the seagrass *Zostera noltii*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **298,** 115-122.
29. KHOA. 2016. http://www.khoa.go.kr/koofs/kor/oldobservation/obs_past_search.do?contents=real on January 2.
30. Dunton, K. H. 1994. Seasonal growth and biomass of the subtropical seagrass *Halodule wrightii* in relation to continuous measurements of underwater irradiance. *Mar. Biol*., **120**, 479-489.
31. Lee, K. S. and Dunton, K. H. 1997. Effect of in situ light reduction on the maintenance, growth and partitioning of carbon resources in *Thalassia testudinum* Banks ex Konig. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol*. **210**, 53-73.
32. Lee, K. S., Park, S. R. and Kim, J. B. 2005a. Production dynamics of the eelgrass, *Zostera marina* in two bay systems on the south coast of the Korean peninsula. *Mar. Biol*. **147**, 1091–1108.
33. Zhang, P. D., Liu, Y. S., Guo, D., Li, W. T. and Zhang, Q. 2016. Seasonal variation in growth, morphology, and reproduction of eelgrass *Zostera marina* on the eastern coast of the Shandong peninsula, China. *J. Coast Res.* **32**, 315-322.

34. Phillips, R. C., McMillan, C. and Bridges, K. W. 1983. Phenology of eelgrass, *Zostera marina* L., along latitudinal gradients in North America. *Aquat. Bot*. **15**, 145-156.
35. Bulthuis, D. A. 1987. Effects of temperature on photosynthesis and growth of seagrasses. *Aquat. Bot*. **27**, 27-40.
36. Livingston, R. J., McGlynn, S. E. and Niu, X. 1998. Factors controlling seagrass growth in a gulf coastal system: Water and sediment quality and light. *Aquat. Bot*. **60**, 135-159.
37. Bradley, M. P. and Stolt, M. H. 2006. Landscape-level seagrass–sediment relations in a coastal lagoon. *Aquat. Bot*. **84**, 121-128.
38. Marsh, J. A., Dennison, W. C. and Alberte, R. S. 1986. Effects of temperature on photosynthesis and respiration in eelgrass (*Zostera marina* L.). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol*. **101**, 257-267.
39. Höffle, H., Thomsen, M. S. and Holmer, M. 2011. High mortality of *Zostera marina* under high temperature regimes but minor effects of the invasive macroalgae *Gracilaria vermiculophylla*. *Estuar. Coast. Shelf Sci*. **92**, 35-46.
40. Buia, M. C. and Mazzella, L. 1991. Reproductive phenology of the Mediterranean seagrasses *Posidonia oceanica* (L.) Delile, *Cymodocea nodosa* (Ucria) Aschers., and *Zostera noltii* Hornem. *Aquat. Bot*. **40**, 343-362.