

해남 사구미 연안 거머리말 (*Zostera marina* L.)의 계절특성

옥재승 · 이상용^{1,*} · 신경훈 · 김희중

한양대학교 해양환경과학과, ¹국립수산과학원 해조류바이오연구센터

Seasonal Variation Characteristics of *Zostera marina* L. in HAENAM SAGUMI on the Southern Coast of Korea. Ok, Jae Seung, Sang Yong Lee^{1,*}, Kyung Hoon Shin and Hi Joong Kim (Department of Earth and Marine Sciences, Hanyang University, Ansan 425-791, Korea; ¹National Fisheries Research & Development Institute, Mokpo 530-831, Korea)

Abstract - This ecological study was conducted to analyze seasonal variation characteristics of *Zostera marina* at HAENAM SAGUMI on the Southern Coast of Korea. Environmental characteristics, plant morphological characteristics, shoot density, biomass, and leaf production were monitored from August 2008 to March 2011. *Zostera marina* occurred in the subtidal zone from 0 to 2.5 m below the mean low water level. Water temperature showed a clear annual pattern, with increase in spring and summer, and decreases in fall and winter. Irradiance showed seasonal variation, even though daily weather condition has short-term variation in the incident irradiation. Plant morphological characteristics, shoot density, biomass, and leaf production showed clear seasonal variation. Seasonal variation in the above biomass of *Zostera marina* was mainly caused by changes in shoot length. We found that there are correlations between environmental characteristics (water temperature, irradiation) and the growth of *Zostera marina*. There is stronger correlation between water temperature and the growth of *Zostera marina*, compared to the correlation between irradiation and the growth of *Zostera marina*. In particular, the growth of *Zostera marina* is inhibited by both higher and lower water temperature.

Key words: HAENAM SAGUMI, *Zostera marina*, seasonal variation

서 론

해초(seagrass)는 수중 현화식물의 한 종류로 전 세계에 12속 58종이 존재한다(Tomlinson, 1982; Kuo and McComb, 1989; Huh 1998). 온대 연안에 생육하고 있는 거머리말과 (Zosteraceae)의 거머리말속 (*Zostera*)은 세계적으로 11종이 분포하며 (Den Hartog, 1970; Kwon,

2002), 한반도에 자생하는 거머리말속 식물은 거머리말 (*Zostera marina* L.), 왕거머리말 (*Z. asiatica* Miki), 수거머리말 (*Z. caulescens* Miki), 포기거머리말 (*Z. caespitosa* Miki)과 애기거머리말 (*Z. japonica* Aschers and Graebn) 등 5종이 생육하고 있다(Miki, 1932, 1933; Shin and Choi, 1998; Lee, 2001).

한반도에 자생하는 해산 현화식물인 거머리말속 (*Zostera*)에 대한 연구는 Nakai (1911)가 거머리말 (*Zostera marina* L.)을 보고함으로써 시작되었으며, Miki (1932, 1933)에 의해 종 기재와 함께 처음으로 분류학적 연구와 분포가 보고 되었다(Kwon, 2002).

우리나라보다 앞서 해초에 대한 연구가 이루어진 외

Manuscript received 25 October 2013, revised 26 November 2013, revision accepted 9 December 2013
* Corresponding author: Tel: +82-61-280-4730, Fax: +82-61-285-1949, E-mail: seagrass1@korea.kr

국에서는 해초의 분포, 계절 변동, 환경요인과의 관계 등에 대한 많은 연구가 보고되어 있다 (Bulthuis, 1987; Fonseca and Kenworthy, 1987; Short, 1987; Talbot and Bate, 1987; Hanekom and Baird, 1988; Duarte, 1991; Jagtap, 1991; Adams *et al.*, 1992; Adams and Talbot, 1992; Perez-Llorens and Niell, 1993). 우리나라에서도 최근 해초에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 해초의 계절특성에 대한 연구는 Lee *et al.* (2002)와 여러 연구가 보고되어 있으나 (Lee *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2005b; Lee, 2008), 제한된 일부 서식지에 대한 연구이며 거머리말은 서식지 환경에 따라 다양한 특성이 나타나므로 여러 지역의 서식지에 대한 다양한 연구가 필요한 실정이다.

한반도 연안에 서식하는 해초 중 거머리말은 가장 많이 분포되어 있는 종이며, 수심이 얕은 만과 해호 등의 조간대나 조하대에 넓게 분포하는 종이다.

해초는 연안 생태계에서 여러 해양생물이 살아갈 수

있는 숲을 조성하여 산란 장소와 양육 장소를 제공하는 매우 중요한 역할을 하는 생태계의 기초생물이다. 본 연구는 훼손된 연안 생태계의 복원을 위하여 가장 중요한 역할을 담당하는 해초에 대하여 한반도 남해안 해남 사구미 연안에서 물리적인 환경요인과 계절에 따라 변화되는 해초 식물체의 형태, 생물량, 잎 성장 등 생태적 특성을 파악하여 연안 생태계에서 해산 현화식물의 보호, 보전 및 관리에 필요한 자료를 제공하고 적용하는 것을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

1. 연구지역 및 연구시기

1) 연구지역

본 연구의 대상지역은 우리나라 남해 서부에 위치하

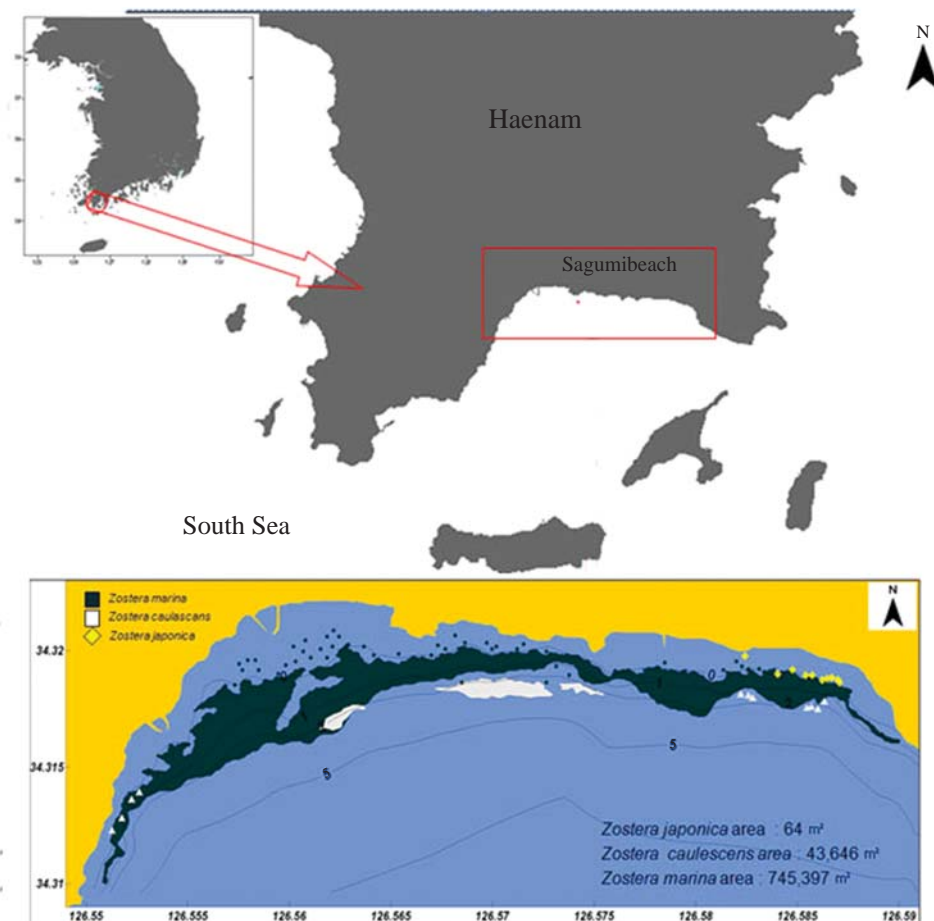


Fig. 1. Geographical location of the study area. Location of the Sagumi beach on the southern coast of Korea. Distribution of different seagrasses in the Sagumi beach.

고 있는 전라남도 해남군 송지면 통호리의 사구미 연안 (34° 19' 11"N, 126° 34' 21"E)이다. 사구미는 해남의 땅끝 마을에서 동쪽으로 8km 떨어진 곳에 위치한 해안이다.

사구미 연안에서 거머리말 (*Zostera marina* L.)은 하부조간대에서부터 조하대 수심 2.5 m까지 대규모 초지로 분포한다.

2) 연구시기

해남 사구미 연안에 분포하는 거머리말의 생육밀도와 형태, 생물량, 잎 생산성을 파악하고, 시간적인 변화를 비교하기 위하여 2008년 8월~2011년 9월까지 조사하였다.

2. 물리적 환경요인

해초지의 수온 및 광량은 거머리말 지상부 조직이 위치하는 수심에서 quantum sensor (LI-192S)와 data logger (Li-Cor; Lincoln, NE, USA)를 이용하여 매 5분 간격으로 측정하였다. 측정된 수온은 일일평균수온으로 나타내었으며, 광량센서로 측정된 수치(Lumens ft⁻²)는 하루 동안의 총 광량인 일 누적광량(mol m⁻² day⁻¹)으로 나타내었다.

3. 형태적인 특징

시간적인 변화에 따른 형태적인 특징은 무작위로 선택된 10개체의 식물체를 채집하여 잎의 수, 전체 길이, 엽초 길이, 잎 길이, 잎 너비, 지하경 마디 길이, 지하경 너비를 측정하였다. 전체 길이와 엽초 길이는 각각 성장점에서부터 가장 긴 잎의 끝부분과 엽초 끝부분의 길이로 측정하였으며, 잎 너비는 가장 긴 잎의 너비로 측정하였다.

4. 생육밀도와 생물량

거머리말 (*Zostera marina* L.)의 생육밀도는 방형구(35 cm × 35 cm)를 사용하여 개체수와 생육형태(영양지, 생식지와 측지)를 조사한 후 방형구 내 지상부와 지하부(지하경과 뿌리)의 모든 식생을 채집하였다(Harrison, 1982). 생육밀도와 생물량 조사에 필요한 시료는 각 생육지에서 3회 채집하여 분석하였다. 생물량은 민물을 이용하여 부착생물과 퇴적물을 제거한 후 지상부와 지하부로 분리하여 60°C에서 무게가 일정할 때까지 건조시킨 후, 각각의 무게를 측정하여 단위면적당 생물량(g DW m⁻²)으로 나타내었다.

5. 잎의 성장

거머리말 잎의 성장은 엽초의 상단을 주사바늘로 편칭한 후 약 1개월 경과후 10개체의 식물체를 채집하여 잎의 성장 길이와 면적을 측정하였다(Zieman, 1974).

측정된 값은 개체당 일일 성장속도(cm² shoot⁻¹ d⁻¹)로 환산하여 나타내었다.

6. 통계 분석

조사된 거머리말 식물체의 생육밀도와 생물량, 형태, 잎 생산성 측정 자료는 평균±SE(standard error)값으로 나타내었으며, 자료 분석과 통계적인 처리는 SPSS (ver. 18)의 프로그램을 이용하여 수행하였다.

모든 자료는 평균(mean)±표준오차(SE)로 나타내었다. 통계분석 전 모든 자료의 정규성(normality)과 등분산성(homogeneity of variance)을 검정하였다.

표준편차는 시기(월)별 생물적인 매개변수에 의한 변화의 정도를 나타내어 준다.

각각의 측정된 자료의 시간적인 변화는 one-way ANOVA를 실시하여 유의성을 판단하였다. 또한, 물리적인 환경요인이 생산성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 상관분석을 수행하였다.

결 과

1. 물리적인 환경요인

해남 사구미 연안 수온과 기온의 변화는 명확한 계절변동을 보였으며(P<0.001; Table 1), 봄과 여름에 증가

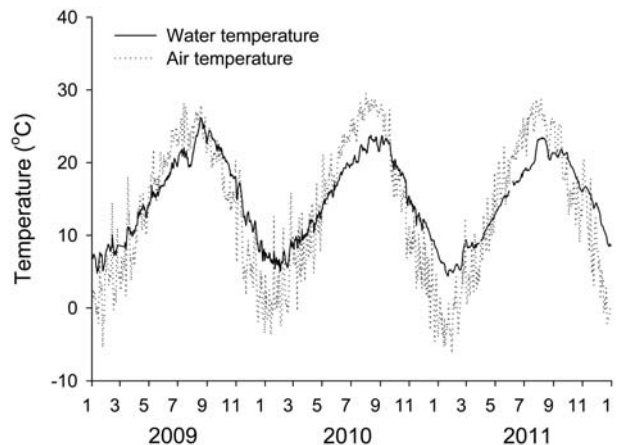
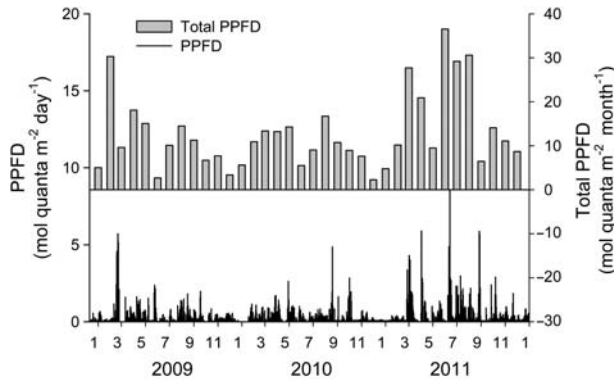


Fig. 2. Seasonal changes of water temperature and air temperature at Samumi coast from January 2009 to December 2011.

Table 1. Seasonal values of water temperature/irradiance/temperature at Haenam Sagumi coast, Korea, between January 2009 to December 2011.

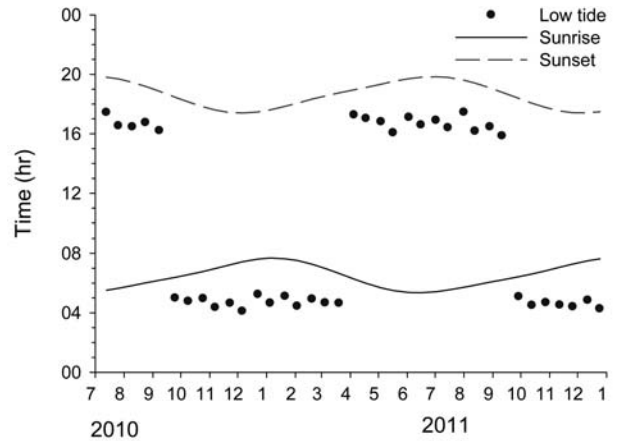
Biological characteristics	One-way ANOVA results				
	Mean \pm SE	df	MS	F ratio	P value
Water temperature ($^{\circ}$ C)	14.75 \pm 0.17	36	951.130	719.270	<0.001
Photosynthetic photon flux density (irradiance, mol quanta $m^{-2} d^{-1}$)	0.441 \pm 0.023	36	2.599	5.170	<0.001
Temperature ($^{\circ}$ C)	13.78 \pm 0.26	40	2,413.096	270.903	<0.001

**Fig. 3.** Seasonal changes of photosynthetic photon flux density (PPFD) and total PPFD at Sagumi coast from January 2009 to December 2011.

하고, 가을과 겨울에 감소하였다 (Fig. 2). 수온과 기온의 변화는 유의한 상관성 ($r=0.950$, $P<0.01$)을 보였으며, 변화의 폭은 기온이 더 크게 나타났으며, 특히 2011년 1월에는 일평균 기온이 -6.2° C로 매우 낮은 기온이 나타났다. 수온의 범위는 2011년 1월에 4.4° C로 가장 낮았고, 2009년 8월에 26.1° C로 가장 높았다.

해남 사구미 연안 수중광량은 명확한 계절변동을 보였다 ($P<0.001$; Table 1). 수중광량의 변화는 조석에 따라 변화되는 해수면의 높이와 밀접한 연관성이 있으며, 안개, 구름 등 기상 여건의 변화에 따라 짧은 시간의 변동이 나타났다 (Fig. 3). 일 누적최고광량은 2011년 6월 중순 $8.56 \text{ mol quanta } m^{-2} \text{ day}^{-1}$ 으로 최고 값을 보였다. 월별 일 누적광량의 합은 2011년 6월 ($36.51 \text{ mol } m^{-2}$)이 가장 높고, 2010년 12월 ($0.21 \text{ mol } m^{-2}$)이 가장 낮은 값을 보였다.

수중광량의 변화는 조석에 의한 수위변화와 매우 밀접한 연관관계가 있으며, 특히 저조위가 발생하는 시간대가 일출과 일몰에 따라 해가 있는 시간대인지 해가 없는 시간대인지에 따라 수중광량은 크게 차이가 난다 (Fig. 4). 주로 해가 있는 시간대에 저조위가 발생하는 계절은 주로 봄과 여름이며, 해가 없는 시간대에 저조위

**Fig. 4.** Seasonal changes in timing of low tide (plot) and day length at Samumi coast from July 2010 to December 2011.

가 발생하는 계절은 주로 가을과 겨울인 것으로 나타났다.

2. 거머리말 (*Zostera marina*)의 시간적 변화

1) 형태적인 특징

거머리말 (*Zostera marina*)의 조사기간 동안 측정된 형태적인 특징들은 모든 항목이 시간에 따라 매우 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다 ($P<0.001$).

잎의 수는 2008년 9월 3.8 ± 0.2 개로 가장 적고, 2009년 3월 6.3 ± 0.2 개로 가장 많았다 (Fig. 5A). 전체 길이는 2011년 1월 38.5 ± 1.9 cm로 가장 짧고, 2011년 7월 202.5 ± 7.1 cm로 가장 길다 (Fig. 5B). 엽초의 길이는 2011년 1월 6.6 ± 0.3 cm로 가장 짧고, 2009년 7월 35.9 ± 1.1 cm로 가장 길다 (Fig. 5C). 잎의 길이는 2011년 1월 30.2 ± 1.8 cm로 가장 짧고, 2011년 7월 169.9 ± 6.5 cm로 가장 길다 (Fig. 5E). 잎의 수, 전체 길이, 엽초의 길이, 잎의 길이는 뚜렷한 계절적인 변화를 보였으며, 봄과 여름에 증가하고 가을과 겨울 감소하였다. 전체 길이, 엽초의 길이, 잎의 길이는 2011년 1월 매우 낮은 값이 나타났으며, 물리적인 환경요인중 수온 (일평균 4.4° C)과

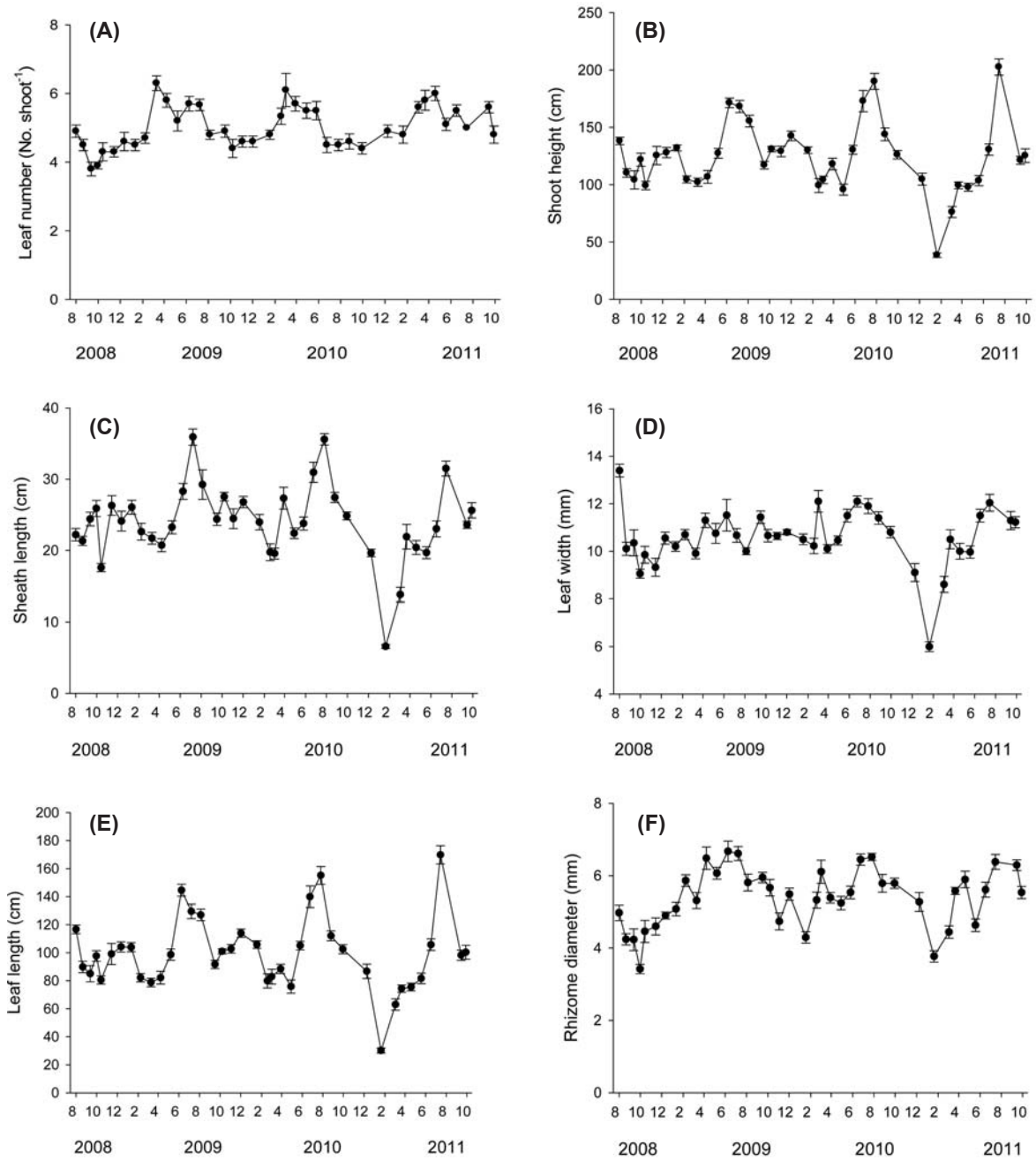


Fig. 5. Seasonal changes in *Zostera marina* morphology: leaf number (A), shoot height (B), sheath length (C), leaf width (D), leaf length (E), and rhizome diameter (F) at Sagumi coast site from August 2008 to September 2011 (means \pm SE).

기온(일평균 -6.2°C)이 매우 낮게 나타난 시기와 일치한다.

잎의 너비는 2011년 1월 6.0 ± 0.2 mm로 가장 작고, 2008년 8월 13.4 ± 0.3 mm로 가장 크다(Fig. 5D). 가장 작은 값과 가장 큰 값을 제외한 대부분의 값은 8~12 mm로 변화의 폭이 크지 않다. 계절적인 변화보다 월별

변동성이 크게 나타났다. 잎의 너비도 전체 길이, 엽초의 길이, 잎의 길이와 동일하게 2011년 1월 매우 낮은 값이 나타났다.

지하경의 너비는 2008년 9월 3.4 ± 0.1 mm로 가장 작고, 2009년 6월 6.7 ± 0.3 mm로 가장 크다(Fig. 5F). 뚜렷한 계절적인 변화를 보였으며, 봄과 여름에 증가하고

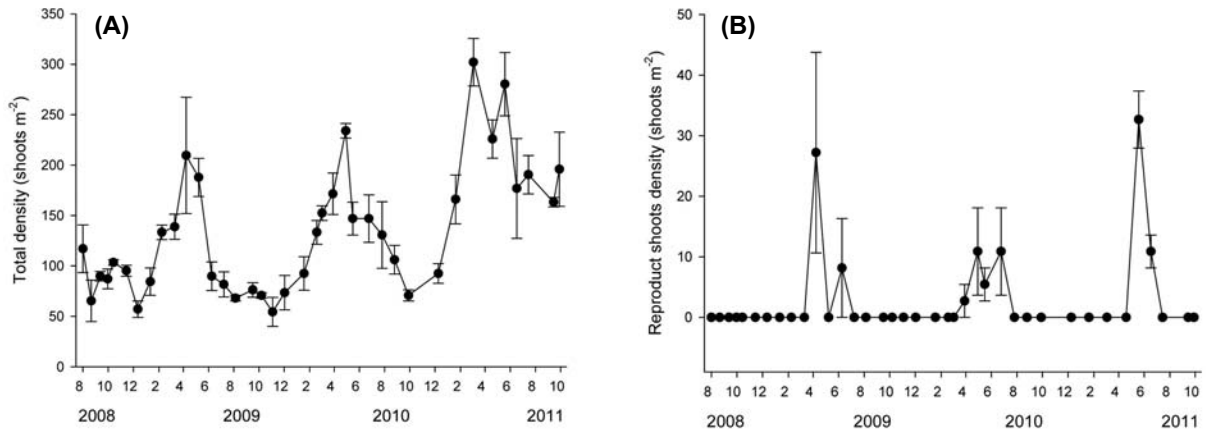


Fig. 6. Seasonal changes in *Zostera marina* shoot total density (A) and reproductive shoot density (B) at Sagumi coast site from August 2008 to September 2011 (means \pm SE).

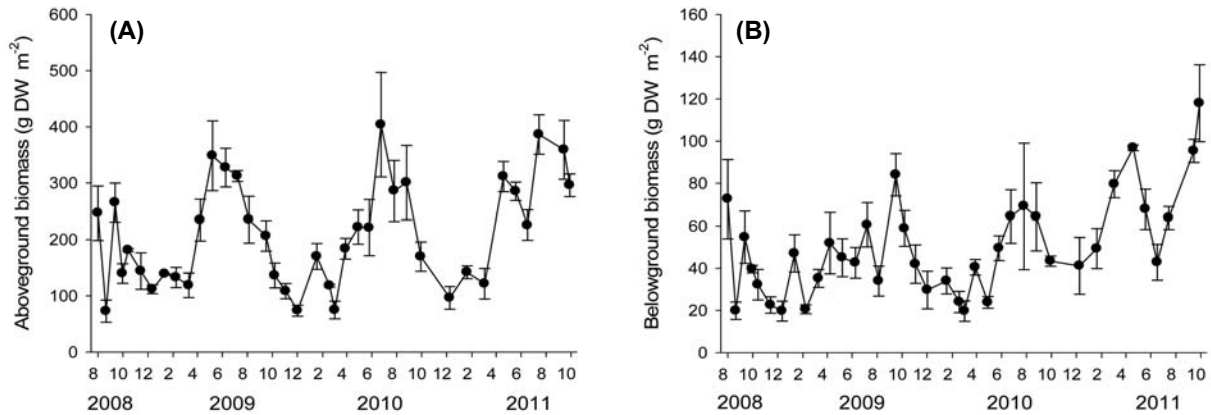


Fig. 7. Seasonal changes in *Zostera marina* aboveground biomass (A) and belowground biomass (B) at Sagumi coast site from August 2008 to September 2011 (means \pm SE).

가을과 겨울 감소하였다.

거머리말의 형태적인 특징들은 전체 길이, 엽초의 길이, 잎의 너비, 잎의 길이는 물리적인 환경요인중 수온과 기온이 매우 낮게 나타난 시기(2011년 1월)에 매우 낮게 나타나 매우 낮은 수온과 기온은 거머리말 생육환경에 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다.

2) 생육밀도와 생물량

거머리말 (*Zostera marina*)의 생육밀도와 생물량은 시간의 변화에 따라 매우 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다 ($P < 0.001$).

전체 생육밀도는 2009년 11월 54.4 ± 14.4 shoots m^{-2} 로 가장 적고, 2011년 3월 302.04 ± 23.6 shoots m^{-2} 로 가장 많았다 (Fig. 6A). 뚜렷한 계절적인 변화를 보였으며, 봄에 증가하고 여름부터 겨울까지 감소하였다. 생식

지의 밀도는 봄부터 여름까지 제한된 시기에만 나타났다 (Fig. 6B).

지상부 생물량은 2008년 8월 72.9 ± 19.8 g DW m^{-2} 로 가장 적고, 2010년 6월 403.7 ± 93.0 g DW m^{-2} 로 가장 많았다 (Fig. 7A). 뚜렷한 계절변화를 나타내었으며, 봄과 여름에 증가하고 가을과 겨울에 감소하였다.

지하부 생물량은 2010년 3월 19.7 ± 4.9 g DW m^{-2} 로 가장 적고, 2011년 9월 117.9 ± 18.2 g DW m^{-2} 로 가장 많았다 (Fig. 7B). 지하부 생물량은 계절적인 변화보다 각 월별 변동성이 큰 것으로 나타났다.

3) 잎의 성장

거머리말 (*Zostera marina*)의 조사기간 동안 측정된 잎의 성장은 시간의 변화에 따라 매우 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다 ($P < 0.001$).

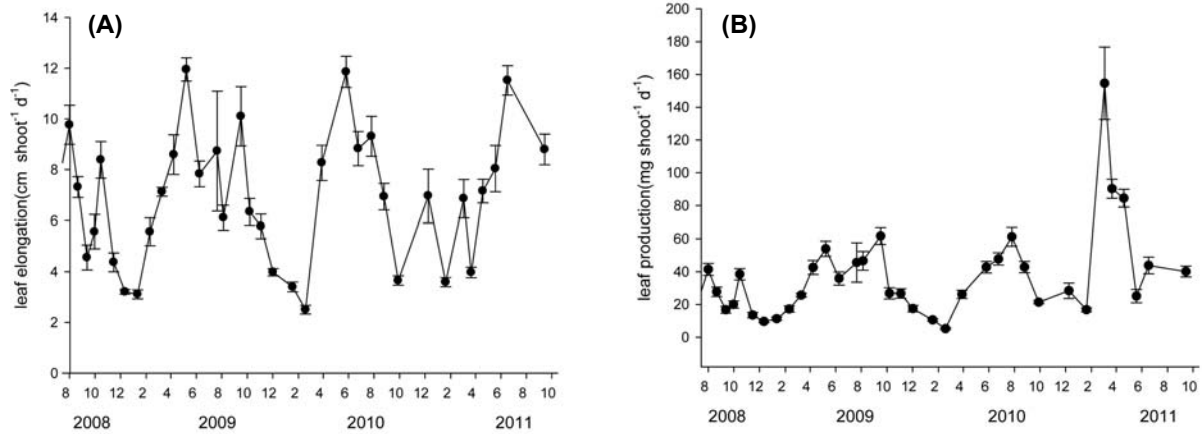


Fig. 8. Seasonal changes in *Zostera marina* productivity: leaf elongation (A), leaf production (B) at Sagumi coast site from August 2008 to September 2011 (means \pm SE).

Table 2. Pearson correlation coefficients for 8 characters (WT: water temperature, PPFD: photosynthetic photon flux density, Temp: temperature, SH: shoot height, SD: shoot density, TB: total biomass, LE: leaf elongation, LP: leaf production).

	WT	PPFD	Temp	SH	SD	TB	LE
PPFD	0.114						
Temp	0.950**	0.239					
SH	0.624**	-0.049	0.675**				
SD	-0.199	0.461*	-0.040	-0.356			
TB	0.686**	0.074	0.790**	0.557**	0.278		
LE	0.536**	0.273	0.631**	0.309	0.293	0.647**	
LP	0.299	0.393*	0.343	0.061	0.536**	0.387*	0.464*

*, Different significantly at $P < 0.05$; **, $P < 0.01$

잎의 성장속도 (leaf elongation)는 2010년 2월 2.5 ± 0.4 cm shoot⁻¹ d⁻¹로 가장 낮고, 2009년 12.0 ± 2.0 cm shoot⁻¹ d⁻¹로 가장 높다 (Fig. 8A). 잎의 생산성 (leaf production)은 2010년 2월 5.3 ± 1.4 mg shoot⁻¹ d⁻¹로 가장 낮고, 2011년 3월 154.6 ± 69.9 mg shoot⁻¹ d⁻¹로 가장 높다 (Fig. 8B). 잎의 성장속도와 잎의 생산성은 계절변화를 나타내었으며, 봄과 여름에 증가하고 가을과 겨울에 감소하였다.

4) 물리적 환경요인과의 상관성

물리적인 환경요인과 거머리말 (*Zostera marina*)의 전체 길이, 생육밀도, 총 생물량, 잎의 성장속도, 잎의 생산성과의 상관성을 분석하였다. 전체 길이는 수온 ($r=0.624$, $p < 0.01$), 기온 ($r=0.675$, $p < 0.01$)과 유의한 양의 상관성을 보였다. 생육밀도는 수중광량 ($r=0.461$, $p < 0.05$)과 유의한 양의 상관성을 보였다. 총 생물량은 수온 ($r=0.686$, $p < 0.01$), 기온 ($r=0.790$, $p < 0.01$)과 유의한 양의 상관성을 보였다. 잎의 성장속도는 수온 ($r=0.536$, $p <$

Table 3. Relationship between density, shoot height and above biomass, total biomass of *Zostera marina* at Haenam Sagumi coast, Korea, between December 2008 and September 2011.

	Above biomass		Total biomass	
	r ²	P value	r ²	P value
Shoot density	0.071	0.107	0.101	0.052
Shoot height	0.314	<0.001	0.263	0.001

0.01), 기온 ($r=0.631$, $p < 0.01$)과 유의한 양의 상관성을 보였다. 잎의 생산성은 수중광량 ($r=0.393$, $p < 0.05$)과 유의한 양의 상관성을 보였다.

5) 생육밀도 및 식물체 크기와 생물량의 관계

해남 사구미 연안 거머리말의 생육밀도 및 식물체의 크기와 생물량의 관계를 분석한 결과 지상부 생물량의 시간적 변동은 생육밀도보다 전체 길이의 시간적 변동 ($r^2=0.314$, $P < 0.001$)이 반영되어 변동되었다.

고 찰

해남 사구미 연안에서는 거머리말, 애기거머리말, 수 거머리말 3종이 출현하였다. 사구미 연안의 해초종들은 혼재하지 않고 단일종으로 분포하였고, 공간적인 분포가 제한되거나 명확히 구분되었다. 거머리말은 조간대 하부에서부터 조하대 수심 2.5 m까지 출현하였으며, 사구미 연안에서 가장 우점 분포(745,397 m²)를 하였다.

거머리말은 세계적으로 널리 분포하는 우점종으로 알려져 있다(Short *et al.*, 2001). 거머리말 개체군은 측지와 종자에 의해 번식하는 다년생 해초이다. 서식지에 따라 거머리말은 수개월 동안 종자가 발아하여 영양지가 되고 생식지를 형성하여 개화한 후 생활사를 마치는 일년생 생식전략을 보이기도 한다(Santamaria-Gallegos *et al.*, 2000; Lee, 2008). 해남 사구미 연안의 거머리말은 온대지역 대부분의 거머리말 생활사인 다년생 생식전략을 보였다. 또한, 해남 사구미 연안 거머리말의 형태적인 특징, 서식밀도, 생물량, 생산성 등은 계절에 따라 유의한 차이를 보였으며, 대부분 초여름에 높은 값이 나타났고, 겨울에 낮은 값이 나타났다. 해남 사구미 연안 거머리말 생식지는 4월에서 6월 사이 제한적으로 출현하였다.

식물체의 크기와 성장의 시간적인 변동은 수중광량(Koch and Beer, 1996; Vermaat and Verhagen, 1996; Moore *et al.*, 1997), 수온(Philillips *et al.*, 1983; Orth and Moore, 1986; Meling-Lopez and Ibarra-Obando, 1999; Lee *et al.*, 2005a), 영양염(Udy and Dennison, 1997)이 주로 반영된다. 온대지역에서 해초의 성장, 생물량, 식물체의 크기는 수온과 수중광량이 증가하는 봄과 여름에 증가하며, 가을과 겨울에 감소된다(Philillips *et al.*, 1983; Orth and Moore, 1986; Vermaat and Verhagen, 1996). 본 연구에서 수온, 수중광량, 기온의 변화를 조사한 결과 모든 항목이 뚜렷한 계절변동을 보였으며, 봄과 여름에 증가하며, 가을과 겨울에 감소되었다.

해남 사구미 연안 거머리말 서식지의 물리적 환경요인과 거머리말 성장특성(전체 길이, 생육밀도, 총 생물량, 잎의 성장속도, 잎의 생산성)의 상관성을 분석한 결과 수중광량보다 수온의 변화에 더욱 크게 영향을 받은 것으로 나타났다(Wetzel and Penhale, 1983; Lee and Duntion, 2000; Lee, 2008).

수온의 변화가 거머리말 잎의 생산성에 미치는 영향을 분석한 결과 수온이 15~20°C일 때 생산성이 가장 높았으며, 수온이 25°C 이상 올라가는 8월의 경우 생산

성이 급격히 감소되었다. 여름에 거머리말의 형태, 생육 밀도, 생물량, 잎의 성장이 감소하는 것은 높은 수온으로 인하여 성장을 저해하는 요소로 작용한 것으로 추정된다(Marsh *et al.*, 1986; Sfriso and Ghetti, 1998; Lee *et al.*, 2005a). 이러한 현상은 수온 변화에 따른 해초의 광합성과 호흡의 비율 변화와 관련이 있으며, 일반적으로 고수온에서 해초의 광합성은 거의 증가하지 않으나 호흡은 급격히 증가하여 생장이 저해된다고 보고되었다(Barber and Behrens, 1985). 또한, 온대 지방에 서식하는 해초 생장의 최적온도는 15~20°C, 아열대 및 열대 지방에 서식하는 해초 생장의 최적온도는 25~31°C 내외로 보고되었다(Lee *et al.*, 2007). 본 조사에서 수온과 기온의 변화는 2011년 1월 매우 낮게 나타났으며(수온 일평균 4.4°C, 기온 일평균 -6.2°C), 거머리말 식물체의 크기 등 성장특성 또한 2011년 1월 매우 작은 값이 나타나 거머리말의 생육은 저수온에도 생장이 저해를 받는 것으로 판단된다.

수중광량의 변화는 조석에 의한 수위변화와 매우 밀접한 연관관계가 있으며, 특히 저조위가 해가 있는 시간대에 발생하는 봄과 여름에 증가하고 해가 없는 시기에 발생하는 가을과 겨울에 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 4). 조사기간 동안 일 누적광량의 변동은 명확한 계절변동을 나타내었다. 일 누적광량의 최고값은 2011년 6월 중순 8.56 mol m⁻² day⁻¹이었고, 월별 일 누적광량의 합은 2011년 6월(36.51 mol m⁻²)이 가장 높고, 2010년 12월(0.21 mol m⁻²)이 가장 낮은 값을 보였다. 일반적으로 거머리말의 포화광량(H_{sat})은 100~200 μmol m⁻² s⁻¹이며(Dennison, 1987), 포화광량이 하루 2.5~4시간 이상 요구되는 것으로 추정하였다(Dennison and Albert, 1986; Zimmerman *et al.*, 1989; Kraemer and Albert, 1993). 해남 사구미 연안에서 일 누적광량은 대부분 매우 낮은 것으로 측정되었으나 거머리말의 형태, 생육밀도, 생물량, 잎의 성장 조사결과 생존과 성장에 지장이 없는 것으로 판단되며, 상관분석결과 거머리말의 잎의 생산성은 수중광량과 유의한 양의 상관성(r=0.393, P<0.05)이 있는 것으로 나타나 제한요인으로 작용하는 것을 알 수 있었다.

따라서, 시간의 변화에 따른 거머리말의 계절특성은 고수온과 저수온이 발생하는 여름과 겨울에 식물생장에 영향을 받는 것으로 나타났고, 조석에 의한 수위변화에 따라 수중광량이 낮은 가을과 겨울에도 식물생장에 영향을 받는 것으로 나타나 식물의 생장은 봄에 가장 유리한 환경조건이 형성되는 것으로 사료된다.

거머리말 잎의 성장속도는 생물량과 유의한 양의 상

관성($r=0.647, P<0.01$)이 있는 것으로 나타났고, 잎의 생산성은 생육밀도($r=0.536, P<0.01$) 및 생물량($r=0.387, P<0.05$)과 유의한 양의 상관성이 있는 것으로 나타나 잎의 성장속도와 생산성은 전체 길이보다 생육 밀도 및 생물량과 상관성이 높은 것으로 나타났다.

여러 연구자들은 다년생 해초의 지상부 생물량의 계절변동은 주로 생육밀도와 식물체의 크기에 따른다고 발표되었다(Sfriso and Ghetti, 1998; Laugier *et al.*, 1999; Guidetti *et al.*, 2002). 또한, 크기가 작은 종은 생육밀도와 식물체의 크기가 주로 반영되는 반면 크기가 큰 종은 식물체의 크기가 주로 반영되는 것으로 발표되었다(Duarte, 1991; Marba *et al.*, 1996). 본 연구에서 식물체의 크기가 상대적으로 큰 해남 사구미 연안 거머리말의 생육밀도 및 식물체의 크기와 생물량의 관계를 분석한 결과 지상부 생물량의 시간적 변동은 생육밀도보다 전체 길이의 시간적 변동($r^2=0.314, P<0.001$)이 반영되어 변동되었다.

해남 사구미 연안 거머리말의 계절특성을 분석한 결과 거머리말의 성장특성(형태적인 특징, 생육밀도, 생물량, 잎의 생산성 등)은 수온과 수중광량에 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히 수온이 증가하는 3월부터 거머리말의 성장특성들이 증가하였고, 수온이 낮은 시기에는 성장특성들도 감소되었다. 특이한 것은 수온이 높은 8월의 경우 성장특성이 감소하였으며, 이는 고수온에서 조사지역의 거머리말이 생장에 저해를 받은 것으로 판단된다. 또한, 매우 낮은 수온에서 생장에 저해를 더욱 크게 받은 것으로 나타났다. 결론적으로 해남 사구미 연안에 서식하는 거머리말은 수온변화에 성장특성이 매우 민감하게 반응하며, 고수온과 저수온에 생장이 크게 저해되는 것을 알 수 있었다. 향후 기온이 급격히 감소되거나 상승하는 이상기후가 발생될 경우 거머리말의 생장에 저해를 크게 받을 것으로 예상된다.

적 요

한국에 자생하는 거머리말속(*Zostera*, Zosteraceae) 거머리말(*Zostera marina* L.)의 시간적인 변동에 따른 형태 및 생태학적 특성을 파악하기 위하여 생육 환경, 형태학적 특징, 생육 밀도, 생물량, 잎의 성장을 비교 분석하였다.

거머리말 성장특성들은 수온과 기온의 변화에 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 수온의 증가에 따라 생장이 증가하지만 여름의 높은 수온은 생장을 저해하는 요소

로 작용하였다. 거머리말은 높은 수온에 민감한 반응을 보였으며, 매우 낮은 수온도 생장을 저해하는 요소로 작용한 것으로 나타났다.

거머리말 서식지에 투입되는 수중광량은 조석의 변화에 따라 계절적인 차이가 있는 것으로 분석되었다. 해남 사구미 연안 거머리말 서식지의 광량은 낮은 값으로 생존에 지장은 없으나 계절변화에 따라 거머리말 생산성에 제한요소로 작용한 것으로 판단된다.

결론적으로 거머리말은 수온, 광량 등 환경변화의 영향으로 뚜렷하게 시간적인 변동이 나타났으며, 특히 고수온과 저수온에 의해 생장이 크게 저하되는 것으로 나타났다.

REFERENCES

- Adams, J.B., W.T. Knoop and G.C. Bate. 1992. The distribution of estuarine macrophytes in relation to freshwater. *Botanica Marina* **35**: 215-226.
- Adams, J.B. and M.M.B. Talbot. 1992. The influence of river impoundment on the estuarine seagrass *Zostera capensis* Setchell. *Botanica Marina* **35**: 69-75.
- Barber, B.J. and P.J. Behrens. 1985. Effects of elevated temperature on seasonal in situ leaf productivity of *Thalassia testudinum* Banks ex König and *Syringodium filiforme* Kützting. *Aquatic Botany* **22**: 61-69.
- Bulthuis, D.A. 1987. Effects of temperature on photosynthesis and growth of seagrass. *Aquatic Botany* **27**: 27-40.
- Den Hartog, C. 1970. The Sea-Grasses of the World. North-holland Publication Co. 275.
- Dennison, W.C. 1987. Effects of light on seagrass photosynthesis, growth and depth distribution. *Aquatic Botany* **27**: 15-26.
- Dennison, W.C. and R.S. Albert. 1986. Photoadaptation and growth of *Zostera marina* L. (eelgrass) transplants along a depth gradient. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **98**: 265-282.
- Duarte, C.M. 1991. Seagrass depth limits. *Aquatic Botany* **40**: 363-377.
- Fonseca, M.S. and W.J. Kenworthy. 1987. Effects of temperature on photosynthesis and growth of seagrass. *Aquatic Botany* **27**: 59-78.
- Guidetti, P., M. Lorenti, M.C. Buia and L. Mazzella. 2002. Temporal dynamics and biomass partitioning in three Adriatic seagrass species: *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina*. *Marine Ecology* **23**: 51-67.
- Hanekom, H. and D. Baird. 1988. Distribution and variations in seasonal biomass of eelgrass *Zostera capensis* in the Kromme estuary, St. Francis Bay, South Africa. *South Africa Journal of Science* **7**: 51-59.

- Harrison, P.G. 1982. Comparative growth of *Zostera japonica* Aschers. and Graebn. and *Zostera marina* L. under simulated intertidal and subtidal conditions. *Aquatic Botany* **14**: 373-379.
- Jagtap, T.G. 1991. Distribution of seagrass along the Indian coast. *Aquatic Botany* **40**: 379-386.
- Koch, E.W. and S. Beer. 1996. Tides, light and the distribution of *Zostera marina* in Long Island Sound, USA. *Aquatic Botany* **53**: 97-107.
- Kraemer, G.P. and R.S. Albert. 1993. Age-related patterns of metabolism and biomass in subterranean tissues of *Zostera marina* (eelgrass). *Marine Ecology Progress Series* **95**: 193-203.
- Kuo, J. and J. McComb. 1989. Seagrass taxonomy, structure and development. In Larkum A.W.D., A.J. McComb, and S.D. Shepherd (ed.). *Biology of Seagrasses. A treatise on the biology of seagrasses with special reference to the Australian region. Aquatic Plant Series* **2**: 6-73.
- Kwon, C.J. 2002. Morphometric Analysis of *Zostera marina* L. Found in Various Habitats Along the Eastern Coast of Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* **20**(1): 66-72.
- Laugier, T., V. Rigollet and M.L. Casabianca. 1999. Seasonal dynamics in mixed eelgrass beds, *Zostera marina* L. and *Z. noltii* Hornem., in a Mediterranean coastal lagoon (Thau lagoon, France). *Aquatic Botany* **63**: 51-69.
- Lee, K.S. and K. Duntion. 2000. Effects of nitrogen enrichment on biomass allocation, growth, and leaf morphology of seagrass *Thalassia testudinum*. *Marine Ecology Progress Series* **196**: 39-48.
- Lee, K.S., S.R. Park and J.B. Kim. 2005a. Production dynamics of the eelgrass, *Zostera marina* in two bay systems on the south coast of the Korean Peninsula. *Marine Biology* **147**: 1091-1108.
- Lee, K.S., S.R. Park and Y.K. Kim. 2007. Effects of irradiance, temperature, and nutrients on growth dynamics of seagrasses. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **350**: 144-175.
- Lee, S.M. 2008. The ecological characteristics of *Zostera marina* on the Southern coast of Korea. Ph. D. Thesis. Hanyang University, Seoul (in Korea).
- Lee, S.M., S.Y. Lee and C.I. Choi. 2005b. Reproductive Phenology of Four Korean Seagrasses, *Zostera caepitosa*, *Z. caulescens*, *Z. japonica* and *Z. marina*. *Ocean and Polar* **27**(2): 125-133.
- Lee, S.Y., S.M. Lee and C.I. Choi. 2002. Phenology and morphometrics change of *Zostera caepitosa* Miki population at the Duksan Port in the eastern coast of Korea. *Journal of Environmental Biology* **20**: 339-346.
- Lee, S.Y., S.M. Lee, J.H. Kim and C.I. Choi. 2003. Phenology and morphometrics change of *Zostera marina* L. population at the Duksan Port in the eastern coast of Korea. *Journal of the Korean Society of Oceanography*. 「The Sea」 **8**: 70-77.
- Lee, S.Y. 2001. A study on the ecological and taxonomical characteristics of *Zostera* (Zosteraceae) in Korea. Ph. D. Thesis, Hanyang University, Seoul, 167 p (in Korea).
- Marba, N., J. Cebrian, S. Enriquez and C.M. Duarte. 1996. Growth patterns of western Mediterranean seagrass: species-specific responses to seasonal forcing. *Marine Ecology Progress Series* **133**: 203-215.
- Marsh, J.A. Jr, W.C. Dennison and R.S. Alberte. 1986. Effects of temperature on photosynthesis and respiration in eelgrass (*Zostera marina* L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **101**: 257-267.
- Meling-Lopez, A.E. and S.E. Ibarra-Obando. 1999. Annual life cycles of two *Zostera marina* L. population in the Gulf of California: contrasts in seasonality and reproductive effort. *Aquatic Botany* **65**: 59-69.
- Miki, S. 1932. On seagrass new to Japan. *Botanical Magazine* **46**: 774-788.
- Miki, S. 1933. On the seagrasses in Japan (1). *Zostera* and *Phyllospadix*, with special reference to morphological and ecological characters. *Botanical Magazine* **47**: 842-862.
- Moore, K.A., R.L. Wetzel and R.J. Orth. 1997. Seasonal pulses of turbidity and their relations to eelgrass (*Zostera marina* L.) survival in an estuary. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **215**: 115-134.
- Orth, R.J. and K.A. Moore. 1986. Seasonal and year-to-year variations in growth of *Zostera marina* L. (eelgrass) in the lower Chesapeake Bay. *Aquatic Botany* **24**: 335-341.
- Perez-Llorens, J.L. and F.X. Niell. 1993. Seasonal dynamics of biomass and nutrient content in the intertidal seagrass *Zostera noltii* Hornem. from Palmones River estuary, Spain. *Aquatic Botany* **46**: 49-66.
- Phillips, R.C., C. McMillan and K.W. Bridges. 1983. Phenology of eelgrass, *Zostera marina* L. along latitudinal gradients in North America. *Aquatic Botany* **15**: 133-144.
- Santamaria-Gallegos, N.A., J.I. Sanchez-Lizaso and E.F. Felix-Pico. 2000. Phenology and growth cycle of annual subtidal eelgrass in a subtropical locality. *Aquatic Botany* **66**: 329-339.
- Sfriso, A. and P.F. Ghetti. 1998. Seasonal variation in biomass, morphological parameters and production of seagrasses in the lagoon of Venice. *Aquatic Botany* **61**: 207-223.
- Short, F.T. 1987. Effect of sediment nutrients on seagrasses: literature review and mesocosm experiment. *Aquatic Botany* **27**: 41-57.
- Short, F.T., R.G. Coles and C. Pergent-Martini. 2001. Global seagrass distribution. p. 5-10. In: *Global Seagrass Research Methods* (Short, F.T. and R.G. Coles. eds.). Elsevier, Amsterdam.
- Shin, H.C. and H.K. Choi. 1998. Taxonomy and distribution of *Zostera* (Zosteraceae) in eastern Asia, with special reference to Korea. *Aquatic Botany* **60**: 49-66.
- Talbot, M.M.B. and G.C. Bate. 1987. The distribution and bio-

- mass of seagrass *Zostera capensis* in a warmtemperate estuary. *Botanical Magazine* **30**: 91-99.
- Tomlinson, P.B. 1982. Helobiae (Alismatidae). *In*: Anatomy of the Monocotyledons (Metcalfe C.R. ed). Vol. VII, Clarendon Press, Oxford.
- Udy, J.W. and W.C. Dennison. 1997. Growth and physiological responses of three seagrass species to elevated sediment nutrients in Moreton Bay, Australia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **217**: 253-277.
- Vermaat, J.E. and F.C.A. Verhagen. 1996. Seasonal variation in the intertidal seagrass *Zostera noltii* Hornem: coupling demographic and physiological patterns. *Aquatic Botany* **52**: 259-281.
- Wetzel, R.G. and P.A. Penhale. 1983. Production ecology of seagrass communities in the lower Chesapeake Bay. *Marine Technology Society Journal* **17**: 22-31.
- Zieman, J.C. 1974. Methods for the study of growth and production of turtle grass, *Thalassia testudinum* Konig. *Aquaculture* **4**: 139-143.
- Zimmerman, R.C., R.D. Smith and R.S. Albert. 1989. Thermal acclimation and whole-plant carbon balance in *Zostera marina* L. (eelgrass). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **130**: 93-109.