

Article

남해 연안에 생육하는 거머리말(*Zostera marina* L.) 개체군의 생물계절학과 생식 능력

이상룡* · 이성미 · 최청일

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

Phenology and Reproductive Effort of Two *Zostera marina* L. Populations on the Southern Coast of Korea

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

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

Abstract : The phenology and reproductive effort of *Zostera marina* L. (Dongdae Bay and Aenggang Bay) on the southern coast of Korea were investigated from September 2002 to August 2003. The Dongdae Bay(DB) exhibited a finer sediment grain size with richer organic content than the Aenggang Bay(AB). Water temperature at DB site ranged from 7.5°C in February to 25.5°C in August, while water temperature at AB site ranged from 6.7°C in February to 25.2°C in September. Both populations exhibited a perennial life span, but the sexual reproductive effort was significantly higher at DB than AB. The reproductive shoots of DB site were developed from February to June 2003, while those of AB site from March to June 2003. At DB site, the frequency of reproductive shoot ranged from 11 to 33%, whereas reproductive shoot of AB did below 5%. Reproductive structures were larger and more abundant at DB, with the exception of number of fruits and seeds per spadix. Water temperature seems most important to regulate the timing of reproductive phase of *Z. marina* populations for two study sites.

Key words : 거머리말(*Zostera marina* L.), 남해안(the southern coast of Korea), 생물계절학(phenology), 생식능력(reproductive effort).

1. 서 론

해초는 해산 현화식물로서 해양 환경에서 수중 생활을 통해 생식이 가능한 연안 생태계에서 생산력이 가장 높은 기초 생산자의 하나이다(den Hartog 1970). 해초지는 영양지의 축지 형성에 의한 영양분지와 생식지의 유성생식에 의한 종자 발아에 의해 조성된다(Vermaat *et al.* 1995).

해초 중 거머리말(*Zostera marina*)은 세계적으로 가장 널리 분포하고 있으며, 북반구 해역에서 가장 우점하는 종

으로 알려져 있다(Short *et al.* 2001). 대부분의 거머리말 개체군은 지하경의 신장과 영양지의 분지에 의해 다년생 초지를 형성하지만(Tomlinson 1974), 북미와 유럽의 연안에 생육하는 일부 거머리말 개체군은 수 개월 동안에 종자가 발아하고 생식지를 형성 후 생활사를 마치는 일년생의 생식 전략을 보이는 것으로 알려져 있다(Keddy and Patriquin 1978; Phillips and Backman 1983; Meling-Lopez and Ibarra-Obando 1999; Santamaria-Gallegos *et al.* 2000). 고위도 연안의 일년생 거머리말 개체군은 조간대 지역에서만 출현하며, 겨울 동안 표층수의 결빙과 낮은 염분에 의해 생장이 제한된다(Keddy and Patriquin

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

1978; Robertson and Mann 1984; Keddy 1987). 반면, 저위도 아열대 태평양 연안에 생육하는 일년생 거머리말 개체군은 높은 수온의 영향으로 겨울과 봄에만 출현한다(Phillips and Backman 1983; Phillips *et al.* 1983; Meling-Lopez and Ibarra-Obando 1999; Santamaria-Gallegos *et al.* 2000).

그러나, 염분 변화가 적은 중위도 연안의 조하대에 생육하는 거머리말은 다년생으로서 영양 번식을 통해 초지를 유지하며, 계절적으로 낮은 염분을 나타내는 조간대 생육지에서는 종자 발아와 생식지의 출현이 높다(Phillips *et al.* 1983). 거머리말의 생식 능력은 교란이 빈번한 생육지에서 높게 나타나며, 제한된 유전적인 배경 내에서 일년생 또는 다년생으로 전환이 가능한 것으로 나타났다(Backman 1991; Van Lent and Verschuure 1994). 거머리말의 생식지 출현 시기는 위도에 따라 차이가 나타나며, 위도가 유사한 생육지에서는 수온과 일조 시간이 생식지의 초기 출현에 영향을 미치는 것으로 나타났다(Jacobs and Pierson 1981; de Cock 1981; Phillips *et al.* 1983; McMillan and Bridges 1983).

거머리말은 한국 연안에서 가장 풍부한 해초 중의 하나로 제주도를 포함한 전 연안에 고르게 분포한다(Lee *et al.* 2002; Lee and Lee 2003). 특히, 남해안에서 거머리말의 개체군은 조간대로부터 수심 8.0 m까지 분포하고, 사질, 니사질과 사니질질의 퇴적 환경을 가진 다양한 생육지에서 출현한다(Lee *et al.* 2002). 또한, 거머리말의 생육밀도, 생물량과 형태는 생육 환경에 따라 크게 차이가 나타나는 것으로 확인 되었다(Lee 2001). 반면에 생육 환경에 따른 거머리말 개체군의 생물계절학적 특징, 생식 전략과 생식 능력에 대한 연구는 거의 알려져 있지 않다(Lee 2001; Lee *et al.* 2003).

본 연구는 남해안에 생육하는 거머리말 개체군들의 생육 환경에 따른 생물계절학적 특징과 생식 전략을 규명하고, 생식지의 생식 능력과 계절에 따른 생식 단계를 비교하였다. 특히, 생육 환경에 따른 거머리말 개체군의 생식 전략과 생식 능력에 대한 연구는 인위적 요인들에 의해 교란된 해초지 식생 복원에 필요한 중요 배양과 초지 조성 전략의 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 재료 및 방법

연구 지역 및 시기

생육 환경에 따른 거머리말의 생식전략 차이를 비교하기 위해 남해안에 위치한 남해도의 동대만과 앵강만 두 곳을 조사하였다(Fig. 1). 동대만(34°53'N, 128°03'E)은 남해도의 북쪽에 위치한 좁고 긴 내만(6 km²)으로 간조시 개

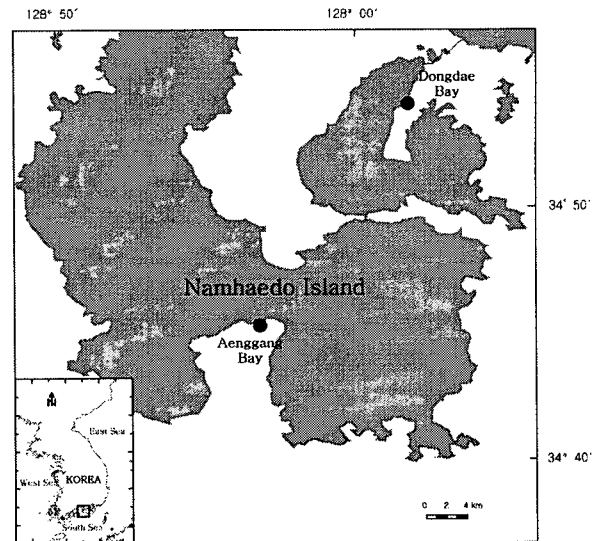


Fig. 1. Map showing the study sites in Dongdae Bay and Aenggang Bay on the southern coast of Korea.

펄이 발달하며, 만의 최대 수심은 약 8.0 m 정도이다. 거머리말은 하부 조간대에서부터 저조시 수심 약 5.0 m까지 넓은 초지를 형성하였다. 앵강만(34°42'N, 128°01'E)은 남해도의 남쪽에 위치하며, 남해의 외양과 연결된 만(약 14 km²)으로 거머리말은 조간대 하부에서부터 수심 약 2.0 m까지 분포하였다. 동대만과 앵강만의 조석은 일조 부등으로 조석 차는 -0.2 m에서 3.7 m 범위이다(www.NORI.go.kr).

거머리말의 생물계절학적 특징, 생식 능력과 계절에 따른 생식 단계 조사에 필요한 시료는 동대만에서는 간조시 평균 수심 약 1.0 m 내외에서 채집하였으며, 앵강만에서는 평균 수심 약 0.5 m 내외에서 채집하였다. 조사는 2002년 9월부터 2003년 8월까지 실시하였다.

생육 환경 분석

표층 수온은 조사 기간 동안 염분계(YSI, M-33)를 이용하여 매일 측정하였으며, 표층 퇴적물 시료는 직경 10 cm PVC corer를 이용하여 2002년 9월, 12월, 2003년 3월과 6월에 각각 시료를 채집하였다. 퇴적물 시료는 건조 후 유기물과 탄산염을 제거하여 Folk(1974)의 건식 체질(1-4φ, 1φ 간격) 방법에 따라 평균 입도를 분석 하였다.

거머리말 시료 채집

거머리말의 생육밀도와 생물량은 35 cm×35 cm 방형구(n=4)를 이용하여 방형구 내의 모든 식물체를 매일 채집하였다. 채집한 식물체는 수돗물로 세척하여 퇴적물과 부착 생물을 제거한 후 영양지와 생식지의 수를 측정하였

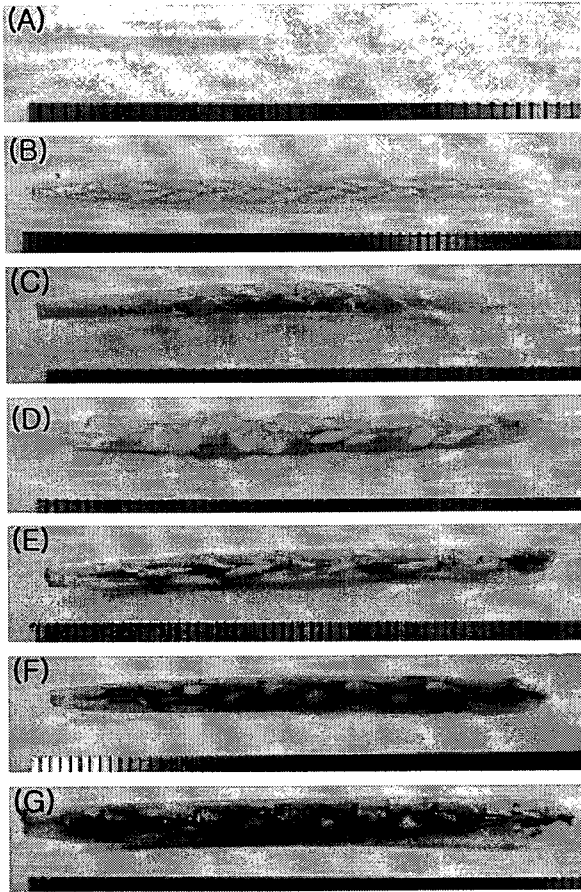


Fig. 2. Reproductive phases of *Zostera marina* L.; (A)-(D): anther and pistil formation, (E)-(F): fruit development and (G): seed ripness.

다. 생물량은 식물체의 영양지와 생식지의 지상부로 분리하여 완전히 건조시켜 건중량을 측정하였다. 생식 능력은 전체 식물체에 대한 생식지의 생육밀도와 지상부 생물량의 비로 나타내었다(Kaldy and Dunton 2000).

생식지의 형태학적 특징은 해초지에서 2003년 2월부터 2003년 6월까지 생식지가 출현하는 시기에 무작위로 선택된 10~15개체의 성숙한 식물체를 대상으로 관찰하였다. 생식지는 식물체의 길이, 개체당 화축(rhpidium) 수, 개체당 불염포(spathe) 수, 불염포 길이와 너비, 육수화서(spadix)의 길이와 너비, 육수화서내 암술과 수술의 수, 육수화서내 열매와 종자 수를 측정하였다. 생식지의 발달 단계는 Meling-Lopez and Ibarra-Obando(1999)의 6단계를 수정하여 암술과 수술의 형성단계, 열매 발달 단계와 종자 성숙 3단계로 구분하였으며(Fig. 2), 각 단계는 매월 조사한 불염포 총 수에 대한 백분율로 계산하였다. 생식지의 종자 생산성은 생식지 개체 당 불염포의 수와 육수화서당 평균 종자 수를 계산하였다.

자료 처리

퇴적물의 입도와 유기물 함량, 거머리말 개체군의 생물량, 생육밀도, 생식능력과 생식지의 구조적인 특징들은 조사 시기와 장소에 따른 차이는 two-way ANOVA를 이용해 분석하였으며, 요인들의 유의한 차이는 Tukey의 사후 분석(Post Hoc multiple comparison test)을 수행하여 조사 시기와 장소에 따른 차이를 검정하였다.

분석에 앞서 백분율(%) 자료는 arcsine으로 변환하였으며, 각 자료들은 정규성(normality)과 분산의 동질성(homogeneity)검정을 실시하였다. 조사 지역간의 수은 차이는 Student t-test를 이용하여 비교하였다. 통계적인 분석들은 SPSS 프로그램(SPSS Inc.)을 이용하였으며, 유의성은 $p < 0.05$ 수준으로 하였다.

3. 결 과

환경 요인

동대만 거머리말 초지의 퇴적물 입도 조성은 사니질(sandy mud)로서 분급도가 불량하였으며(Fig. 3A), 퇴적물의 50% 이상이 니질(silt + clay)로서 매우 부드러운 기질로 나타났다. 반면에 앵강만 거머리말 초지의 퇴적물 입도 조성은 사질의 균질한 입도 분포를 보였으며, 조립하거나 세립한 사질이 90% 이상으로 조밀한 저질의 특성을

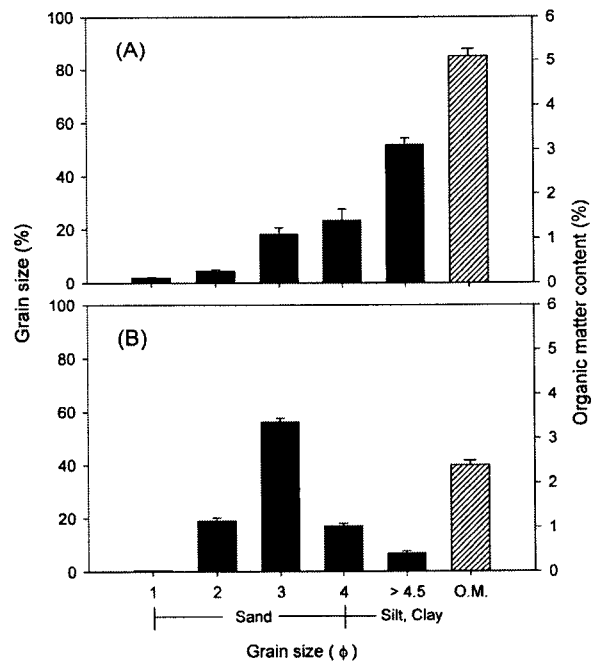


Fig. 3. Sediment grain size distribution (%), $X \pm S.E.$, $n = 6$) and organic matter content (%), $X \pm S.E.$, $n = 6$) of the two habitats of *Zostera marina* (A: Dongdae Bay, B: Aenggang Bay).

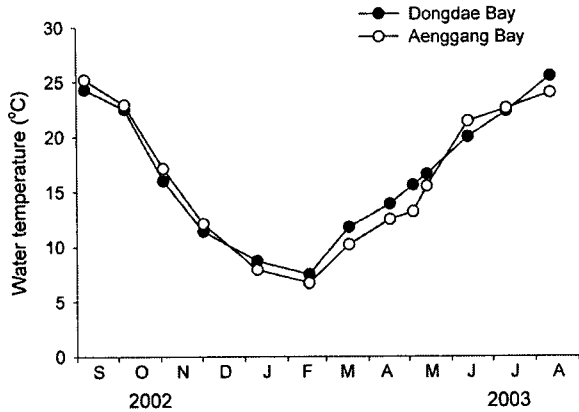


Fig. 4. Surface water temperature of the two habitats of *Zostera marina*.

보였다(Fig. 3B). 퇴적물의 유기물 함량은 동대만($5.1 \pm 0.5\%$)이 앵강만($2.4 \pm 0.1\%$)보다 유의하게 높았다($p < 0.001$).

동대만과 앵강만의 표층 수온은 명확한 계절적인 변화를 보였으나(Fig. 4), 생육지에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았다($p = 0.298$). 동대만의 수온은 2월에 7.5°C 로 가장 낮았으며, 8월에 25.5°C 로 가장 높았다. 반면, 앵강만의 수온 분포는 2월(6.7°C)부터 9월(25.2°C)까지 증가하는 경향을 보였다(Fig. 4).

생육밀도, 생물량과 생식 능력

거머리말의 생육밀도는 생육지($p < 0.001$)와 계절($p < 0.001$)에 따라 각각 유의한 차이를 보였다. 생식지의 생육밀도 또한 생육지($p < 0.001$)와 계절($p = 0.023$)에 따라 유의한 차이를 보였다. 동대만에서 거머리말의 평균 생육밀도는 1월부터 3월까지 높았으며, 7월에 최소값을 나타내었다(Fig. 5A). 앵강만에서 거머리말의 평균 생육밀도는 1월부터 4월까지 증가하였으며, 9월까지 감소하는 경향을 보였다(Fig. 5A). 앵강만의 연간 평균 생육밀도는 단위 면적당(m^{-2}) 306 ± 23 개체로 동대만의 244 ± 20 개체로 보다 유의하게 높았으나(Fig. 5A), 생식지의 평균 생육밀도는 동대만이(57 ± 8 개체 m^{-2})이 앵강만(13 ± 3 개체 m^{-2})보다 약 4배 정도 높았다. 동대만에서 생식지는 2003년 2월부터 6월초까지 5개월 동안 출현하였으며, 앵강만에서는 동대만 보다 1개월 늦은 2003년 3월부터 6월초까지 4개월 동안 출현하였다(Fig. 5B). 동대만에서 거머리말 생식지의 생육밀도는 3월과 5월에 가장 높게 나타났으며, 전 식물체의 19와 33%를 각각 차지하였다(Fig. 5B). 반면에 앵강만의 생식지는 6월에 최대였으며, 최대 생육밀도의 비는 5%를 차지하였다(Fig. 5B).

거머리말의 지상부 생물량은 생육지($p < 0.001$)와 계절($p = 0.022$)에 따라 각각 유의한 차이를 보였으며, 생식지 생

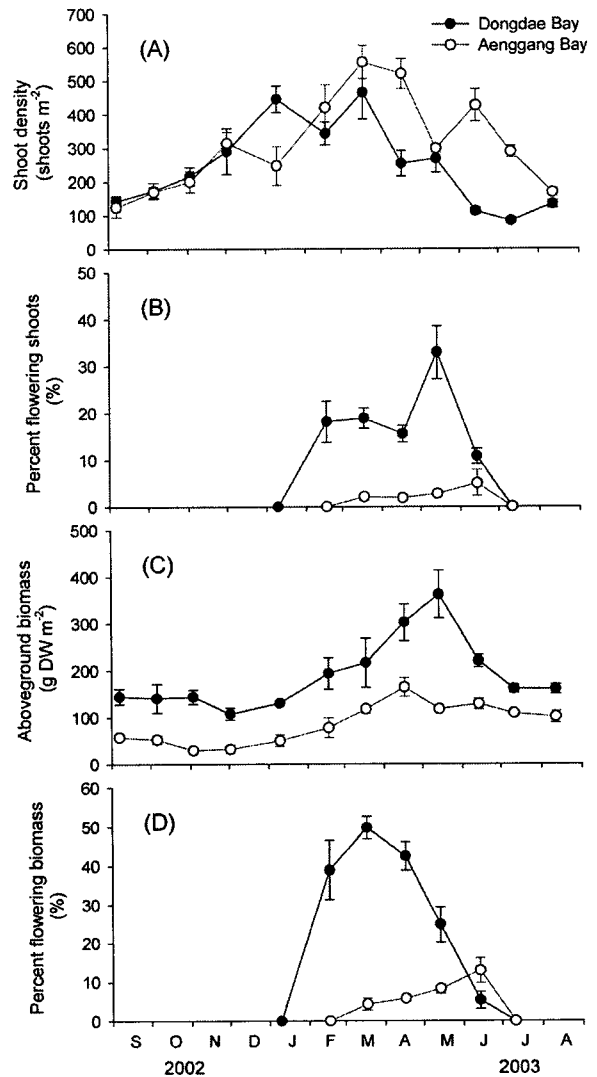


Fig. 5. Seasonal changes in shoot density (A), proportion of flowering shoots (B), aboveground biomass (C), and proportion of flowering biomass (D) the two *Zostera marina* populations.

물량도 생육지($p < 0.001$)와 계절($p = 0.035$)에 따라 유의한 차이를 보였다. 동대만의 연간 평균 지상부 생물량은 190.4 ± 12.8 g DW m^{-2} 으로 앵강만의 86.0 ± 6.7 g DW m^{-2} 보다 약 2배 정도 높았다(Fig. 5C). 동대만의 지상부 생물량은 1월부터 5월까지 증가 하였으며, 12월에 가장 낮았다(Fig. 5C). 반면에 앵강만의 지상부 생물량은 12월부터 4월까지 증가하였으며, 11월에 가장 낮게 나타났다(Fig. 5C). 거머리말 생식지의 평균 생물량은 동대만(84.8 ± 12.5 g DW m^{-2})이 앵강만(9.9 ± 1.8 g DW m^{-2})보다 8배 이상 높게 나타났다. 동대만에서 생식지의 생물량 비는 2월부터 증가하여 4월에 최대가 되었으며, 6월에 급격

히 감소하였다(Fig. 5D). 동대만에서 생식지의 생물량은 전체 생물량에 높은 비를 차지하였으며, 3월에는 전체 지상부 생물량의 50%로 가장 높았다(Fig. 5D). 앵강만에서 생식지의 생물량은 3월부터 6월까지 증가하였으며, 6월에 최대 13%의 생물량 비로 나타났다(Fig. 5D).

생식지의 특성과 생식 단계

거머리말 생식지의 길이는 생육지($p < 0.001$)와 계절($p < 0.001$)에 따라 각각 유의한 차이를 보였다. 동대만 개체군에서 거머리말 생식지의 길이는 5월에 156.4 ± 8.5 cm까지 신장하였으며, 앵강만 개체군에서는 5월에 99.6 ± 5.6 cm로 최대로 나타났다(Table 1). 생식지의 화축 수는 생육지에 따라 유의한 차이($p < 0.001$)를 보였으나, 계절($p = 0.428$)에 따른 차이는 나타나지 않았다. 동대만에서 생식지의 평균 화축 수는 7.0 ± 0.1 개였으며, 앵강만의 평균 화축 수는 5.7 ± 0.1 개로 나타났다. 생식지 개체당 평균 불염포의 수는 동대만에서 25.1 ± 1.2 개로 앵강만의 19.1 ± 0.1 개 보다 유의하게($p < 0.001$) 높았다. 생식지 개체당 불염포의 수는 계절에 따라 유의한 차이($p < 0.001$)를 보였으며, 5월에 최대값을 보였다(Table 1).

육수화서의 길이는 동대만에서 5.3 ± 0.2 cm로 앵강만의 4.3 ± 0.1 cm 보다 유의하게($p < 0.001$) 길었다. 육수화서의 길이는 계절에 따라 유의한 차이($p < 0.001$)를 보였으며, 동대만에서는 4월초에 가장 길었으나, 앵강만에서는 5월에 가장 길었다(Table 1). 또한 육수화서 당 암술의 수도 생육지($p < 0.001$)와 계절($p < 0.001$)에 따라 각각 유의한 차이를 보였다. 동대만에서 육수화서 당 암술의 수는 2월에 가장 높았으며, 점차 감소하여 5월 말에 가장 낮게 나타났다

(Table 1). 반면에 앵강만에서는 4월에 가장 높았으며, 점차 감소하여 6월에 최소 값으로 나타났다(Table 1). 육수화서 내 열매의 수는 계절에 따라 유의한 차이($p < 0.001$)를 보였으나, 생육지($p = 0.076$)에 따른 차이는 나타나지 않았다. 동대만에서 육수화서 내 열매의 수는 4월초에 가장 높게 나타났으며, 점차 감소하여 5월말에 가장 적었다(Table 1). 반면에 앵강만에서 육수화서 내 열매의 수는 3월초에 가장 높았으며, 6월에 가장 적었다(Table 1). 육수화서 내 종자의 수는 계절($p = 0.463$)과 생육지($p = 0.071$)에 따라 유의한 차이가 없었다. 동대만에서 육수화서 내 종자는 5월초부터 출현하였으며, 5월 중순에 가장 많았다(Table 1). 앵강만에서 육수화서 내 종자는 5월과 6월에 출현하였으며, 6월에 가장 많았다(Table 1).

동대만에서 생식지의 개화는 2월부터 5월말까지 지속적으로 출현하였으며, 육수화서 내 개화, 열매와 종자의 단계는 5월초에 모두 나타났다(Table 2). 반면에 앵강만에서 개화는 3월부터 6월까지 지속적으로 출현하였으며, 개화, 열매와 종자의 단계는 5월 중순에 모두 나타났다(Table 2). 계절에 따른 생식 단계는 동대만의 경우 2월에 개화가 100%를 차지 하였으며, 열매는 5월초에 77%로 가장 높았다. 반면에 앵강만에서는 3월(98%)에 개화 비율이 가장 높았으며, 열매는 5월과 6월에 높게 나타났다(Table 2). 동대만의 경우 성숙한 종자는 5월에 가장 높게 출현하였으며, 개화 및 열매와 종자의 출현 비는 각각 7%, 64%와 29%로 나타났다. 반면에 앵강만에서는 6월에 종자가 가장 높게 나타났으며, 개화, 열매와 종자의 출현 비는 각각 18%, 58%와 24%로 나타났다(Table 2). 동대만과 앵강만의 육수화서 내 열매의 일부는 완전히 발달하여

Table 1. Mean (\pm S.E.) number and size of the reproductive structures of *Zostera marina* in Dongdae Bay and Aenggang Bay.

| | Date | Shoot length (cm) | Rhizophidia per shoot (no.) | Spathes per shoot (no.) | Spadix length (cm) | Pistils per spadix (no.) | Fruits per spadix (no.) | Seeds per spadix (no.) |
|--------------|-------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| Dongdae Bay | February 18 | 92.1 (13.0) | 7.0(0.6) | 10.0(2.0) | 4.0(1.0) | 14.8(0.4) | - | - |
| | April 4 | 117.4(4.0) | 7.6(0.4) | 21.6(1.5) | 6.0(0.3) | 14.1(0.3) | 16.3(0.4) | - |
| | April 17 | 131.2 (4.3) | 7.0(0.3) | 23.5(1.1) | 5.6(0.3) | 9.8(0.4) | 11.9(0.4) | - |
| | May 4 | 122.1(3.1) | 6.7(0.2) | 27.9(1.8) | 5.2(0.4) | 6.5(0.5) | 10.7(0.3) | 1.0(0.1) |
| | May 14 | 156.4(8.5) | 6.5(0.3) | 27.5(1.0) | 5.2(0.2) | 5.7(1.4) | 7.7(0.4) | 4.5(0.5) |
| | May 31 | 120.7(5.6) | 7.0(0.4) | 31.8(4.3) | 5.1(0.3) | 3.9(0.6) | 6.7(0.3) | 4.1(2.9) |
| Aenggang Bay | March 18 | 93.3(2.3) | 6.6(0.9) | 19.4(1.2) | 3.8(0.2) | 10.3(0.4) | 18.0(0.4) | - |
| | April 4 | 94.0(3.4) | 6.0(0.3) | 18.8(1.6) | 4.2(0.1) | 10.4(0.2) | 15.2(0.4) | - |
| | April 17 | 82.2(5.6) | 5.7(0.2) | 15.0(2.3) | 4.0(0.1) | 12.3(0.2) | 12.4(0.2) | - |
| | May 4 | 87.2 (5.6) | 4.8(0.1) | 14.8(1.4) | 4.0(0.2) | 9.1(0.3) | 10.0(0.4) | - |
| | May 14 | 99.6(5.6) | 6.1(0.2) | 24.6(2.0) | 4.8(0.2) | 9.4(0.5) | 9.5(0.3) | 1.0(0.2) |
| | June 14 | 82.1(2.0) | 5.4(0.2) | 22.8(1.5) | 4.0(0.1) | 5.5(1.1) | 7.5(0.3) | 2.6(2.1) |

Table 2. The percent of reproductive stage were calculated on the basis of spathe development.

| | Date | Pistils per spatix (%) | Fruits per spatix (%) | Seeds per spatix (%) |
|--------------|-------------|------------------------|-----------------------|----------------------|
| Dongdae Bay | February 18 | 100.0 | 0.0 | 0.0 |
| | April 4 | 92.2 | 7.8 | 0.0 |
| | April 17 | 61.3 | 38.7 | 0.0 |
| | May 4 | 21.9 | 77.4 | 0.7 |
| | May 14 | 7.1 | 64.3 | 28.6 |
| | May 31 | 8.5 | 65.9 | 25.6 |
| Aenggang Bay | March 18 | 98.3 | 1.7 | 0.0 |
| | April 4 | 93.3 | 6.7 | 0.0 |
| | April 17 | 95.5 | 4.5 | 0.0 |
| | May 4 | 58.5 | 41.5 | 0.0 |
| | May 14 | 48.2 | 49.4 | 2.4 |
| | June 14 | 18.4 | 57.9 | 23.7 |

*Value correspond to a sample of 10-15 shoots taken at random.

종자가 되었으나 다수의 열매들은 불완전하게 발육하거나 퇴화되었다(Fig. 2). 거머리말의 단위 면적 당 종자 생산량은 평균 생육밀도, 생식지 개체당 불염포 수와 육수화서 당 평균 종자 수를 계산한 것으로 동대만과 앵강만에에서는 각각 10,358개의 종자와 1,328개의 종자로 추산되었다.

4. 고 찰

남해안의 동대만과 앵강만에 생육하는 거머리말 개체군의 생활사는 다른 중위도 지역과 유사한 다년생의 특성으로 나타났으며(Phillips *et al.* 1983; Vermaat *et al.* 1995), 생육 환경에 따라 생식 전략과 능력이 다르게 나타났다. 생식지의 생식 능력은 동대만 생육지가 앵강만 보다 생육 밀도는 약 4배 정도, 그리고 생물량은 약 8배 정도 높게 나타났다. 사질의 퇴적 환경인 앵강만에 생육하는 거머리말 생식지의 평균 생육밀도는 전체 식물체의 3~5%로 위도에 따른 다년생 생식지의 생육밀도인 10% 내외(Phillips *et al.* 1983; Olsen 1999)에 비해 낮았으나, 사니질의 퇴적 환경인 동대만에서 생식지의 평균 생육밀도는 전체 식물체의 10~30%로 높게 나타났다. 이러한 결과는 사질의 앵강만 생육지의 생식 전략은 대부분 영양 번식에 의해 해초지가 유지되며, 사니질의 동대만 생육지의 생식 전략은 영양 번식과 유성 생식에 의해 해초지를 구성하는 것으로 판단되었다.

남해안에 출현하는 거머리말 개체군은 생육 환경의 특성에 따라 생식지의 출현 시기와 기간은 다르게 나타났다. 동대만의 경우 거머리말의 생식지는 2월부터 6월까지

5개월간 출현하였으며, 앵강만은 3월부터 6월까지 4개월간 출현하였다. 앵강만 생육지에서 생식지는 10.2°C의 수온에서 처음 출현하였으나, 동대만의 생식지는 7.5°C의 낮은 수온에서 생식지가 출현하였다. 거머리말의 개화 시기는 동대만이 2월로 앵강만의 3월보다 1개월 빠르게 나타났다. 종자의 출현도 동대만의 생육지(5월초)에서 앵강만(5월 중순)보다 다소 빠르게 출현하였으나, 수온은 15~16°C로 유사하게 나타났다. 동대만과 앵강만에 생육하는 거머리말의 생식지는 7.5~21.4°C의 수온 범위에서 출현하였으나, 17.0°C 이상에서는 급격히 감소하고 22.0°C 이상에서는 출현하지 않았다. 위와 같은 결과는 동대만과 앵강만의 생육지에서 거머리말 생식지의 출현은 수온에 영향을 받을 수 있으며, 생식지의 발달은 수온의 증가와 상관을 갖는 것으로 나타났다. 이러한 사실은 de Cock (1981), McMillan and Bridges (1983)와 Silberhorn *et al.* (1983)에서도 입증될 수 있다.

깊은 수심에 생육하거나 생식지가 길게 신장하는 거머리말의 개체군들은 개체당 화축 수, 불염포 수, 육수화서의 크기와 육수화서 내 종자의 수가 높게 나타나는데, 이러한 결과는 얕은 수심이 깊은 수심에 비해 생육환경이 부적절 하기 때문이다(Phillips and Backman 1983; Keddy 1987; Meling-Lopez and Ibarra-Obando 1999). 본 연구에서도 이와 유사한 경향으로 나타내어 앵강만 보다 깊은 수심에 출현한 동대만의 거머리말 개체군은 생식지의 길이, 생식지 개체의 불염포 수, 육수화서의 크기, 육수화서 내 종자의 수가 높게 나타났다(Table 1). 생식지 개체의 잠재적인 종자 생산성은 동대만의 경우 130개로 앵강만의 59개보다 약 2배 이상 높게 나타났으며, 생식지 개체의 종자 생산성은 불염포 수와 육수화서 내 종자 수에 의해 결정되었다. 거머리말의 위도에 따른 생식지의 잠재적인 종자 생산성은 다년생 개체군의 경우 개체당 31개의 종자와 단위 면적 당 6,200개의 종자를 생산하며, 일년생 개체군의 경우 개체당 52개의 종자와 단위 면적당 24,640개의 종자를 생산하는 것으로 나타났다(Olsen 1999). 이 결과로 비교해 볼 때 앵강만에서 생식지 개체의 잠재적인 평균 종자 생산성은 다년생보다 높고 일년생보다 낮았으나, 단위 면적당 종자 생산성(2,328개 종자)로 다년생보다도 낮았다. 반면에 동대만의 경우 생식지 개체의 잠재적인 평균 종자 생산성은 일년생과 다년생보다는 높았으나, 단위 면적당 잠재적인 종자 생산성(10,358개 종자)은 일년생보다는 2배 정도 낮게 나타났다. 이와 같은 결과는 거머리말의 잠재적인 종자 생산성이 생육 환경에 따른 생식지 개체의 종자 생산 능력과 생활사에 따른 생식지의 생육 밀도에 따라 차이가 나타나는 것으로 판단되었다.

결론적으로 동대만과 앵강만에 생육하는 거머리말 개체군들은 다년생의 특징을 보였으며, 대부분 영양 번식에 의

해 유지되었다. 거머리말 생식지의 생식 능력은 수심이 깊은 사니질에 생육하는 거머리말의 개체군보다 낮은 수심의 사질에 출현하는 거머리말 개체군보다 높게 나타났다. 생식지의 생물계절학적 특징은 유사한 위도에서도 생육지에 따라 차이를 보였으며, 생식지의 출현 시기와 개화, 열매 형성과 종자 성숙의 생육 단계는 수온에 영향을 받는 것으로 나타났다. 생식지 개체의 종자 생산성은 불염포의 수와 육수화서 내 종자 수에 의해 결정되며, 높은 종자 생산성은 부적절한 섭동에 대한 개체군의 회복에 잠재적인 근원을 제공할 것으로 판단되었다.

5. 적 요

남해안의 동대만과 앵강만에 생육하는 거머리말 개체군의 생물계절학과 생식 능력을 2002년 9월부터 2003년 8월까지 조사하였다. 동대만의 퇴적물 입도는 앵강만보다 세립하였으며, 퇴적물의 유기물 함량도 유의하게 높았다. 동대만의 수온은 7.5°C(2월)에서 25.5°C(8월)까지 분포하였으며, 앵강만은 6.7°C(2월)에서부터 25.2°C(9월)까지 분포하였다. 두 지역의 거머리말 개체군은 다년생의 생활사를 보였으며, 생식지의 생식 능력들은 동대만이 앵강만보다 유의하게 높았다. 동대만의 생식지는 2003년 2월부터 6월까지 출현하였으나, 앵강만에서는 2003년 3월부터 6월까지 출현하였다. 동대만에서 생식지의 생육밀도는 11~33%를 차지하였으나, 동대만에서는 5% 이하로 나타났다. 생식지의 구조적인 특징은 육수화서 내 열매와 종자 수를 제외하고 동대만에서 유의하게 높았다. 두 생육지에서 거머리말 개체군의 생식 단계의 출현 시기는 수온과 관계하는 것으로 사료되었다.

사 사

이 논문은 2003년 한양대학교 이학기술연구소 연구비 지원 및 과학기술분야 특별 교비장학생 지원으로 연구되었으며, 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-11658-0) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Backman, T.W.H. 1991. Genotypic and phenotypic variability of *Zostera marina* on the west coast of North America. *Can. J. Bot.*, 69, 1361-1371.
- de Cock, A.W.A.M. 1981. Influence of temperature and variations in temperature on flowering in *Zostera marina* L. under laboratory conditions. *Aquat. Bot.*, 10, 125-131.
- den Hartog, C. 1970. The Sea-Grasses of the World. North-Holland Pub. Co. 275 p.
- Folk, R.L. 1974. Petrology of Sedimentary Rocks. p. 21-52. Hemphill, Austin, TX.
- 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.
- Kaldy, J.E. and K.H. Dunton. 2000. Above- and below-ground production, biomass and reproductive ecology of *Thalassia testudinum* (turtle grass) in a subtropical coastal lagoon. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 193, 271-283.
- 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, K.S. and S.Y. Lee. 2003. The seagrass of the Republic of Korea. p. 193-198. In: *World Atlas of seagrasses: Present status and future conservation*. ed. by E.P. Green and F.T. Short. University of California Press.
- 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. 2002. 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.
- McMillan, C. and K.W. Bridges. 1983. Phenology of eelgrass, *Zostera marina* L. along latitudinal gradients in North America. *Aquat. Bot.*, 15, 133-144.
- 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.
- Olesen, B. 1999. Reproduction in Danish eelgrass (*Zostera marina* L.) stands: size-dependence and biomass partitioning. *Aquat. Bot.*, 65, 209-219.
- 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.
- Short, F.T., R.G. Coles, and C. Pergent-Martini. 2001. Global seagrass distribution. p. 5-10. In: *Global Seagrass Research Methods*. ed. by F.T. Short and R.G. Coles. Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- 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 Philippine seagrass bed. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 124, 215-225.

Received Dec. 28, 2004

Accepted Feb. 18, 2005