

Article

<https://doi.org/10.7850/jkso.2018.23.4.192>
pISSN : 1226-2978

한반도 동해 연안에 자생하는 말갈피, 새우말의 생장 특성

김중협¹ · 김재훈¹ · 김구연² · 박정임^{1*}¹해양생태기술연구소, ²경남대학교 사범대학 과학교육과

Growth Dynamics of the Surfgrass, *Phyllospadix iwatensis* on the Eastern Coast of Korea

JONG-HYEOB KIM¹, JAE HOON KIM¹, GU YEON KIM² AND JUNG-IM PARK^{1*}¹Marine-Eco Technology Institute, 406 Sinseon-ro, Nam-gu, Busan 48520, Korea²Dept. of Science Education, Kyungnam University, 7 Kyungnamdaehak-ro, Masanhappo-gu, Changwon-si, Gyeongsangnam-do 51767, Korea*Corresponding author: jipark@marine-eco.co.kr

Editor Jong-Gyu Park

Received 14 August 2018; Revised 28 September 2018; Accepted 5 October 2018

ABSTRACT

말갈피 새우말은 북태평양에 위치한 북동아시아 연안의 암반에 자생한다. 우리나라에서 새우말은 주로 동해 중부해역의 암반조하대에 나타나며, 본 조사에서는 이 곳에 서식하는 새우말의 생태적 특성을 알아보기 위해, 2017년 8월부터 2018년 7월까지 새우말 군락지의 수중광량, 수온의 변화와 함께 매월 새우말의 형태적 특성, 밀도, 생체량과 잎 생산성의 변화를 조사하였다. 수중광량과 수온은 봄과 여름에 증가하고 가을과 겨울에 감소하는 뚜렷한 계절 경향을 보였다. 새우말의 형태, 밀도, 생체량과 잎 생산성은 겨울과 봄에 증가하고, 여름과 가을에 감소하였다. 새우말의 개체당 잎 생산성과 단위면적당 잎 생산성은 수중광량과 유의한 양의 상관관계를 보였다. 새우말의 연간 평균 단위면적당 잎 생산량은 $6.3 \pm 1.3 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 로, 2018년 5월 최대값($16.4 \pm 4.4 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)과 2월에 최소값($2.4 \pm 0.3 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)을 나타내었다. 새우말 생장의 최적 수온은 $12\text{-}13^\circ\text{C}$ 로 조사되었다.

The surfgrass *Phyllospadix iwatensis* is native in the exposed rocky shores of the Northwestern Pacific Ocean. In Korea, *P. iwatensis* is mainly found on the rocky subtidal zone in the central eastern coast. In this study, to examine the ecological characteristics of *P. iwatensis*, we investigated changes in morphological characteristics, density, biomass, and leaf productivity as well as changes in the underwater irradiance and water temperature of its habitat monthly from August 2017 to July 2018. Underwater irradiance and water temperature showed clear seasonal changes; increases in spring and summer and decreases in fall and winter. Morphological characteristics, shoot density, biomass, and leaf productivities of *P. iwatensis* exhibited significant seasonal variations, increasing in winter and spring and decreasing in summer and fall months. *P. iwatensis* leaf productivities both per shoot and per unit area showed significant positive correlations with underwater irradiance. The average leaf productivity of *P. iwatensis* per area was $6.3 \pm 1.3 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, while minimum and maximum values were $2.4 \pm 0.3 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in February 2018 and $16.4 \pm 4.4 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in May 2018, respectively. The optimum water temperature for the growth of *P. iwatensis* in this study was between $12\text{-}13^\circ\text{C}$.

Keywords: Surfgrass, *Phyllospadix iwatensis*, Growth dynamics, Underwater irradiance, Water temperature

1. 서론

전세계 연안에는 약 60 종의 해양현화식물인 갈피가 서식하고 있다. 대부분의 갈피는 파도가 약하고 조류가 비교적 잔잔한 연성저질에 분포하나, 파도가 심한 해역의 암반에도 5종의 말갈피가 분포하고 있다. 한반도, 중국 및 일본을 포함하는 북동아시아의 암반 해역에는 2종의 말갈피(surfgrass) 즉, 새우말(*Phyllospadix iwatensis*)과 게바다말(*P. japonicus*)이 자생한다. 그리고, 알래스카부터 멕시코에 이르는 태평양에 접한 북미 대륙의 암반해역에는 3종의 말갈피 즉, *P. torreyi*, *P. scouleri* 와

*P. serrulatus*가 출현한다(Green and Short, 2003). 말갈피 군락지는 암반 연안생태계에서 높은 생산성을 나타내며, 다양한 해양동물들의 먹이원을 제공하며, 서식처와 산란장 역할을 하고 있다(Turner, 1983; Williams, 1995; Ramírez-García *et al.*, 2002).

갈피는 지상부(잎과 엽초)와 지하부(지하경과 뿌리)로 구성되며 엽초아래의 성장점에서 영양변식이 이루어진다(Short and Duarte, 2001). 갈피의 지상부는 수층에서 수면을 향하며 수직으로 성장한다. 연성저질에 서식하는 거머리말을 포함한 대부분 갈피의 지하조직은 니질 또는 사질의 부드러운 퇴적물 속에서 수평으로 뻗어나가며, 지하경 마디에서 새로운 측지가 형성된다. 그러나, 파도가 심한 해역의 암반해안에 서식하는 말갈피의 지하부 즉, 지하경과 뿌리는 퇴적물이 거의 없는 딱딱한 암반에 부착하여 서식한다(Turner, 1983; Park and Lee, 2009). 말갈피는 연성저질에 분포하는 갈피와 확연히 다른 서식 환경에 정착하여 생활하고 성장한다.

침수식물인 갈피의 성장을 결정하는 주요 환경인자로는 수중광량과 수온을 들 수 있다(Lee *et al.*, 2005a). 갈피는 광합성에 필요한 충분한 양의 광이 필요하며, 따라서 수중광량은 갈피의 분포와 성장에 결정적인 영향을 미친다(Dennison, 1987; Lee *et al.*, 2007b). 오랫동안 변장하던 갈피 군락지도 급격한 부영양화나 적조 등으로 인하여 갈피 군락지에 도달하는 수중광량의 감소로 훼손되는 일이 빈번히 발생한다(Lee *et al.*, 2007a). 또한, 이식으로 조성된 거머리말 군락지에서 2주 동안 최소요구량 이상의 수중광량이 공급되지 못하자 이식된 갈피의 절반 이상이 생존하지 못하는 것이 보고되었다(Zimmerman *et al.*, 1995). 수온의 변화는 갈피의 생장이 계절 경향을 보이게 하는 주요 요인으로 알려져 있다. 온대 해역에 서식하는 갈피는 수온이 증가하는 봄과 초여름에 활발한 성장을 보이고, 수온이 높은 여름과 가을 동안 광합성율의 감소와 호흡율의 증가로 인하여 생장이 둔화되는 경향을 보인다(Lee *et al.*, 2007b). 우리나라 남해안에 우점하는 거머리말도 이러한 수온에 따른 생장의 계절성이 뚜렷히 나타나고 있으며, 봄부터 초여름까지 가장 활발한 성장을 보인다(Lee *et al.*, 2005a). 본 연구에서는 동해 중부연안 암반에서 우점하는 새우말의 생장이 남해안 연성저질에서 우점하는 거머리말의 성장과 어떠한 차이를 보이는지 알아보았다.

우리나라 연안에는 거머리말속 5종(거머리말, 포기거머리말, 수거머리말, 왕거머리말과 애기거머리말), 새우말속 2종(새우말과 게바다말)과 해호말이 서식하며, 기수해역에는 줄말이 출현한다(Kim *et al.*, 2009). 최근 국내에서도 연안생태계에서 갈피서식지 역할과 서식지 복원에 관심이 증가하면서 갈피의 생태적 특성에 관한 연구가 빈번히 이루어지고 있으나, 대부분 연구가 거머리말에 집중되어 있다(Lee *et al.*, 2005a, 2007a). 또한, 조류의 흐름이 완만한 내만 해역의 퇴적물에서 성장하는 갈피의 생태적 특성은 비교적 빈번히 보고되고 있는 반면, 상대적으로 연구 환경이 열악하고 파도가 심한 개방된 해역의 암반에 서식하는 말갈피의 생태적 특성에 대한 자료는 매우 부족한 실정이다(Park and Lee, 2009). 본 연구에서는 우리나라 동해 중부의 암반해안에 우점하는 새우말의 성장특성과 서식환경을 알아보고자한다. 새우말의 형태, 밀도, 생체량과 생산성의 변화와 함께 새우말 군락지의 수중광량과 수온의 변화를 조사하여 한반도 연안에 서식하는 새우말의 성장 특성을 최초로 보고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사지 개요 및 조사 시기

본 연구는 우리나라의 최북단에 근접한 강원도 고성군 초도면 현내리 연안(38° 29' 11" N; 128° 26' 35" E)의 새우말 군락지에서 이루어졌다. 이 지역은 반일주조로 조차는 평균 30 cm이며, 수심 2-6 m의 암반에 단일종의 말갈피, 새우말 군락이 넓게 형성되어 있다(Fig. 1). 새우말 군락지의 환경 요인과 말갈피 조사는 2017년 8월부터 2018년 7월까지 진행되었다.

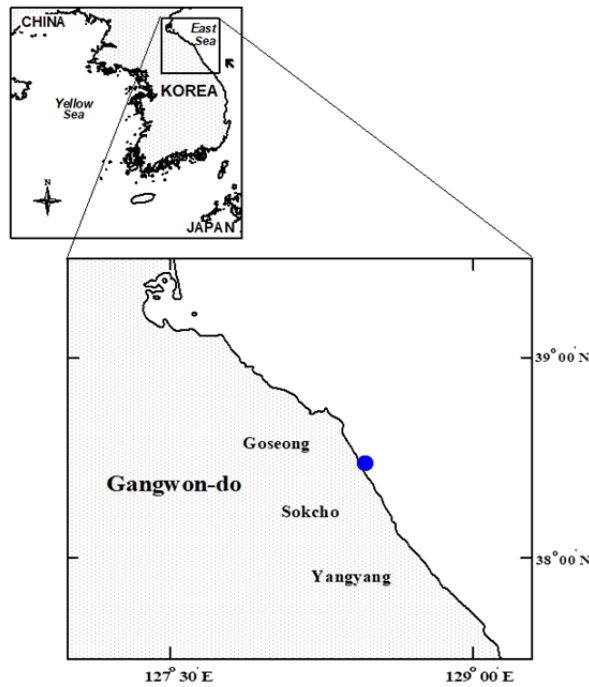


Fig. 1. Study site of *Phyllospadix iwatensis* growth dynamics. The site was located in Goseong-gun, Gangwon-do, on the open shores of the eastern coast of the Korean peninsula.

2.2 환경 요인

새우말 군락지의 수중광량과 수온을 조사하기 위해 새우말의 잎이 위치한 수심에 HOBO data logger (Onset Computer Corp., Bourne, MA, UAS) 센서를 설치하여 매 15분마다 측정하였다. 사용된 모든 센서는 LI-1400 Data logger와 LI-193 SA 구형 광량센서(Li-Cor, Inc, Lincoln, NE, USA)를 이용하여 동시 측정한 광량값과 회귀분석을 통해 조도(lumen foot⁻²) 측정치를 수중광량으로 변환하였다(Lee *et al.*, 2005a; Park and Lee, 2009). 조사 장소에 시설된 센서는 월 2회 교체되었으며, 그 때마다 측정자료를 수집하여 수중광량과 수온의 월 평균값으로 나타내었다.

2.3 새우말의 성장 특성

새우말의 형태적 특성, 밀도, 생체량과 생산성의 변화를 매월 조사하였으며, 채취한 모든 시료는 얼음이 담긴 아이스박스에 보관하여 실험실로 운반하였다. 형태적 특성의 월변화를 보기 위해 조사시기마다 10개의 성숙한 새우말 시료를 채취하여 잎의 수, 잎 폭과 두께, 엽초 길이와 폭 및 개체 길이를 측정하였다. 잎의 수는 각 개체의 엽초 위로 출현한 모든 잎의 수를 헤아렸고, 잎 폭(mm)과 두께(mm)는 3번째 잎 중간 부분의 폭과 두께를 각각 측정하였다. 엽초 길이(mm)는 성장점부터 엽초 상단 경계까지의 길이, 엽초 폭(mm)은 엽초의 가장 넓은 부분의 폭을 측정하였다. 개체길이(cm)는 성장점부터 가장 긴 잎 상단까지의 길이를 측정하였다.

밀도의 변화를 측정하기 위해 매월 임의로 던진 방형구(50×50 cm, n=4)내의 모든 개체를 영양지와 화지로 구분하여 단위 면적당 개체수로 나타내었다. 생체량의 변화를 보기 위해 임의로 놓은 방형구(10×10 cm, n=4)내의 모든 새우말을 채취하여 흐르는 물에 세척하면서 이물질 제거하여 지상부(잎과 엽초)와 지하부(지하경과 뿌리)로 구분한 후 60°C에서 48시간 이상 건조한 후 단위면적당 건중량(g DW m⁻²)으로 나타내었다. 잎 생산성의 변화는 잎 표시법(leaf marking method)을 이용

하여 측정하였다(Kentula and McIntire, 1986; Lee *et al.*, 2005a). 즉, 매월 임의로 선정된 새우말 성체의 엽초 부분에 날카로운 주사바늘로 구멍을 뚫은 후(n=10) 약 1개월 후 회수하여 기존 부분(구멍 뚫기 전)과 새로 자란 부분(구멍 뚫은 후)으로 구분 후 60°C에서 항량이 될 때까지 건조하였다. 개체당 잎 생산성(mg DW shoot⁻¹ d⁻¹)은 새로 자란 잎 중량을 실험일수로 나누어 구하였으며, 여기에 매월 측정된 서식 밀도를 곱하여 단위면적당 잎 생산성(g DW m⁻² d⁻¹)을 구하였다.

2.4 통계 분석

모든 측정치는 평균값(mean)과 표준오차(SE)로 나타내었다. 통계분석은 SPSS10.1 버전(SPSS, Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였으며, 모든 자료는 normality와 homogeneity of variance를 검정한 후 one-way ANOVA를 이용하여 조사 시기에 따른 차이의 유의성을 검사하였다. 환경요인과 말갈피 측정치의 상관성은 피어슨 상관관계 분석을 이용하여 평가하였다.

3. 결 과

3.1 환경 요인

새우말 군락지에서 측정된 수중광량은 조사시기에 따라 유의한 차이($p < 0.001$)가 나타났으며, 봄과 여름에 증가하고 겨울에 감소하는 뚜렷한 계절 경향을 나타내었다(Fig. 2). 조사기간 중 평균 수중광량은 39.3±6.7 mol photons m⁻² d⁻¹로 나타났다. 월평균 수중광량은 2017년 10월에 가장 낮았으며(10.9±2.9 mol photons m⁻² d⁻¹), 2018년 6월에 가장 높았다(78.3±6.1 mol photons m⁻² d⁻¹). 수온도 조사시기에 따라 유의한 차이($p < 0.001$)가 나타났으며, 가을과 겨울에 감소하고 봄과 여름에

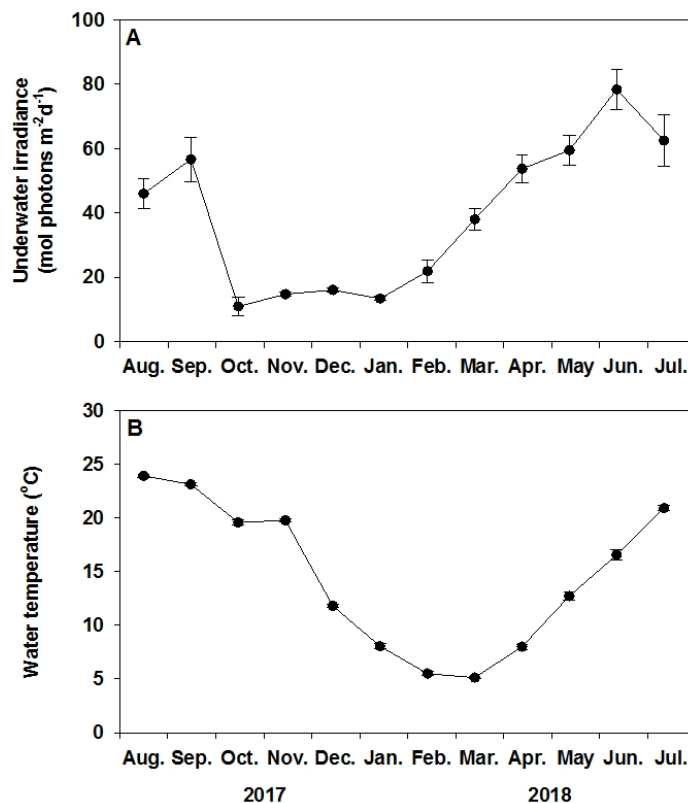


Fig. 2. Monthly changes in underwater irradiance (A), and water temperature (B) at the study site from August 2017 to July 2018.

증가하는 뚜렷한 계절 경향이 나타났다(Fig. 2A). 말갈피 군락지의 조사기간 중 평균 수온은 $14.6 \pm 2.0^\circ\text{C}$ 로 기록되었다. 월 평균 수온은 2018년 3월에 최소값($5.1 \pm 0.1^\circ\text{C}$)을 보였으며, 2017년 8월에 최대값($23.9 \pm 0.2^\circ\text{C}$)을 나타내었다(Fig. 2B).

3.2 새우말 형태적 특성

새우말의 형태(즉, 잎의 수, 잎 폭과 두께, 엽초 길이와 폭, 개체 길이)는 조사시기에 따라 유의한 차이($p < 0.001$)가 나타났다(Fig. 3). 잎의 수는 평균 5.1 ± 0.1 개로 2017년 8월에 가장 작았고(4.6 ± 0.2 개), 2018년 4월에 가장 많았다(5.9 ± 0.1 개, Fig. 3A). 잎 폭은 평균 3.0 ± 0.1 mm로, 2017년 12월에 최소값(2.8 ± 0.1 mm)을 나타낸 후 증가하여 2018년 3월에 최대값(3.3 ± 0.0 mm)이 나타났다(Fig. 3B). 잎 두께는 조사기간 중 평균 0.30 ± 0.01 mm로 2018년 3월에 가장 얇았고(0.25 ± 0.0 mm), 2018년 6월과 7월에 가장 두꺼웠다(0.35 ± 0.01 mm, Fig. 3C).

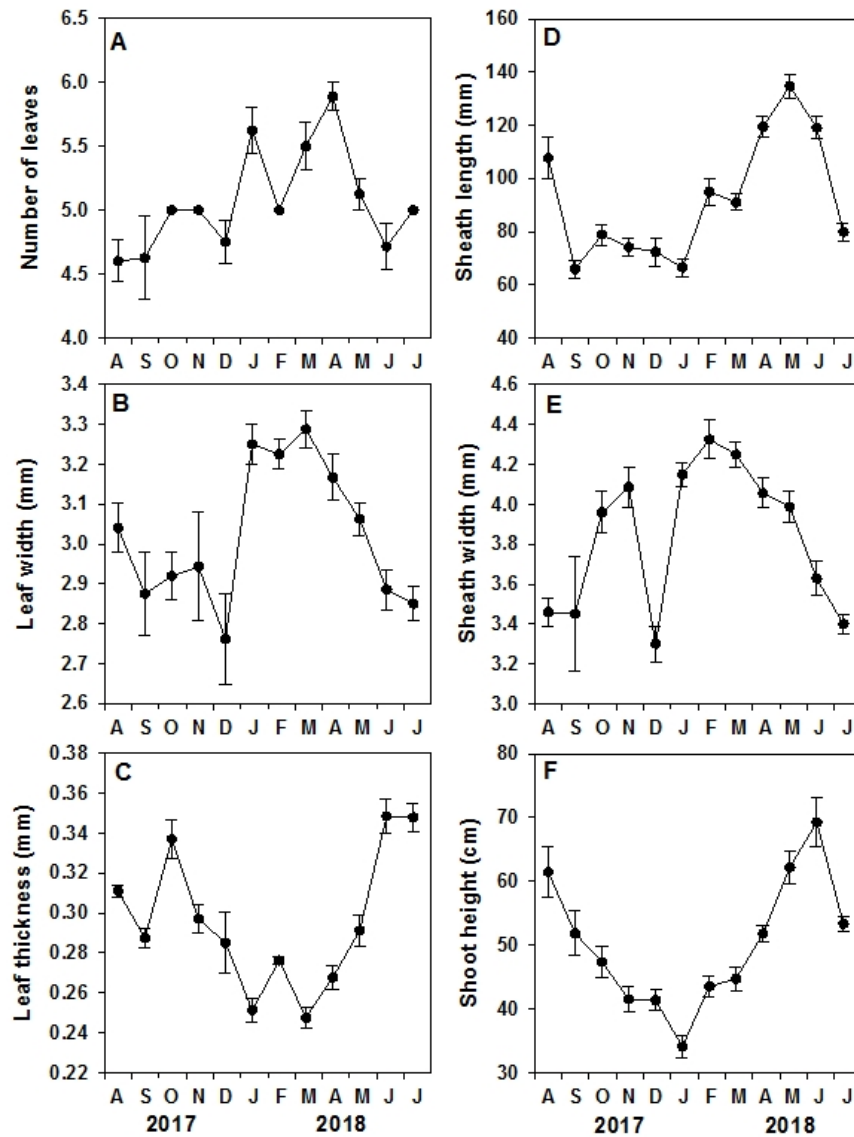


Fig. 3. Monthly changes in number of leaves per shoot (A), leaf width (B), leaf thickness (C), sheath length (D), sheath width (E), and shoot height (F) of *Phyllospadix iwatensis* from August 2017 to July 2018.

Table 1. Pearson’s correlation analysis results (two-tailed) for number of leaves (NL), leaf width (LW), sheath width (SW), sheath length (SL), leaf thickness (LT), shoot height (SH), leaf productivity per shoot (SP), areal leaf productivity (AP), vegetative shoot density (VD), spadix density (SD), total shoot density (TD), above ground biomass (AB), rhizome+root biomass (RB), total biomass (TB), underwater irradiance (UI), and water temperature (WT)

	NL	LW	SW	SL	LT	SH	SP	AP	VD	SD	TD	AB	RB	TB	UI	WT
NL	1	.758(**)	.683(*)	0.125	-.605(*)	-.414	-.256	-.247	0.133	0.388	0.368	-0.149	0.185	-0.005	-0.171	-.709(**)
LW		1	.783(**)	0.233	-.753(**)	-.290	-.177	-.125	0.525	0.114	0.509	-0.064	0.305	-0.245	-0.105	-.762(**)
SW			1	0.126	-.575	-.417	-.364	-.327	0.145	-0.003	0.117	-0.176	0.399	-0.251	-0.391	-.660(*)
SL				1	0.095	.741(**)	.674(*)	.716(**)	0.086	.741(**)	0.565	.818(**)	0.560	-0.494	.599(*)	-0.178
LT					1	0.572	0.463	0.398	-0.488	0.147	-0.304	0.421	-0.278	-0.059	0.358	.703(*)
SH						1	.820(**)	.828(**)	0.026	0.556	0.392	.832(**)	0.066	-0.355	.852(**)	0.422
SP							1	.994(**)	-0.269	.582(*)	0.166	.737(**)	0.278	-0.291	.741(**)	0.320
AP								1	-0.198	.577(*)	0.221	.742(**)	0.335	-0.285	.737(**)	0.277
VD									1	-0.111	.749(**)	-0.001	-0.137	-0.013	0.177	-0.365
SD										1	0.575	.611(*)	0.297	-0.196	.669(*)	-0.150
TD											1	0.407	0.086	-0.141	.591(*)	-0.400
AB												1	0.328	-0.374	.695(*)	-0.015
RB													1	-0.119	-0.082	-0.550
TB														1	-0.348	0.049
UI															1	0.247
WT																1

* $p < 0.05$
 ** $p < 0.01$

엽초 길이는 평균 92 ± 6.7 mm로, 2017년 9월에 가장 짧았고(65.9 ± 3.3 mm), 2018년 5월에 가장 길었다(134.8 ± 4.4 mm, Fig. 3D). 엽초 폭은 2017년 12월에 최소값(3.3 ± 0.1 mm)과 2018년 2월과 3월에 최대값(4.3 ± 0.1 mm)을 보였으며, 조사 기간 중 평균 3.8 ± 0.1 mm로 나타났다(Fig. 3E). 개체 길이는 2018년 1월 가장 짧았다(34.1 ± 1.9 cm) 서서히 증가하여 2018년 7월 최대값(69.3 ± 3.8 cm)을 나타내었으며, 조사기간 중 평균 50.2 ± 2.9 cm이었다(Fig. 3F). 개체 길이는 수중광량과 유의한 양의 상관관계($r=0.852, p < 0.01$)를 보였으며, 잎의 수($r=0.709, p < 0.01$), 잎 폭($r=0.762, p < 0.01$)과 엽초 폭($r=0.660, p < 0.01$)은 수온과 음의 상관관계를 나타내었다(Table 1).

3.3 새우말 밀도, 생체량과 생산성

새우말 영양지 밀도는 조사시기에 따라 유의한 차이($p=0.077$)는 발생하지 않았으나, 새우말 화지 밀도($p < 0.01$)와 총 밀도($p < 0.01$)는 조사 시기에 따라 유의한 변화가 나타났다(Fig. 4). 새우말 영양지의 평균 밀도는 2310.4 ± 60.0 shoot m^{-2} 로 2017년 11월에 가장 낮았고(1900.0 ± 212.1 shoot m^{-2}), 2018년 3월에 가장 높았다(2600 ± 108.0 shoot m^{-2} , Fig. 4A). 화지는 2018년 4월에 최대밀도(475.0 ± 205.6 shoot m^{-2})를 나타낸 후 7월까지 관찰되었으며, 화지 밀도는 수중광량과 유의한 양의 상관관계($r=0.669, p < 0.05$)로 나타났다(Fig. 4B, Table 1). 새우말의 연중 평균 총 밀도는 2416.7 ± 72.9 shoot m^{-2} 로 2017년 11월에 최소값(1900 ± 212.2 shoot m^{-2})과 2018년 4월에 최대값(2900 ± 158.1 shoot m^{-2})이었고, 수중광량과 유의한 양의 상관관계($r=0.591, p < 0.05$)가 나타났다(Fig. 4C, Table 1).

새우말 지상부, 지하경과 뿌리 및 단위면적당 생체량은 조사 시기별 유의한 차이($p < 0.001$)가 나타났다(Fig. 5). 지상부 생체량은 2017년 9월에 최소값($616.1 \pm 17.9 \text{ g DW m}^{-2}$)과 2018년 6월에 최대값($1001.4 \pm 82.1 \text{ g DW m}^{-2}$)이 나타났으며, 평균 $735.6 \pm 30.8 \text{ g DW m}^{-2}$ 으로 나타났다(Fig. 5A). 지상부의 생체량은 수중광량과 유의한 양의 상관관계($r=0.695, p < 0.05$)가 나타났으며(Table 1), 조사기간 평균 지상부의 생체량은 단위면적당 생체량의 약 53.8%를 차지하였다. 지하경과 뿌리의 평균 생체량은 $631.7 \pm 25.9 \text{ g DW m}^{-2}$ 로 단위면적당 생체량의 약 46.2%이었으며, 2017년 9월에 최소값($514.9 \pm 41.0 \text{ g DW m}^{-2}$)과 2018년 5월에 최대값($844.2 \pm 33.6 \text{ g DW m}^{-2}$)이 나타났다(Fig. 5B). 새우말의 단위면적당 평균 생체량은 $1367.4 \pm 46.2 \text{ g DW m}^{-2}$ 이었으며, 2017년 9월에 최소값($1131.3 \pm 39.5 \text{ g DW m}^{-2}$)과 2018년 5월에 최대값($1691.3 \pm 64.0 \text{ g DW m}^{-2}$)이 나타났다(Fig. 5C).

새우말의 개체당 잎 생산성과 단위면적당 잎 생산성은 조사시기에 따라 유의한 차이($p < 0.001$)가 나타났으며, 봄에 높은

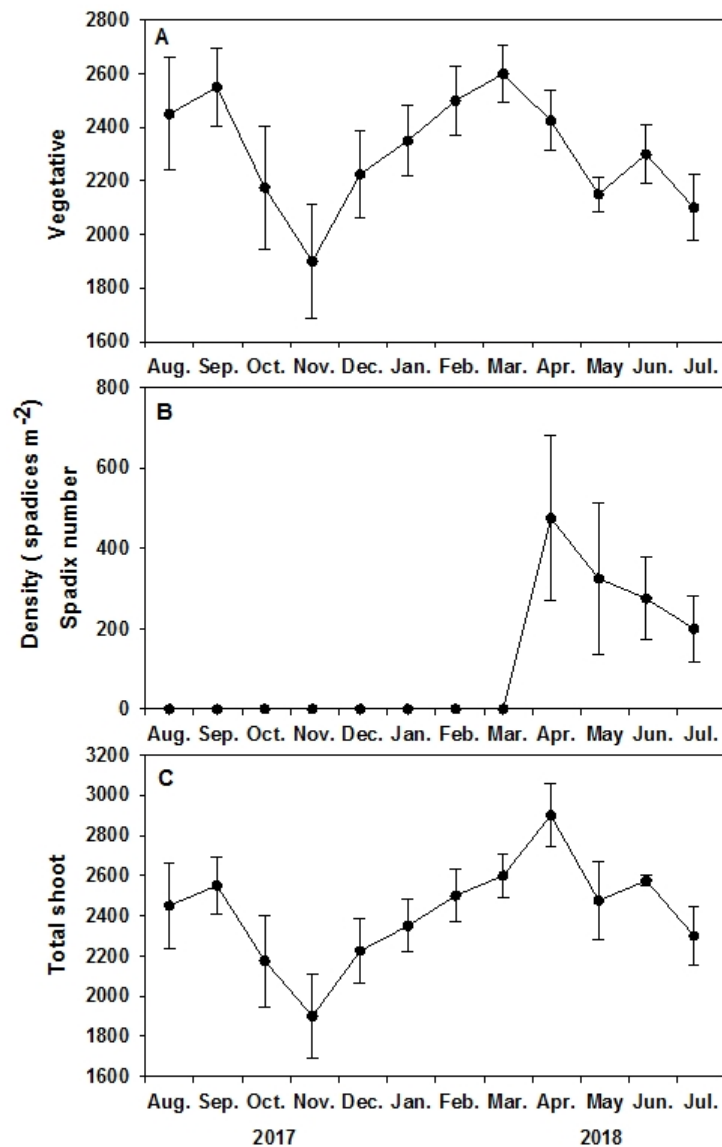


Fig. 4. Monthly changes in shoot density of *Phyllospadix iwatensis* from August 2017 to July 2018. Vegetative shoot (A), spadix (B), and total shoot (C).

생산성이 나타났다(Fig. 6). 평균 개체당 잎 생산성은 $2.7 \pm 0.5 \text{ mg DW shoot}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 으로 가을부터 초봄까지 낮은 생산성을 보이다가 2018년 5월 최대값($6.6 \pm 1.8 \text{ mg DW shoot}^{-1} \text{ d}^{-1}$)이 나타났으며, 수중광량과 유의한 양의 상관관계($r=0.741, p < 0.01$)를 보였으나, 수온($r=0.32, p = 0.31$)과는 유의한 상관관계가 나타나지 않았다(Fig. 6A, Table 1). 단위면적당 잎 생산성도 개체당 잎 생산성과 유사한 경향이 나타났으며, 2018년 2월에 최소값($2.4 \pm 0.3 \text{ g DW m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)과 2018년 5월에 최대값($16.4 \pm 4.4 \text{ g DW m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)을 나타냈다. 단위면적당 잎 생산성도 수중광량과 유의한 상관관계($r=0.737, p < 0.01$)가 나타났으나, 수온($r=0.277, p = 0.384$)과는 유의한 상관관계가 나타나지 않았다(Fig. 6B, Table 1).

새우말의 단위면적당 잎 생산성을 수중광량과 수온 각각에 대한 상관성을 알아보기 위하여 비선형 회귀분석을 실시하면, 새우말의 생산성은 수중광량과는 유의한 양의 상관성($r^2=0.557, p = 0.026$)이 나타났으나(Fig. 7A), 수온과는 유의한 상관성이 나타나지 않았다($r^2=0.200, p = 0.366$; Fig. 7B).

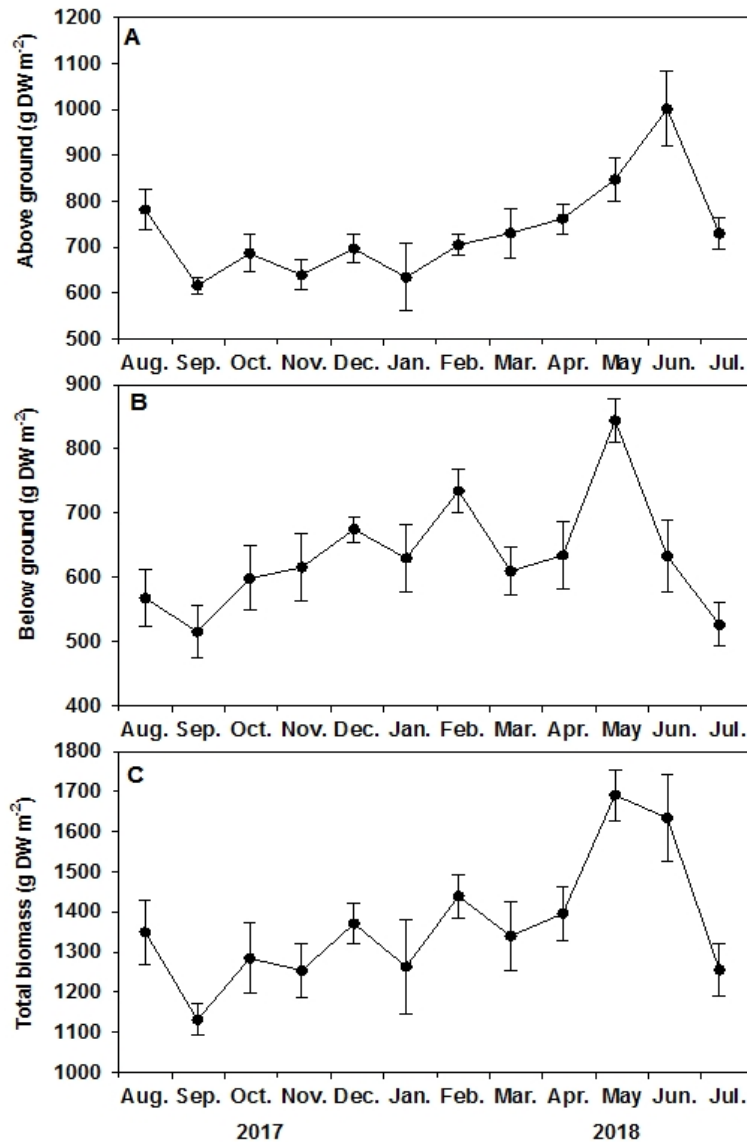


Fig. 5. Monthly changes in biomass of *Phyllospadix iwatensis* from August 2017 to July 2018. Above ground (A), rhizome+root (B), and total biomass (C).

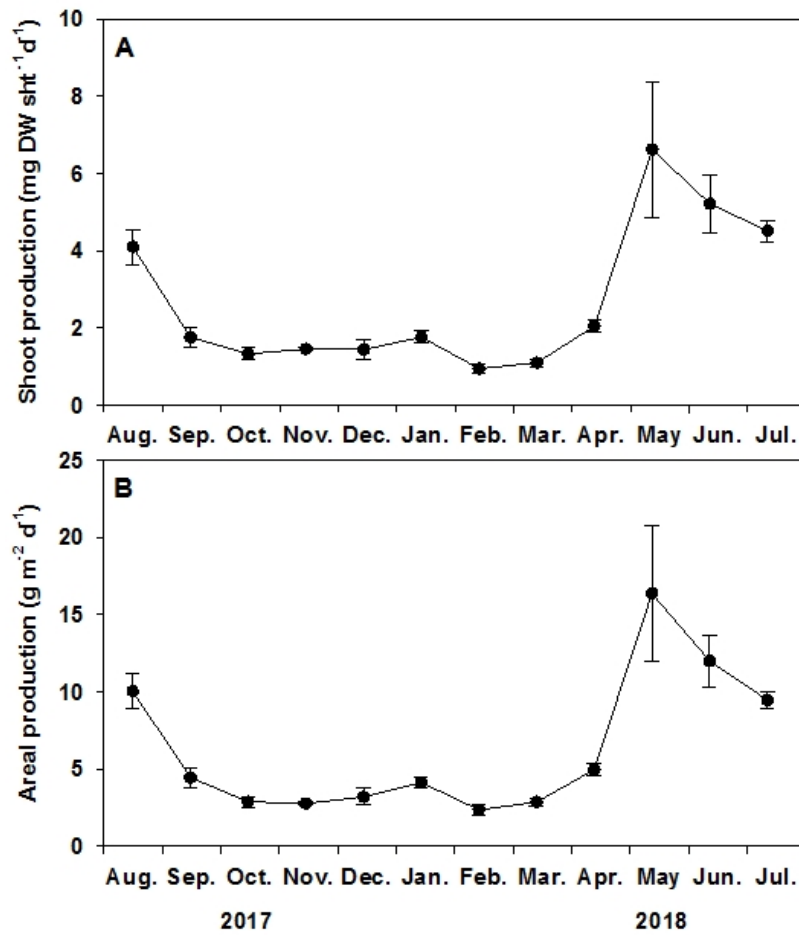


Fig. 6. Monthly changes in leaf productivity per shoot (A), and areal leaf productivity (B) of *Phyllospadix iwatensis* from August 2017 to July 2018.

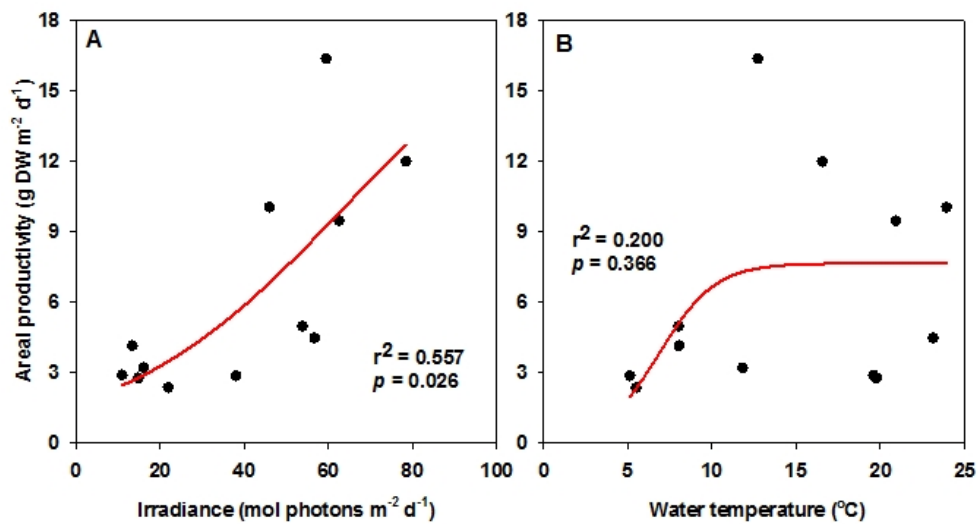


Fig. 7. Best-fit regressions of *Phyllospadix iwatensis* areal leaf production on underwater irradiance (A), and water temperature (B).

4. 고찰

조사 장소 새우말 군락지의 평균 수중광량은 $39.3 \text{ mol photons m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 로 우리나라 연안의 거머리말 군락지의 평균 수중광량($11.7\text{-}28.0 \text{ mol photons m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)보다 월등히 높았다(Lee *et al.*, 2005a, 2007b). 이는 거머리말 군락지가 대부분 퇴적물의 부유가 빈번한 남해안의 만에 자리 잡은 반면, 조사 장소의 새우말 군락지는 퇴적물 부유가 상대적으로 적어 비교적 물이 맑은 동해안의 암반해안에 형성되어 있어 높은 수중광량을 보인 것으로 추측된다. 새우말의 잎 생산성과 수중광량은 가을과 겨울에 낮고, 봄에 증가하는 유사한 경향이 나타났다. 특히, 4월부터 9월까지 6개월 동안 연간 총 수중광량의 약 75%가 공급되었으며, 이 시기에 새우말의 잎 생산성도 연간 생산성의 약 75%를 차지하고 있다. 따라서 조사 장소 새우말의 성장은 수중광량이 중요한 영향을 미친다고 볼 수 있다. 이에 반해 남해안에 우점하는 거머리말의 경우 생장이 수중광량에 의해 제한받지 않는 경우가 보고되었는데, 이는 거머리말 군락지의 수중광량이 거머리말의 광포화점보다 높다는 것을 의미한다(Lee *et al.*, 2007b). 남해안 가막만에 서식하는 거머리말 군락지의 경우 장마시기가 속한 7-8월의 평균 수중광량이 $0.1 \text{ mol photons m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 의 낮은 값이 나타났고(Kim *et al.*, 2008), 낙동강 하구에 서식하는 거머리말 군락지에서는 $4.4 \text{ mol photons m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 의 낮은 수중광량에서도 거머리말의 생장은 원활히 유지되었다(Park *et al.*, 2011). 본 조사 장소 새우말 군락지의 수중광량이 거머리말 군락지의 수중광량보다 현저히 높게 나타났고 새우말의 생장이 수중광량의 증가에 따라 향상된 것은 새우말은 생장을 위하여 거머리말보다 높은 광을 필요로 한다는 것을 의미한다.

서식지의 광량은 그곳에 서식하는 식물의 형태, 특히 잎 폭과 긴밀히 관련되어진다. 넓은 잎의 식물은 더 많은 광을 받아들일 수 있어 낮은 광량에 서식하는 식물일수록 넓은 잎 폭을 보유하게 된다(Smith *et al.*, 1997). 새우말의 평균 잎의 수는 5.1개로 거머리말속 잘피의 평균 잎의 수 5.2개와 유사하였으나, 잎 폭은 현저히 좁았다. 새우말의 평균 잎 폭은 3.0 mm인 반면, 거머리말은 9.5 mm (Lee *et al.*, 2005a), 포기거머리말은 6.5 mm (Lee *et al.*, 2005b), 수거머리말은 11.2 mm (Kim *et al.*, 2014), 왕거머리말은 12.6 mm (Park *et al.*, 2016)의 평균 잎 폭을 가진다. 즉, 낮은 수중광량의 서식환경에 적응하여 생존하는 거머리말속 잘피는 광수확효율을 높이기 위해 넓은 잎 폭을 지니지만, 비교적 높은 수중광량에 서식하는 새우말은 상대적으로 좁은 잎 폭으로 생존 및 생장이 가능한 것으로 보인다.

잘피의 생장이 계절 경향을 나타나게 하는 주요 요인으로 수온의 변화를 들 수 있다. 새우말의 생산성은 2018년 4월 이후 수온의 증가와 함께 급격히 증가하여 평균 수온 12.7°C 로 나타났고 5월에 최대값을 보인 후 수온의 증가와 함께 서서히 감소하였다. 즉, 조사 장소의 새우말은 수온이 증가하는 봄과 초여름동안 생장이 활발하고, 높은 수온을 보이는 여름 이후 생장이 둔화되어 남해안에 우점하는 거머리말과 유사한 성장 패턴이 나타나 온대 잘피의 성장 특성이 뚜렷이 반영되고 있다. 잘피의 성장에 적합한 수온은 광합성률과 호흡량의 균형으로 결정되며, 적정 수온보다 높거나 낮은 수온에 잘피가 노출되면 생장이 둔화된다고(Lee *et al.*, 2007b). 온대 잘피는 $11.5\text{-}26^{\circ}\text{C}$ 의 온도 범위가 성장에 적합하고, 아열대/열대 잘피는 $23\text{-}32^{\circ}\text{C}$ 의 온도 범위가 성장에 적합하다(Barber and Behrens, 1985; van Tussenbroek, 1995). 남해안에 우점하는 거머리말의 생장은 $15\text{-}20^{\circ}\text{C}$ 에서 가장 활발하고, 20°C 이상의 수온에서는 생장이 감소되며 28°C 이상의 수온에서는 고수온 스트레스로 생산성이 현저히 감소한다(Lee *et al.*, 2005a; Park and Lee, 2007). 이에 비해, 지구온난화의 영향으로 아열대 수괴에서 온대수괴인 우리나라 연안으로 유입된 해호말은 $22\text{-}24^{\circ}\text{C}$ 에서 가장 활발한 성장을 보였으며, 18°C 미만의 수온에서는 매우 낮은 성장을 나타내어 아열대 잘피의 특성이 남아있는 것으로 보고되었다(Park *et al.*, 2017). 본 조사 장소 새우말의 성장은 $12\text{-}13^{\circ}\text{C}$ 에서 가장 활발하였으며, 그 이상의 수온에서는 생장이 서서히 감소하였다. 새우말이 거머리말보다 낮은 수온에서 최대 성장을 보이는 것은 새우말이 낮은 수온에 적응된 온대 잘피임을 나타낸다.

새우말 군락지의 연 평균 수온은 14.6°C로 남해안 거머리말 군락지의 평균 수온(15.2-15.9°C)보다 조금 낮았으나, 최고 월 평균 수온은 23.9°C로 거머리말 군락지의 최고 월평균 수온(26.9-31.8°C)보다 현저히 낮았다(Lee *et al.*, 2005a; Park and Lee, 2007). 이러한 최고 수온의 차이는 남해안 거머리말 군락지가 수괴의 혼합이 약한 남해의 얕은 내만에 주로 위치한 반면, 새우말 군락지는 대양에 개방되어 파도와 조류에 노출된 수괴의 혼합이 빈번한 동해 중부해안에 위치하였기 때문일 것이다. 남해안에 우점하는 대부분 거머리말의 생장은 높은 수온이 유지되는 시기에 생산성의 감소를 보였으며, 거머리말의 생장은 20°C 이상의 수온에서 유의한 음의 상관관계를 보이는 경향이 있다(Lee *et al.*, 2005a, 2007b). 그러나 한반도 본토로부터 이격되거나 빈번히 조류가 혼합되어 최고 월평균 수온이 25°C 미만을 유지하는 곳에 서식하는 거머리말의 생장은 수온과 유의한 상관관계가 나타나지 않았다(Park *et al.*, 2017). 또한, 수온이 25°C를 초과하지 않는 조하대의 새우말 군락지에서는 고 수온으로 인한 스트레스가 발생하지 않았다고 보고되었다(Yabe *et al.*, 1996). 본 조사 장소 새우말의 생산성이 수온과는 유의한 상관관계가 나타나지 않은 것은 조사 장소의 월평균 최고 수온이 23.9°C로, 남해 내만의 거머리말 군락지보다 현저히 낮아 이 곳 새우말의 생장을 결정적으로 제한하지는 않는 이유로 보인다.

새우말은 게바다말과 같이 우리나라 동해 연안의 암반 조하대에 우점하는 잘피이다. 게바다말이 동해 남부해역에 주로 나타나고 동해 중부해역까지 빈번히 출현하는데 비해, 새우말은 강원도 삼척시부터 본 조사 장소가 속한 고성군까지 동해 중부해역에 주로 서식하고 있다. 본 조사 장소 새우말이 12-13°C에서 최고 성장이 나타난 것에 비해 우리나라 연안에 자생하는 게바다말의 성장은 약 14°C에서 가장 활발한 것으로 보고되었다(Park and Lee, 2009). 이러한 게바다말과 새우말의 최적 성장 온도의 차이로 인하여 한반도 연안에서 새우말의 서식 구역이 게바다말보다 좀 더 높은 위도에 위치하게 된 것으로 추측된다.

사 사

이 논문은 2017년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(갯녹음 치유를 위한 말잘피 종묘 대량생산 기술개발, #20170027)임.

참고문헌(References)

- Barber, B.J. and P.J. Behrens, 1985. Effects of elevated temperature on seasonal in situ leaf productivity of *Thalassia testudinum* Banks exKönig and *Syringodium filiforme* Kutzing. *Aquat. Bot.*, **22**: 61-69.
- Dennison, W.C., 1987. Effects of light on seagrass photosynthesis, growth and depth distribution. *Aquat. Bot.*, **27**: 15-26.
- Green, E.P. and F.T. Short, 2003. *World atlas of seagrasses*. University of California press, Berkeley, USA, 298 pp.
- Kentula, M.E. and C.D. McIntire, 1986. The autecology and production dynamics of eelgrass in Netarts Bay, Oregon. *Estuaries*, **9**: 188-199.
- Kim, J.B., J.-I. Park, C.-S. Jung, P.-Y. Lee and K.-S. Lee, 2009. Distributional range extension of the seagrass *Halophila nipponica* into coastal waters off the Korean peninsula. *Aquat. Bot.*, **90**: 267-272.
- Kim, J.H., S.H. Park, Y.K. Kim, S.H. Kim, J.-I. Park and K.-S. Lee, 2014. Seasonal growth dynamics of the seagrass *Zostera caulescens* on the eastern coast of Korea. *Ocean Sci. J.*, **49**: 391-402.
- Kim, T.H., S.R. Park, Y.K. Kim, J.-H. Kim, S.H. Kim, J.H. Kim, I.K. Chung and K.-S. Lee. 2008. Growth dynamics and carbon incorporation of the seagrass, *Zostera marina* L. in Jindong Bay and Gamak Bay on the Southern Coast of Korea. *Algae*, **23**: 241-250.
- Lee, K.-S., S.R. Park, J.B. Kim, 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.

- Lee, K.-S., J.-I. Park, Y.-K. Kim, S.R. Park and J.-H. Kim, 2007a. Recolonization of *Zostera marina* following destruction caused by a red tide algal bloom: the role of new shoot recruitment from seed banks. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **342**: 105-115.
- Lee, K.-S., S.R. Park and Y.K. Kim, 2007b. Effects of irradiance, temperature, and nutrients on growth dynamics of seagrasses: A review. *J. Exp. Mar. Biol. & Ecol.*, **350**: 144-175.
- Lee S.-Y., JH Oh, CI Choi, Y Suh and H Mukai, 2005b. Seasonal variation in morphology, growth and reproduction of *Zostera caespitosa* on the southern coast of Korea. *Aquat. Bot.*, **83**: 250-262.
- Park, J.-I., J.-H. Kim and S.-H. Park, 2016. Growth dynamics of the deep-water Asian eelgrass, *Zostera asiatica*, in the eastern coastal waters of Korea. *Ocean Sci. J.*, **51**: 613-625.
- Park, J.-I. and K.-S. Lee, 2007. Site-specific success of three transplanting methods and the effect of planting time on the establishment of *Zostera marina* transplants. *Mar. Pollut. Bul.*, **54**: 1238-1248.
- Park, J.-I. and K.-S. Lee, 2009. Peculiar growth dynamics of the surfgrass *Phyllospadix japonicus* on the southeastern coast of Korea. *Mar. Biol.*, **156**: 2221-2233.
- Park, J.-I., K.-S. Lee and M.H. Son, 2011. Growth dynamics of *Zostera marina* transplants in the Nakdong estuary related to environmental changes. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, **44**: 533-542.
- Park, J.-I., J.B. Kim and K.-S. Lee, 2017. A comparison of growth patterns between non- indigenous *Halophila nipponica* and the native sympatric *Zostera marina* on the southern coast of the Korean peninsula. *Mar. Ecol.*, **38**: e12452, DOI: 10.1111/maec.12452.
- Ramírez-García, P., J. Terrados, F. Ramos, A. Lot, D. Ocana and C.M. Duarte, 2002. Distribution and nutrient limitation of surfgrass, *Phyllospadix scouleri* and *Phyllospadix torreyi*, along the Pacific coast of Baja California (Mexico). *Aquat. Bot.*, **74**: 121-131.
- Short, F.T. and C.M. Duarte, 2001. Methods for the measurement of seagrass growth and production. In: *Global Seagrass Research Methods*, edited by Short F.T., R.G. Coles, C.A. Short, ELSEVIA, Amsterdam, The netherlands pp. 155-182.
- Smith, W.K., T.C. Vogelmann, E.H. Delucia, D.T. Bell and K.A. Shepherd, 1997. Leaf form and photosynthesis: do leaf structure and orientation interact to regulate internal light and carbon dioxide? *BioScience* **47**: 785-793.
- Turner, T., 1983. Complexity of early and middle successional stages in a rocky intertidal surfgrass community. *Oecologia*, **60**: 56-65.
- van Tussenbroek, B.I., 1995. *Thalassia testudinum* leaf dynamics in a Mexican Caribbean coral reef lagoon. *Mar. Biol.*, **122**: 33-40.
- Williams, S.L., 1995. Surfgrass (*Phyllospadix torreyi*) reproduction: reproductive phenology, resource allocation, and male parity. *Ecology*, **76**: 1953-1970.
- Yabe, T., I. Ikusima, T. Tsuchiya, 1996. Production and population ecology of *Phyllospadix iwatensis* Makino. II. Comparative studies on leaf characteristics, foliage structure and biomass change in an intertidal and subtidal zone. *Ecol. Res.*, **11**: 291-297.
- Zimmerman, J.C., R.L. Reguzzoni, R.S. Alberte, 1995. Eelgrass (*Zostera marina* L.) transplants in San Francisco bay: Role of light availability on metabolism, growth and survival. *Aquat. Bot.*, **51**: 67-86.