

## Article

## 한국산 해초 포기거머리말, 수거머리말, 애기거머리말과 거머리말의 생물계절학

이성미 · 이상룡\* · 최청일

한양대학교 과학기술대학 해양환경과학과  
(426-791) 경기도 안산시 상록구 사1동 1271

### Reproductive Phenology of Four Korean Seagrasses, *Zostera caespitosa*, *Z. caulescens*, *Z. japonica* and *Z. marina*

Sung Mi Lee, Sang Yong Lee\*, and Chung Il Choi

Department of Environmental Marine Sciences, College of Science and Technology  
Hanyang University, Ansan 426-791, Korea

**Abstract :** This study described the phenology and reproductive potential of four species of Korean seagrasses, *Zostera caespitosa*, *Z. caulescens*, *Z. japonica* and *Z. marina*. *Z. caespitosa* and *Z. caulescens* sampled from a mixed stand at the subtidal area of Yulpo Bay, Geojedo of the South Sea of Korea in November 2002 and August 2003. *Z. japonica* and *Z. marina* occurred at the depth between the middle intertidal and shallow subtidal (<1 m below mean sea level) of Seungbongdo (in Yellow Sea) samples collected in February and October 2003. The sexual reproductive phase of the four *Zostera* species was apparently different in timing of flowering, reproductive period, fruiting and seed maturing. *Z. caespitosa* flowered from February to early May (10-16°C), and its seed production completed in early May. The reproductive shoots of *Z. caulescens* began to appear in January (9°C), and its flowering followed from February to June (10-19°C). The flowers of *Z. japonica* were observed from July to September (18-22°C), and its seeds matured from August to September. The most commonly *Z. marina* flowered from April to August (7-21°C) and developed into seeds in July. *Z. caulescens*, the largest plant, had the highest number of seeds per shoot and longest spadix length. *Z. marina*, which was intermediate in size, recorded the highest reproductive potential. The study indicates that the reproductive phase and potential of the four species of seagrass from Korea are highly related to water temperature, and the populations of these species show a perennial lifespan with a low sexual reproductive input.

**Key words :** 생물계절학(phenology), 생식능력(reproductive potential), 포기거머리말(*Zostera caespitosa*), 수거머리말(*Z. caulescens*), 애기거머리말(*Z. japonica*), 거머리말(*Z. marina*)

#### 1. 서 론

해초는 해수 중에서 생육하면서 꽃을 피우고, 수정하여 열매를 형성하는 해산 현화식물이며(den Hartog 1970), 유성생식을 통해 형성된 종자의 발아와 영양지의 분지에

의해 지속적으로 해초지를 유지한다(Vermaat *et al.* 1995). 해초의 유성생식과 생물계절학에 관한 연구는 개체군 동태에 대한 생식의 기여도를 판단할 수 있다. 특히, 개화, 열매, 종자 생산의 정량적인 값들은 해초 종들의 산포와 가입의 특징을 이해하는 데 필수적이며, 해초 종들의 종자 생산성은 해초의 새로운 초지 형성 과정에 있어 절대적이다(Walker *et al.* 2001). 또한 해초의 생식에 관한 연구는

\*Corresponding author. E-mail : seagrass@skku.edu

감소하는 해초지의 복구와 식생 복원에 이용할 최상의 종을 선택하는데 있어 중요하다(Orth et al. 1994).

해초의 생물계절학과 생식 생물학은 북반구에 넓게 분포하며 다양한 생육지에서 출현하는 거머리말(*Zostera marina* L.)을 대상으로 대단히 많은 연구들이 수행되었다(den Hartog 1970; Phillips et al. 1983; Phillips and Backman 1983; Orth and Moore 1986; Van Lent and Verschuure 1994; Olesen 1999). 예로서, 거머리말의 생식 주기는 위도와 연관된 환경 요인들에 의해 영향을 받는 것으로 보고되었으며(Phillips et al. 1983), 개화 시기와 열매의 초기 출현은 일조시간과 수온에 의해 조절되는 것으로 나타나 있다(Jacobs and Pierson 1981; Phillips et al. 1983). 또한, 대부분 온대 해역의 거머리말은 지하경의 신장과 영양 분지에 의해 다년생의 생활사를 갖지만(Tomlinson 1974), 아열대와 한대 지역에 생육하는 거머리말은 수 개월 동안에 종자 발아에서 시작하여 생식지 형성 후 소멸하는 일년생의 특징을 보인다(Keddy and Partiquin 1978; Robertson and Mann 1984; Van Lent and Verschuure 1994; Meling-Lopez and Ibarra-Obando 1999; Santamaria-Gallegos et al. 2000). 그러나, 거머리말을 제외한 다른 거머리말속(*Zostera*) 식물의 생물계절학과 생식 생물학에 대한 연구는 상대적으로 적고, 특히 한반도 연안에 생육하는 거머리말, 왕거머리말(*Z. asiatica* Miki), 수거머리말(*Z. caulescens* Miki), 포기거머리말(*Z. caespitosa*

Miki), 애기거머리말(*Z. japonica* Ascherson and Graebner)의 생식지 발달, 육수화서의 생육 단계에 대한 정량적 자료와 생물계절학적 특징에 대한 연구는 Lee et al.(2002a, 2003)를 제외하고 거의 없다.

본 연구에서는 포기거머리말과 수거머리말이 혼재하고 있는 남해안의 울포만과 애기거머리말과 거머리말이 격리되어 분포하는 서해안 승봉도의 거머리말속 식물을 대상으로 생물계절학을 파악하고, 종간의 차이점을 규명하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 연구지역 및 시기

본 연구는 남해안의 울포만과 서해안의 승봉도에서 수행되었다(Fig. 1). 남해안의 거제도 남부에 위치한 울포만(34°46'N, 128°34'E)에서는 포기거머리말과 수거머리말이 간조시 수심 3~4 m에서 혼재하여 분포하였다. 울포만의 퇴적물은 조립한 사질로 구성되었으며, 식물체는 2002년 11월부터 2003년 8월까지 채집하였다.

서해안의 승봉도(37°05'N, 126°15'E)에서는 애기거머리말이 조간대의 중부에서부터 하부까지 분포하였으며, 거머리말은 조간대 하부와 간조시 수심 1.0 m 내외의 조하대에 패치로 분포하였다. 승봉도의 퇴적물은 세립하거나 조립한 사질로 구성되었다. 애기거머리말의 식물체는

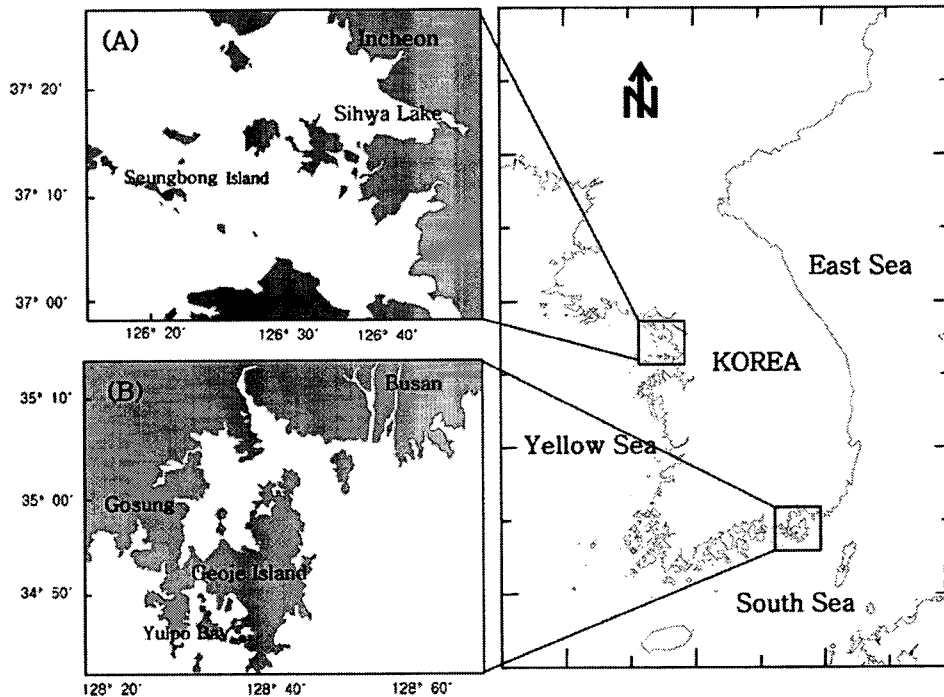


Fig. 1. Map showing the position of two study sites (Seungbong Island (A) and Yulpo Bay (B)).

2002년 11월부터 2003년 10월까지 채집하였으며, 거머리말은 조간대 하부에서 2003년 2월부터 2003년 10월까지 채집하였다.

시료 채집과 분석

울포만의 포기거머리말과 수거머리말의 식물체는 SCUBA를 이용하여 채집하였으며, 승봉도의 애기거머리말과 거머리말은 간조시 직접 채집하였다. 조사 기간 동안 영양지는 매일 무작위로 10~15개체를 채집하였으며, 생식지는 2~4주 간격으로 10~15개체를 채집하여 형태 특징을 조사하였다. 생식지의 생물계절학적 특징은 개화, 열매와 종자의 출현 시기 및 생식지 소멸 시기를 관측하였다. 생식지의 구조적인 특징은 개체당 화축 수(number of rhipidia per shoot)와 불염포 수(number of spathes per shoot), 육수화서 내에 암술의 수(number of pistils per spadix), 열매 수(number of fruits per spadix)와 종자 수(number of seeds per spadix)를 측정하였다. 거머리말속 각 종들의 생식 단계는 Meling-Lopez and Ibarra-Obando (1999)에 의한 일년생 거머리말의 6단계 전략인 1) 종자 발아와 종묘 성장, 2) 불염포 출현, 3) 암술과 수술 형성, 4) 개화와 열매 발달, 5) 종자 성숙과 6) 식물체 탈락을 변형하여 육수화서의 발달에 근거하여 생식지 출현 및 개화기, 열매 성숙기와 종자 결실기의 3단계로 구분하였으며, 전체 조사한 생식지에 대한 각 단계를 비율로 나타내었다.

거머리말속의 생활사는 거머리말의 생활사에 근거하여 종자 발아, 영양지, 생식지 단계를 거쳐 생식지가 소멸하는 개체군을 일년생으로 판단 하였으며(Keddy and Partiquin 1978), 생식지 소멸 후 지속적으로 영양지가 출현하는 개체군을 다년생으로 구분하였다. 한편, 각종의 생물계절학과 수온과의 관계를 알아보기 위해 각 생육지의 표층 수온을 조사하였다. 거제도 울포만 생육지의 수온은 국립수산과학원 거제 어류육종 센터(34°43N, 128°37E)의 자료를 이용하였으며, 승봉도의 수온은 국립수산과학원의 부도 연안정지 해양관측점(37°08N, 126°21E)의 자료를 이용하였다(국립수산과학원 2003, 2004).

거머리말속 각종의 육수화서의 길이에 따른 종자와 열매 수와의 관계는 회귀분석(Release 10.0, SPSS Inc.)을 실시하였으며, 유의성은  $p < 0.05$  수준으로 검정하였다.

3. 결 과

울포만에서 포기거머리말과 수거머리말의 생물계절학

포기거머리말의 영양지는 조사 기간 동안 지속적으로 출현하였으며, 영양지의 길이는 2002년 11월에 43.7 cm로 가장 작았고, 2003년 6월말에 118.7 cm로 가장 길게 나타났다(Fig. 2A). 생식지는 2003년 2월말부터 5월초까지 4

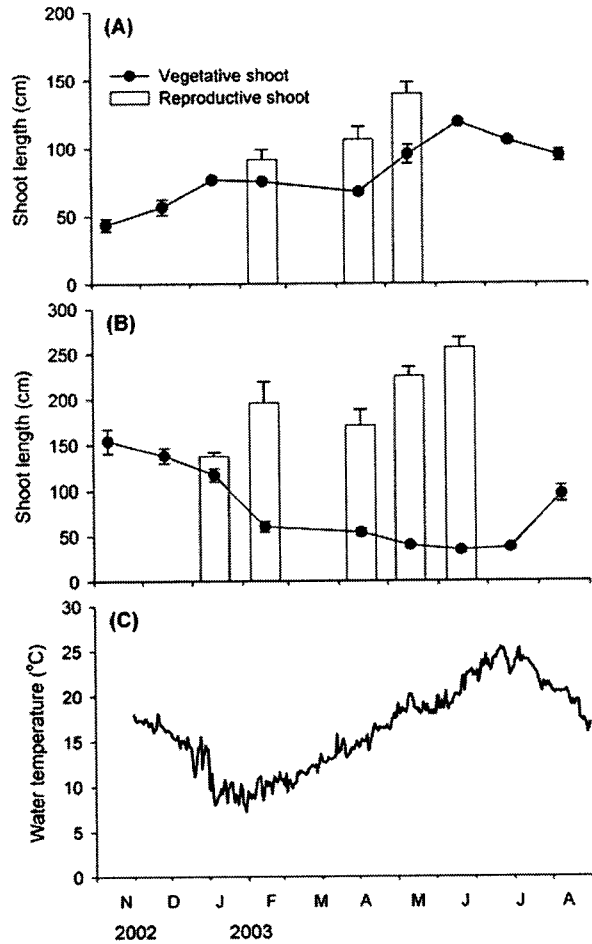


Fig. 2. Seasonal variations in the vegetative and reproductive shoots length (mean ± S.E.) of *Zostera caespitosa* (A) and *Z. caulescens* (B) at Yulpo Bay. Water temperature of surface layer (C) was also described the reveal the relationship between temperature and shoot length.

개월 동안 출현하였으며, 생식지의 길이는 2003년 2월에 91.8 cm에서 5월초에 139.6 cm까지 성장하였다. 6월에는 생식지가 소멸하여 관측되지 않았으며, 직립하는 지하경들이 밀생하여 포기(turf)를 형성하는 형태적인 특징을 가진 포기거머리말 개체군에서는 종자 발아가 발견되지 않았다.

수거머리말의 영양지는 조사 기간 동안 지속적으로 출현하였으며, 영양지의 길이는 2002년 11월에 154.0 cm로 가장 길게 신장하였고, 2003년 6월말에 34.5 cm로 가장 짧았다(Fig. 2B). 생식지의 출현 기간은 2003년 1월부터 6월말까지 6개월이었으며, 생식지의 길이는 2003년 1월에 137.3 cm에서부터 6월말에 256.3 cm까지 지속적으로 성장하는 것으로 나타났다. 7월에는 탈락한 생식지 일부가

퇴적물 위에 존재하였으며, 조사 기간 동안 종자 발아는 관측되지 않았다.

울포만에서 생육하는 포기거머리말의 생식지는 수온 10~16°C의 범위에서 출현하였으며, 수거머리말의 생식지는 수온 9~19°C의 범위에서 출현하였다(Fig. 2C). 울포만에 생육하는 포기거머리말과 수거머리말은 종자의 발아에 의한 새로운 개체군의 형성보다 영양지의 분지에 의해 해초지가 유지되는 것으로 나타났다.

#### 승봉도에서 거머리말과 애기거머리말의 생물계절학

거머리말의 영양지는 조사 기간 동안 지속적으로 출현하였으며, 영양지의 길이는 2003년 2월에 21.8 cm로 가장 작았고, 6월에 88.3 cm로 가장 길게 신장하였다(Fig. 3A). 생식지의 출현 기간은 2003년 4월부터 8월초까지 5개월이었으며, 생식지의 길이는 2003년 4월에 38.4 cm로 가

장 작았고, 6월에 67.0 cm로 가장 길게 신장하였다. 9월에는 생식지가 관측되지 않았으며, 종자 발아의 생육밀도는 4월부터 5월까지 0~2 shoots m<sup>-2</sup>(패치 내 영양지 평균 생육밀도 169~200 shoots m<sup>-2</sup>)로 출현하였다.

애기거머리말의 영양지는 조사 기간 동안 지속적으로 출현하였으며, 영양지의 길이는 12월에 13.2 cm로 가장 작았고, 9월에 34.6 cm로 가장 길게 신장하였다(Fig. 3B). 생식지는 2003년 7월초부터 9월까지 3개월 동안 출현하였으며, 생식지의 길이는 7월에 19.6 cm에서부터 9월에 25.0 cm까지 신장하였다. 생식지는 10월에 관측되지 않았으며, 종자 발아는 7월과 8월에 0~6 shoots m<sup>-2</sup>의 낮은 생육밀도(영양지 평균 생육밀도 5,195~5,584 shoots m<sup>-2</sup>)를 보였다.

승봉도에서 거머리말 생식지는 수온 7~21°C에서 출현하였으며, 애기거머리말의 생식지는 18~22°C에서 출현하였다(Fig. 3C). 승봉도에 생육하는 거머리말과 애기거머리말은 종자 발아에 의한 개체군 형성은 미비하게 나타났으며, 영양지의 분지에 의해 해초지가 유지되는 것으로 나타났다.

#### 거머리말속 생식지의 생식 능력과 생식 단계

포기거머리말의 생식지 개체당 불염포 수는 2월에 평균 6.0개에서 5월에 평균 13.6개로 증가하였다(Fig. 4A). 수거머리말은 생식지의 불염포는 1월에 출현하지 않았으며, 개체당 불염포의 수는 평균 3.7개(2월)에서 8.4개(6월)의 범위로 나타났다(Fig. 4B). 거머리말의 생식지 개체당 불염포의 수는 4월에 평균 15.6개로 가장 낮았으며, 6월에 26.6개로 가장 높았다(Fig. 4C). 애기거머리말의 생식지 개체당 불염포의 수는 7월에 평균 2.3개에서부터 9월에 평균 4.1개까지 출현하였다(Fig. 4D). 생식지 개체당 평균 불염포의 생산은 거머리말이 가장 높았으며, 애기거머리말이 가장 낮게 나타났다(Fig. 4).

거머리말속 생식지들은 기저부터 가장자리까지 화축과 불염포의 출현 순서에 따라 육수화서는 개화, 개화와 열매, 열매, 열매와 종자가 다양하게 나타났다. 개화 단계의 육수화서에서는 암술과 수술이 대부분 1:1로 출현하였으며, 육수화서의 암술, 열매와 종자 수는 육수화서의 길이에 따라 다양하게 나타났다. 울포만에서 포기거머리말 생식지의 개화는 2월부터 5월까지 지속적으로 나타났으며, 개화, 열매와 종자는 5월초에 모두 출현하였다(Fig. 5A). 육수화서 당 암술의 수는 2월(10°C)에 11.5±0.6개로 가장 높았으며, 열매 수는 4월 초(14°C)에 10.8±0.3개, 그리고 종자의 수는 3.2±0.1개로 5월(16°C)에 가장 높았다(Fig. 5A). 울포만에서 수거머리말 생식지의 개화는 2월부터 5월까지 나타났으며, 6월에는 생식지 개체에 열매와 종자만 출현하였다(Fig. 5B). 육수화서 당 암술의 수는 5월

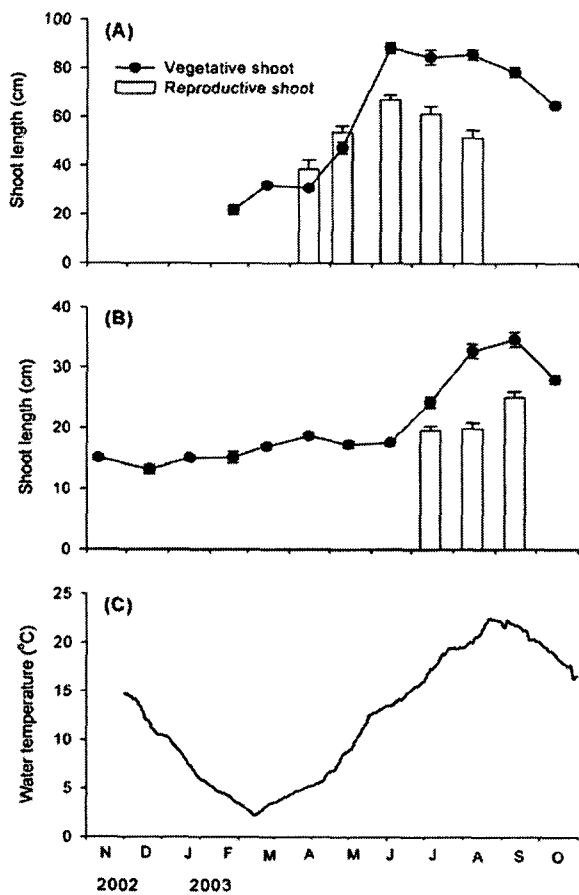


Fig. 3. Seasonal variations in the vegetative and reproductive shoots length (mean±S.E.) of *Zostera marina* (A) and *Z. japonica* (B) at Seungbong Island. Water temperature of surface layer (C) was also described the reveal the relationship between temperature and shoot length.

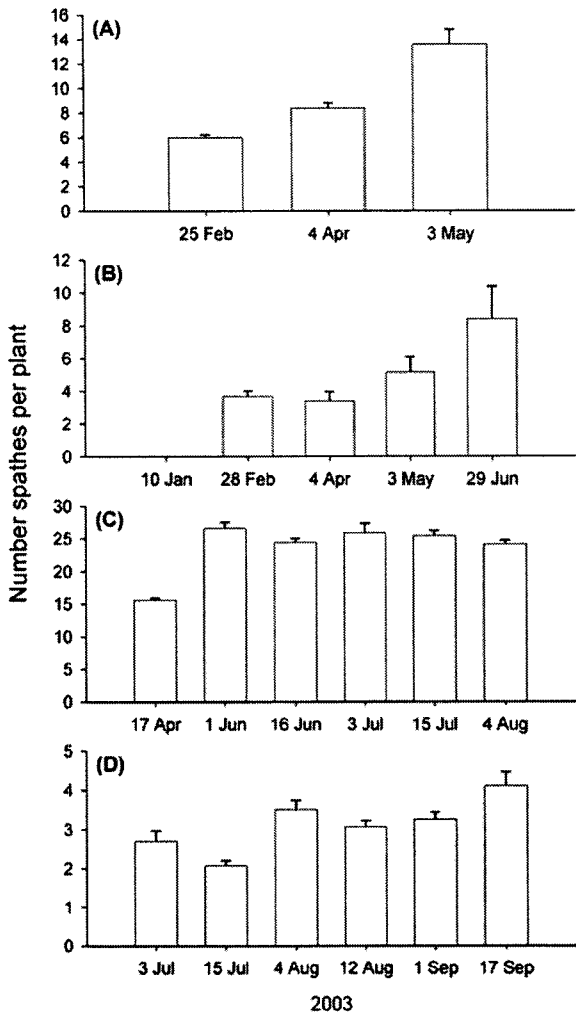


Fig. 4. Seasonal variations in the mean ( $\pm$ S.E.) number of spathes per plant of the four *Zostera* species; *Zostera caespitosa* (A), *Z. caulescens* (B), *Z. marina* (C) and *Z. japonica* (D).

(16°C)에  $15.3 \pm 0.7$ 개로 가장 높았으며, 열매 수는 5월에  $16.7 \pm 1.5$ 개, 그리고 종자의 수는  $3.8 \pm 1.0$ 개로 6월(10°C)에 가장 높았다(Fig. 5B). 승봉도에서 거머리말 생식지의 개화는 4월부터 8월까지 5개월간 지속적으로 나타났으며, 개화, 열매와 종자는 7월 초(18°C)에 모두 출현하였다(Fig. 5C). 육수화서 당 암술과 열매 수는 6월 초(14°C)에 각각  $11.7 \pm 0.2$ 개와  $10.7 \pm 0.9$ 개로 가장 높았으며, 종자의 수는  $2.0 \pm 0.1$ 개로 7월 초(18°C)에 가장 높았다(Fig. 5C). 승봉도에서 아기거머리말 생식지의 개화는 7월초부터 9월까지 3개월간 지속되었으며, 개화, 열매와 종자는 8월(21°C)에 모두 나타났다(Fig. 5D). 육수화서 당 암술과 열매 수는 7월 초(18°C)에 각각  $5.6 \pm 0.3$ 개와  $5.7 \pm 0.7$ 개로 가장 높았으며, 종자의 수는  $3.0 \pm 0.2$ 개로 8월(21°C)에 가

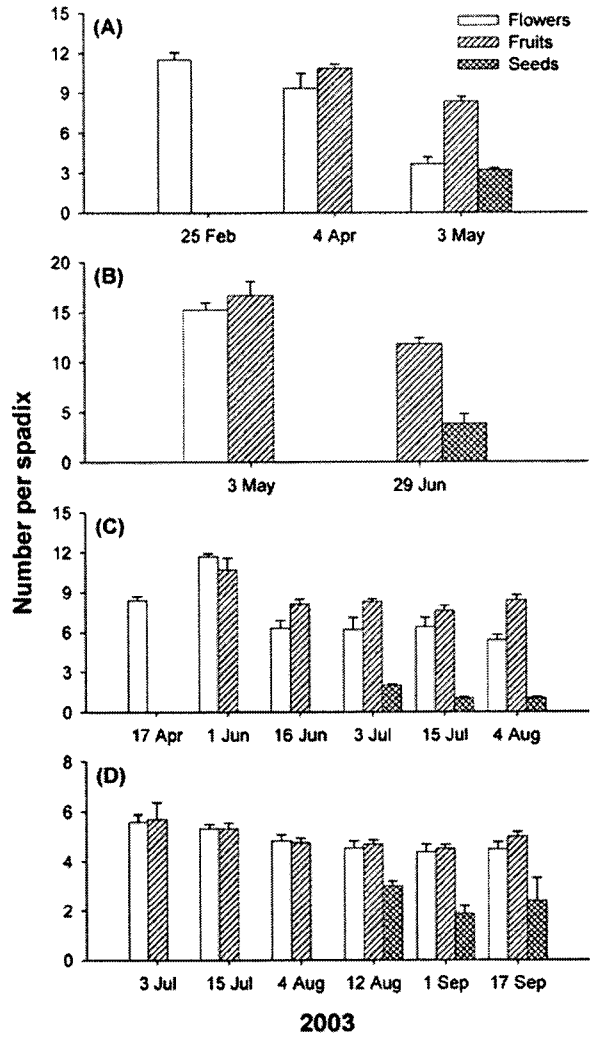


Fig. 5. Seasonal variations in the mean number of female flowers, fruits and seeds per spadix of the four *Zostera* species; *Zostera caespitosa* (A), *Z. caulescens* (B), *Z. marina* (C) and *Z. japonica* (D).

장 높았다(Fig. 5D). 거머리말속 각 종들은 육수화서의 가장자리에 출현한 열매들은 성숙되지 못하여 익은 종자로 발달하지 못하였다.

거머리말속 각종들의 생육 단계에 따른 생식지의 구성 요소들은 불염포의 처음 출현 이후 수온의 증가에 따라 다양해지고 풍부하게 나타나는 경향을 보였다(Table 1). 또한, 생식지 개체의 생육 단계는 기저에서 가장자리까지 화축 순서에 따라 육수화서의 발달에 차이를 보였다. 포기 거머리말의 종자 성숙 단계는 5월초에 출현하였으며, 생식지 개체당 육수화서의 개화, 열매와 종자의 출현 비는 각각 12.3%, 80.7%와 7.0%로 나타났다(Table 1). 수거머리말의 생식지는 2월부터 4월초까지 개화 단계만 출현하

**Table 1. Seasonal variations in the percentage of reproductive stage of the four *Zostera* species.**

Species (site)	Date	Pistils per spadix (%)	Fruits per spadix (%)	Seeds per spadix (%)
<i>Zostera caespitosa</i> (Yulpo Bay)	February 25	100.0	0.0	0.0
	April 4	34.3	65.7	0.0
	May 3	12.3	80.7	7.0
<i>Z. caulescens</i> (Yulpo Bay)	January 10	0.0	0.0	0.0
	February 28	100.0	0.0	0.0
	April 4	100.0	0.0	0.0
	May 3	85.0	15.0	0.0
	June 29	32.5	47.5	20.0
<i>Z. marina</i> (Seungbong Island)	April 14	100.0	0.0	0.0
	June 1	94.9	5.1	0.0
	June 16	32.6	67.4	0.0
	July 3	24.7	73.9	1.4
	July 15	28.3	68.3	3.4
<i>Z. japonica</i> (Seungbong Island)	August 4	31.8	68.2	0.0
	June 25	82.1	17.9	0.0
	July 15	69.4	30.6	0.0
	August 4	40.4	59.6	0.0
	August 12	35.4	63.4	1.2
	September 1	17.4	73.3	9.3
	September 17	29.9	62.6	7.5

였으며, 열매의 발달과 종자 성숙의 단계는 5월부터 6월까지 나타났습니다. 6월말의 육수화서에서 개화, 열매와 종자의 출현 비는 32.5%, 47.5%와 20.0%로 각각 나타났습니다. 거머리말은 4월에는 개화만 출현하였으며, 7월에 개화, 열매와 종자의 출현 비는 각각 28.3%, 68.3%와 3.3%로 나타났습니다(Table 1). 8월에 조사된 생식지에서는 종자가 탈락하고 개화와 열매 단계만 출현하였다. 애기거머리말은 6월부터 8월초까지 개화와 열매의 생육 단계만 나타났

며, 9월에 종자가 출현하였다. 9월초의 개화, 열매와 종자의 출현 비는 각각 17.3%, 73.3%와 9.4%로 나타났습니다(Table 1).

거머리말속 생식지의 길이는 애기거머리말이  $25.0 \pm 0.9$  cm로 가장 작았으며, 수거머리말이  $244.5 \pm 8.8$  cm로 가장 길게 신장하였다. 육수화서의 길이도 애기거머리말이  $1.4 \pm 0.1$  cm로 가장 작았으며, 수거머리말이  $5.3 \pm 0.5$  cm로 가장 길었다. 개체당 화축의 수는 거머리말이  $5.9 \pm 0.1$ 개로 가장 많았으며, 애기거머리말이  $2.4 \pm 0.9$ 개로 가장 적었다. 또한 생식지 개체당 불염포 수는 거머리말이  $26.6 \pm 0.9$ 개로 가장 많았으며, 애기거머리말이  $4.1 \pm 0.4$ 개로 가장 적었다. 육수화서당 열매의 수는 수거머리말이  $16.7 \pm 0.9$ 개로 가장 많았으며, 애기거머리말이  $5.7 \pm 0.7$ 개로 가장 적었다. 생식지 개체당 종자 수는 수거머리말이  $7.4 \pm 3.1$ 개로 가장 많았으며, 애기거머리말이  $2.4 \pm 0.9$ 개로 가장 적었다(Table 2). 거머리말속 각종의 육수화서 길이는 육수화서 내 열매의 수와 유의한 상관( $P < 0.05$ ,  $r^2 = 0.765$ )을 보였으나, 종자 수는 유의한 상관을 나타내지 않았다( $P > 0.05$ ). 특히, 거머리말은 생식지가 가장 신장한 단계에서 개체당 불염포의 수( $26.6 \pm 0.9$ )는 가장 높았으나, 전체 육수화서 내 종자의 출현 비(3.3%)와 육수화서 내 종자의 수(2.0개)는 가장 낮게 나타났습니다.

#### 4. 고 찰

##### 거머리말속의 생물계절학적 특징

울포만에 생육하는 포기거머리말과 수거머리말의 종자 발아는 관측되지 않았으며, 생식 전략은 대부분 영양 생식에 의해 해초지를 유지하는 것으로 판단되었다. 승봉도의 거머리말과 애기거머리말의 경우 종자 발아와 생식지는 낮은 밀도로 출현하였으며, 종자 발아와 생식지의 출현 시기가 유사하여 종자 발아에 의한 생식지의 출현은 없었다. 또한, 이들 해초지에서는 생식지 출현과 소멸 후에도 영양 생식에 의한 영양지는 지속적으로 출현하였다. 이러한 결과로 볼 때 거머리말속 4종들의 생활사는 다년생의

**Table 2. Mean ( $\pm$ S.E.) reproductive shoot length, spadix length, number of rhipidia per shoot, number of spathes per shoot, number of fruits per spadix and number of seeds per shoot at maximum reproductive phase of the four *Zostera* species.**

Species	<i>Zostera caespitosa</i>	<i>Z. caulescens</i>	<i>Z. marina</i>	<i>Z. japonica</i>
Reproductive shoot length (cm)	$139.6 \pm 8.4$	$244.5 \pm 8.8$	$73.6 \pm 2.4$	$25.0 \pm 0.9$
Spadix length (cm)	$3.2 \pm 0.1$	$5.3 \pm 0.5$	$4.9 \pm 0.3$	$1.4 \pm 0.1$
Rhipidia per shoot (#)	$5.2 \pm 0.4$	$5.0 \pm 0.6$	$5.9 \pm 0.1$	$2.4 \pm 0.1$
Spathes per shoot (#)	$13.6 \pm 1.2$	$8.4 \pm 2.0$	$26.6 \pm 0.9$	$4.1 \pm 0.4$
Fruits per spadix (#)	$10.8 \pm 0.3$	$16.7 \pm 1.5$	$10.7 \pm 0.9$	$5.7 \pm 0.7$
Seeds per shoot (#)	$5.2 \pm 0.7$	$7.4 \pm 3.1$	$5.0 \pm 0.1$	$2.4 \pm 0.9$

특징을 갖는 것으로 판단되었다.

울포만의 포기거머리말 생식지는 2월말(10°C)부터 5월초(16°C)까지 출현하였으며, 동해안의 덕산항에 생육하는 포기거머리말의 경우 생식지는 1월 중순부터 4월초까지 출현하여 울포만보다 1개월 정도 빠르게 나타났다(Lee *et al.* 2002a). 덕산항의 수온은 9°C(3월)부터 23°C(7월)까지 나타났으며, 포기거머리말 생식지는 9~12°C에 출현하였다(Lee *et al.* 2002a). 이러한 결과에서 울포만과 덕산항에서 생육하는 포기거머리말의 생식지는 일년 중 수온이 최저인 시기에 출현하여 수온이 증가함에 따라 성장하는 특징을 보였다.

울포만의 수거머리말 생식지는 1월(9°C)부터 6월(19°C)까지 출현하였으며, 진도 죽림에 생육하는 수거머리말의 생식지는 12월부터 8월초까지 약 8개월 간 출현하였다(Lee *et al.* 2002b). 일본의 Sagami Bay에 자생하는 수거머리말의 생식지는 울포만과 유사하게 1월부터 8월까지 출현한 후 9월에 소멸하였으나(Omori 1994), Funakoshi Bay에서 수거머리말 생식지의 최대 수명은 13개월까지 출현하는 것으로 나타났다(Nakaoka *et al.* 2003). 울포만의 개화와 열매는 각각 2~6월과 5~6월에 출현하였지만, Funakoshi Bay의 수거머리말의 개화와 열매는 각각 5~6월과 7~8월에 나타났다(Nakaoka *et al.* 2003). 이와 같은 결과에서 울포만에 생육하는 수거머리말 생식지의 개화 기간은 Funakoshi Bay의 수거머리말보다 약 3개월 정도 길게 나타났으며, 열매는 약 1개월 정도 빨리 출현하였다.

울포만에서 혼재하여 출현하는 수거머리말 생식지는 포기거머리말 보다 1개월 정도 빠르게 출현하였으며, 생식지의 출현 기간도 2개월 이상 길게 나타났다. 이러한 이유는 깊은 수심(4~6 m)에서 최대 5.0 m 이상 신장하는 수거머리말 생식지는 빛에 보다 잘 적응하기 위한 형태적인 특징 때문에 성장에 많은 시간이 소요되며, 다른 거머리말속의 생식지와는 달리 종자를 생성한 후에도 소멸하지 않고 수개월 동안 더 지속되는 것으로 나타났다(Nakaoka *et al.* 2003). 울포만에 혼재하는 포기거머리말과 수거머리말의 경우 수거머리말의 출현시기는 포기거머리말 보다 빠르며, 생식지의 길이도 길게 신장하였다(Fig. 2). 이러한 결과에서 수거머리말의 생식지는 포기거머리말보다 빛의 이용성이 큰 것으로 판단되었다.

중위도 지역에서 거머리말의 생활사는 다년생으로 조하대 지역은 대체로 영양 번식에 의해 초지가 유지되고, 조간대 지역과 환경적으로 불안정한 생육지에서는 종자 발아와 생식지의 출현이 높게 나타나는 두 형태의 생식 전략을 갖는 것으로 보고 되고 있다(Phillips *et al.* 1983; Vermaat *et al.* 1995). 승봉도의 얕은 조하대 생육지에서 거머리말의 생식지는 4월(7°C)부터 8월초(21°C)까지 나타났으며, 수심 3 m의 동해 덕산항에서는 3월(9°C)부터 9월

초(25°C)까지 출현하였다(Lee *et al.* 2003). 덕산항에 출현한 거머리말의 생식지는 승봉도의 생육지에서 보다 약 2개월 정도 길게 나타났으며, 또한 생식지 출현 동안 수온도 2~4°C 정도 높았다. 그러나, 승봉도와 덕산항에서 출현한 거머리말의 생식지는 년중 수온이 최저에서 증가하는 시기에 출현하여 수온이 가장 높은 시기에 소멸하는 유사한 경향을 보였다(Lee *et al.* 2003).

승봉도의 조간대에 생육하는 애기거머리말의 생식지는 7월(18°C)부터 9월(22°C)까지 출현하였으며, 아열대 동아시아 해역에서는 3월부터 5월까지로 승봉도와 유사한 18~24°C의 수온 범위에서 출현하였다(Lee 1997; Huong *et al.* 2003). 이와 같은 결과에서 애기거머리말의 생식지는 거머리말속의 다른 종들보다 높은 수온에서 출현하고 성장하는 특성을 보였다.

승봉도의 거머리말 초지는 패치로 분포하며, 생식지가 드물게 출현하여 생식지의 출현 빈도를 조사하지 못하였으나, 애기거머리말의 생식지는 전체 생육밀도의 3~19%로 나타났다. 애기거머리말과 거머리말의 종자 발아는 영양지 생육밀도의 1% 이하로 낮게 나타났다. 이 같은 원인은 승봉도의 조간대와 얕은 조하대는 조석 변화에 의한 해수의 유동이 크며, 조립한 사질의 퇴적 환경에서 종자 은행(seed bank)이 어렵기 때문인 것으로 판단되었다. 따라서 승봉도와 같이 사질의 퇴적 환경과 물리적인 요인의 변화가 큰 생육지에서는 종자 발아와 생식지의 출현이 높지 않았으며, 영양 번식이 활발한 것으로 나타났다.

#### 거머리말속 생식지의 구조적 특징과 생식 능력

거머리말의 경우 생식지 개체당 화축 수, 불염포 수, 육수화서의 크기와 육수화서 당 종자 수는 생육지의 수심이 깊거나 생식지 개체가 길게 신장하면 높게 나타나는 것으로 보고되었다(Phillips and Backman 1983; Keddy 1987; Meling-Lopez and Ibarra-Obando 1999). 거머리말속의 생식지는 수거머리말이 가장 길게 신장하였으며, 육수화서의 길이와 육수화서 당 종자 수도 가장 높게 나타났다(Table 2). 반면에 생식지의 개체당 불염포 수는 거머리말이 수거머리말 보다 3배 이상 높게 나타났다(Table 2). 생식지 개체의 잠재적인 생식 능력은 육수화서 당 열매의 수와 불염포의 수에 의해 결정되기 때문에 거머리말의 잠재적인 열매 생산 능력은 285개로 수거머리말의 140개 보다 약 2배 정도 높은 것으로 판단되었다. 그러나 거머리말과 수거머리말의 종자의 수는 잠재 열매 생산 능력의 각각 2%와 5% 내외로 나타났다. 이러한 결과는 생식지 화축의 순서에 따른 생식 단계의 차이, 육수화서 내 열매의 불완전한 발육과 성숙한 종자의 방출 때문에 종자의 출현 빈도가 낮게 나타난 것으로 판단되었다(de Cock 1981).

울포만과 승봉도에 생육하는 거머리말속 4종들의 생식

지는 개화 후 3~5개월 동안 출현한 후 급격히 탈락하였다 (Fig. 2와 3). 그러나, 개화 단계는 생식지가 탈락하는 시기에도 10~30% 내외로 존재하였으며, 종자의 출현 빈도는 수거머리말의 20%를 제외하고 다른 종들은 10% 이하로 낮게 나타났다(Table 1). 이러한 특징은 아열대 지역에 생육하는 일년생 거머리말 개체군에서도 유사한 경향을 보였으며, 탈락하기 전의 생식지에서 불염포와 암술 및 수술형성 단계가 50% 이상 나타났다(Meling-Lopez and Ibarra-Obando 1999). 거머리말의 경우 생식지는 기저에서부터 가장자리까지 화축이 연속적으로 출현하며, 화축의 순서에 따라 생육 단계가 명확히 구분되어 나타난다(de Cock 1981). 또한 생식지 기저의 화축에서 출현한 육수화서는 익은 종자 단계까지 발달하지만, 가장자리의 화축의 부분은 종자 단계까지 발달하지 못하고 탈락한다(de Cock 1981). 따라서 거머리말속의 다른 종들도 생식지의 전 육수화서가 종자로 발달하기 전에 탈락하기 때문에 조사 기간 동안 개화 단계가 높게 나타난 것으로 판단되었다.

결론적으로 본 연구에 나타난 거머리말속 식물의 생식 전략은 종자 발아보다는 영양 생식이 높게 나타났으며, 같은 생육지에 혼재하거나 같이 출현하는 중간 생물계절학적 특징은 명확히 구분되었다. 포기거머리말의 생식지는 생육지의 수온이 가장 낮은 계절에 출현하였으나, 애기거머리말은 수온이 가장 높은 계절에 출현하는 특징을 보였다. 또한 거머리말속 생식지의 생육 단계와 구조적인 특징은 수온의 증가에 따라 발달하는 것으로 나타났다. 생식지의 잠재 생식 능력은 생식지의 크기와 관계없이 거머리말이 가장 높았으나, 생식지 개체의 종자 수는 수거머리말이 가장 높게 나타났다.

## 5. 요약

한반도 연안에 자생하는 거머리말속(*Zostera*) 해초 4종인 포기거머리말(*Z. caespitosa*), 수거머리말(*Z. caulescens*), 애기거머리말(*Z. japonica*), 그리고 거머리말(*Z. marina*)에 대한 생물계절학과 생식지 특징을 조사하였다. 울포만의 조하대에 혼재하는 포기거머리말과 수거머리말은 2002년 11월부터 2003년 8월까지 조사하였다. 승봉도의 애기거머리말은 조간대 중부에서 하부까지 분포하였으며, 식물체는 2002년 11월부터 2003년 10월까지 채집하였다. 거머리말은 승봉도의 조간대 하부에서부터 간조시 수심 1m 내외의 조하대까지 패치로 분포하였으며, 생물계절학적 특징은 2003년 2월부터 2003년 10월까지 조사하였다. 거머리말속 종들의 유성생식 단계는 개화, 열매, 종자 출현 시기와 생식기간이 명확하게 구분되어 나타났다. 포기거머리말의 개화는 2월에서 5월초(10~16°C)까지 출현하였지만, 최대 종자는 5월초에 나타났다. 수거머리말의 생식지

는 1월(9°C)에 출현하였으며, 개화는 2월부터 6월(10~19°C)까지 출현하였다. 애기거머리말의 개화는 7월에서 9월(18~22°C)까지 출현하였으며, 종자는 8월부터 9월까지 성숙하였다. 거머리말의 개화는 4월에서 8월(7~21°C)까지 출현하였으며, 7월에 종자가 나타났다. 수거머리말의 생식지와 육수화서는 가장 길게 신장하였으며, 개체당 종자 수도 가장 높았다. 거머리말의 생식지는 중간 크기이며, 생식능력이 가장 높게 나타났다. 거머리말속 4종에 대한 생식지의 생식 단계와 생식 능력은 증가하는 수온과 관련된 것으로 판단되었다. 본 연구지역에서 거머리말속 개체군의 생식 전략은 유성 생식 능력이 낮은 다년생의 특징을 보였다.

## 사 사

이 논문은 2003년 한양대학교 이학기술연구소 연구비 지원 및 과학기술분야 특별 고비장학생 지원과 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-11658-0) 지원으로 수행되었습니다. 논문을 읽고 세세한 부분의 지적과 논문 작성에 많은 도움을 주신 두분 심사자(신현철 교수님과 강래선 박사님)께도 감사드립니다.

## 참고문헌

- 국립수산과학원. 2003. 해양조사연보. Vol. 51.
- 국립수산과학원. 2004. 해양조사연보. Vol. 52.
- de Cock, A.W.A.M. 1981. Development of the flowering shoot of *Zostera marina* L. under controlled conditions in comparison to the development in two different natural habitats in the Netherlands. *Aquat. Bot.*, 10, 99-113.
- den Hartog, C. 1970. The Sea-Grasses of the World. North-Holland Publication Co. 275 p.
- Huong, T.T.L., J.E. Vermaat, J. Terrados, N.V. Tien, C.M. Duarte, J. Borum, and N.H. Tfi. 2003. Seasonality and depth zonation of intertidal *Halophila ovalis* and *Zostera japonica* in Ha Long Bay (northern Vietnam). *Aquat. Bot.*, 75, 147-157.
- Jacobs, R.P.W.M. and E.S. Pierson. 1981. Phenology of reproductive shoots of eelgrass, *Zostera marina* L., at Roscoff (France). *Aquat. Bot.*, 10, 45-60.
- Keddy, C.J. 1987. Reproduction of annual eelgrass variation among habitats and comparison with perennial eelgrass (*Zostera marina* L.). *Aquat. Bot.*, 27, 243-256.
- Keddy, C.J. and D.G. Patriquin. 1978. An annual form of eelgrass in Nova Scotia. *Aquat. Bot.*, 5, 163-170.
- Lee, S.Y. 1997. Annual cycle of biomass of a threatened population of intertidal seagrass *Zostera japonica* in Hong Kong. *Mar. Biol.*, 129, 183-193.



- Lee, S.Y. 2001. A study on the ecological and taxonomical characteristics of *Zostera* (Zosteraceae) in Korea. Ph. D. Thesis, Hanyang Univ. 167 p.
- Lee, S.Y., S.M. Lee, and C.I. Choi. 2002a. Phenology and morphometrics change of *Zostera caespitosa* Miki populations at the Duksan Port in the eastern coast of Korea. *Kor. J. Environ. Biol.*, 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 Duksan Port in the Eastern Coast of Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr. 「The Sea」*, 8, 70-77.
- Lee, S.Y., Y. Suh, S. Kim, and C.I. Choi. 2002b. Ecological and morphological characteristics of *Zostera caulescens* Miki (Zosteraceae) in Korea. *Ocean & Polar Res.*, 24, 345-357.
- Meling-Lopez, A.E. and S.E. Ibarra-Obando. 1999. Annual life cycles of two *Zostera marina* L. populations in the Gulf of California: contrasts in seasonality and reproductive effort. *Aquat. Bot.*, 65, 59-69.
- Miki, S. 1932. On seagrass new to Japan. *Bot. Mag.*, 46, 774-788.
- Nakaoka, M., N. Kouchi, and K. Aioi. 2003. Seasonal dynamics of *Zostera caulescens*: relative importance of flowering shoots to net production. *Aquat. Bot.*, 77, 277-293.
- Olesen, B. 1999. Reproduction in Danish eelgrass (*Zostera marina* L.) stands: size-dependence and biomass partitioning. *Aquat. Bot.*, 65, 209-219.
- Omori, Y. 1994. Seasonal changes of the reproductive shoot of *Zostera caulescens* (Zosteraceae) in Sagami Bay, central Japan. *Sci. Rep. Yokosuka City Mus.*, 42, 65-69.
- 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. *Aquat. Bot.*, 24, 335-341.
- Orth, R.J., M. Luckenbach, and K.A. Moore. 1994. Seed dispersal in a marine macrophyte: implications for colonization and restoration. *Ecology*, 75, 1927-1939.
- Phillips, R.C. and T. Backman. 1983. Phenology and reproductive biology of eelgrass (*Zostera marina* L.) at Bahia Kino, Sea of Cortez, Mexico. *Aquat. Bot.*, 17, 85-90.
- Phillips, R.C., C. McMillan, and K.W. Bridges. 1983. Phenology of eelgrass, *Zostera marina* L., along latitudinal gradients in North America. *Aquat. Bot.*, 15, 145-156.
- Robertson, A.I. and K.H. Mann. 1984. Disturbance by ice and life-history adaptations of eelgrass *Zostera marina*. *Mar. Biol.*, 80, 131-141.
- Santamaria-Gallegos, N.A., J.L. Sanchez-Lizaso, and E.F. Felix-Pico. 2000. Phenology and growth cycle of annual subtidal eelgrass in a subtropical locality. *Aquat. Bot.*, 66, 329-339.
- Shin, H. and H.K. Choi. 1998. Taxonomy and distribution of *Zostera* (Zosteraceae) in eastern Asia, with special reference to Korea. *Aquat. Bot.*, 60, 49-66.
- Tomlinson, P.B. 1974. Vegetative morphology and meristem dependence the foundation of productivity in seagrasses. *Aquaculture*, 4, 107-130.
- Van Lent, F. and J.M. Verschuure. 1994. Intraspecific variability of *Zostera marina* L. (eelgrass) in the estuaries and lagoons of the southwestern Netherlands. II. Relation with environmental factors. *Aquat. Bot.*, 48, 59-75.
- Vermaat, J.E., N.S.R. Agawin, C.M. Duarte, M.D. Fortes, N. Marba, and J. Uri. 1995. Meadow maintenance, growth and productivity of a mixed Phillipine seagrass bed. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 124, 215-225.
- Walker D.I., B. Olesen, and R.C. Phillips. 2001. Reproduction and phenology in seagrasses. p. 59-78. In: *Global Seagrass Research Methods*. ed. by F.T. Short and R.G. Coles. Elsevier. Amsterdam.

---

Received Nov. 24, 2004

Accepted Mar. 21, 2005