

이식된 포기거머리말 (*Zostera caespitosa*)의 형태적 특성 및 생산성의 변화

박정임* · 박재영 · 이근섭¹ · 손민호

해양생태기술연구소, ¹부산대학교 생명과학과

Changes in Morphological Characteristics and Productivity of *Zostera caespitosa* Transplants

Jung-Im Park*, Jae Yeong Park, Kun-Seop Lee¹ and Min Ho Son

Marine Eco-Technology Institute, Busan 608-830, Korea

¹Department of Biological Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

Abstract – To evaluate adaptation success of *Zostera caespitosa* transplants, we transplanted the seagrass shoots at the bare area in close proximity to the donor bed using staple method in October 2005. Shoot density, morphological characteristics and leaf productivity of transplants and reference plants in the vicinity of the planting site were monitored monthly for 2 years. While shoot density of reference plants exhibited significant seasonal variations; increasing during spring and summer and decreasing during fall and winter, that of transplants increased consistently without initial loss during the whole study period. Although sheath length, leaf width and shoot height and weight of sheath, leaf and shoot of transplants were smaller than those of reference plants at the start of transplantation, increased rapidly reaching even higher values than those of reference plants 5 months after transplantation. Leaf productivity of transplants and reference plants showed seasonal variations; increasing during spring and summer and decreasing during fall and winter. But, leaf productivity of transplants increased at the beginning of transplantation during fall which is low production period. All of the *Z. caespitosa* transplants survived during the whole study period. Rapid changes in shoot morphology and growth of transplants indicated that *Z. caespitosa* transplants had great morphological plasticity and adapted successfully within 5 months.

Key words: *Zostera caespitosa*, transplantation, habitat, restoration, adaptation

서 론

포기거머리말 (*Zostera caespitosa*)은 거머리말속의 다년생 초본으로 우리나라, 일본과 중국연안에 서식하는 해산

현화식물(잘피)이다(Lee and Lee 2003; Lee *et al.* 2005). 다른 거머리말속의 잘피들이 퇴적물 속에서 수평으로 확장되는 지하경의 마디에서 엽초와 앞으로 이루어진 지상부가 성장하는데 비해, 포기거머리말은 짧은 지하경이 수직으로 겹쳐져 있어 마치 지하경이 없는 것처럼 보이며 다수의 개체가 포기져 자라는 특징이 있다(den Hartog 1970).

*Corresponding author: Jung-Im Park, Tel. 070-8630-7285, Fax. 051-611-0588, E-mail. jipark20@hanmail.net

잘피서식지는 연안의 일차생산력을 높이고, 생물다양성을 증가시키며 환경정화의 기능을 동시에 발휘한다 (McRoy and McMillan 1977; Lee and Dunton 1999). 포기거머리말 군락지도 다양한 해양생물의 산란장, 치어의 생육지와 서식처를 제공하는 중요한 생태적 역할을 수행하고 있다 (Valentine and Heck 1999). 그러나 최근 우리나라에서는 매립, 준설과 급격한 부영양화 등의 인위적인 요인으로 연안의 많은 잘피서식지의 훼손이 보고되고 있고, 잘피서식지의 생태적 중요성이 인식되면서 이를 복원하려는 움직임이 활발히 전개되고 있다 (Park and Lee 2007; Lee and Park 2008). 그러나 대부분의 잘피서식지 복원은 가장 넓은 서식면적을 가진 거머리말 (*Zostera marina*)을 대상으로 이루어졌고, 포기거머리말의 이식은 시행된 사례가 없다.

훼손된 잘피서식지의 자연적인 회복은 긴 시간이 소요되므로 적절한 이식으로 효율적으로 잘피서식지를 복원할 수 있다 (Fonseca *et al.* 1994, 1998). 성공적인 서식지복원을 위해서는 대상종에 적합한 이식 방법을 적용하여 적절한 이식장소를 선택해야 한다 (Short *et al.* 2002; Park and Lee 2007). 연약지반에 서식하는 잘피의 이식은 다양한 이식 방법들이 개발되어 왔고, 거머리말의 경우 철사고정법 (staple method), 이식망이용법 (TERFS method), 패각투척법 (shell method) 등이 우리나라에서도 활용되어 왔으며, 그 중 철사고정법은 다양한 퇴적환경에서도 성공률이 높은 방법으로 평가되고 있다 (Park and Lee 2007). 이식장소의 선정에서는 충분한 빛, 퇴적물 상태와 유속 등의 물리화학적 환경과 과거 잘피서식 유무 등을 고려하여 판단한다 (Short *et al.* 2002). 이식 후에는 정기적으로 생존율, 밀도와 형태나 성장 특성 등을 조사하여 이식된 개체의 생존율과 정착 등을 평가한다 (Fonseca *et al.* 1998). 우리나라에서도 최근 이식된 거머리말의 정착과 적응에 대한 연구는 빈번히 이루어졌으나 (박 등 2009, 2011; Li and Lee 2010), 포기거머리말의 이식 사례가 없어 본 연구에서는 철사고정법으로 인근 자연 포기거머리말 군락이 존재하는 지역에 포기거머리말을 이식한 후 이식된 포기거머리말의 정착과 적응을 알아보고자 한다.

잘피를 이식하는 과정은 현존하는 서식지에서 일부를 채집하고 운반하여 이식되기 전까지 준비하는 과정을 겪으면서 공기 중에 노출되고 조직의 일부가 손상되는 스트레스를 받게 된다. 이러한 이식 스트레스는 이식된 개체의 잎의 길이나 폭 등을 감소시키는 형태적인 변화나 생산성의 감소 등을 초래하기도 하고, 과도한 이식 스트레스는 잘피가 새로운 장소에 정착하기 전 생리생태적으로 회복하지 못하여 생존율을 저하시키기도 한다

(Phillips and Lewis 1983; Martins *et al.* 2005; Park and Lee 2007). 환경이 악화되거나 잘피 개체가 스트레스에 노출되면 잘피는 형태적 변화를 보여준다. 특히, 잎 폭은 환경 스트레스를 나타내는 지표로 사용되어 왔고, 잘피의 이식 스트레스로 잎 폭이 감소하는 것이 보고되었다 (Meinesz *et al.* 1993; 박 등 2009; Li and Lee 2010). 본 연구에서는 이식된 포기거머리말의 현장 적응력을 관찰하기 위해 자연 포기거머리말 군락과 이식된 포기거머리말 군락의 밀도, 형태적 특성과 생산성의 변화를 2년간 조사하여 이식된 포기거머리말의 현장적응력을 조사해 보았다. 이 자료는 포기거머리말의 서식지 복원에 중요한 기초정보를 제공할 것이다.

재료 및 방법

1. 포기거머리말 이식

조사장소 (34° 48'N, 128° 34'E)는 비교적 넓은 거머리말과 포기거머리말 군락지가 분포하고 있는 지역이다 (Fig. 1). 거머리말은 조간대부터 평균 수심 약 2.5 m의 조하대까지 나타나며, 그 경계부터 평균 수심 약 3 m 까지 포기거머리말 군락이 산재해 있다. 2005년 10월, 산재하여 분포하는 포기거머리말 군락을 채취하였으며, 채취된 포기거머리말에서 일부 포함된 지하경은 제거하였다. 엽초와 잎으로 이루어진 개별의 개체로 분리한 다음 비슷한 수심의 비워있는 포기거머리말 군락 사이에 동일한 날 철사고정법으로 SCUBA를 이용하여 이식하였다. 이식 시에는 포기거머리말 2개체를 약 30 cm 간격으로 엽초의 아래 부분을 \wedge 형의 철사 (길이 30 cm, 지름 2.0 mm)로 고정하여 식재하였다. 이식단위 (planting unit)는 1 m × 1 m로, 총 8개 이식단위를 시설하였다.

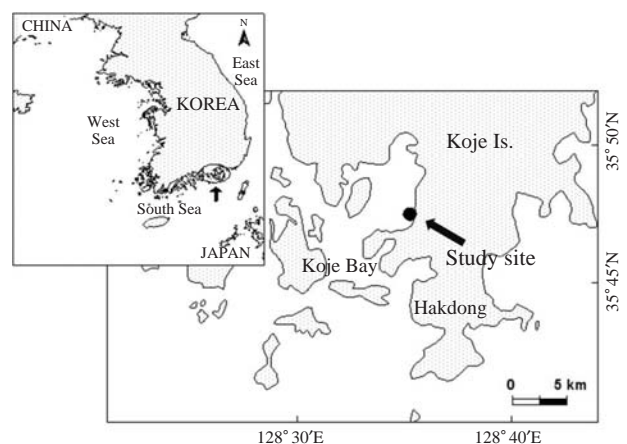


Fig. 1. Study site in Koje Bay on the southern coast of Korea.

2. 환경요인 측정

포기거머리말 군락사이의 잎이 위치하는 수심에 조도계 (HOBO-Light Intensity, Onset Computer, USA)를 설치하여 매 15분마다 수중 광량을 측정하였다. HOBO 조도계로 측정된 수치 (lumens ft^{-2})는 동 시간에 광측정기 (LI-1400, LI-COR, Inc)로 측정된 수치와의 회귀분석을 통하여 photon flux density (PFD, $\text{mol photons m}^{-2} \text{sec}^{-1}$)로 변환하여 조사기간 평균으로 나타내었다. 조도계에 근접하게 설치된 수온계 (HOBO RH Temp Light External, Onset Computer, USA)로 매 15분 간격으로 수온을 측정하였으며, 조사기간 평균수온으로 나타내었다 (Li and Lee 2010; Li *et al.* 2010).

해수와 퇴적물 공극수의 영양염 농도, 퇴적물의 유기물 함량을 측정하기 위해 2005년 10월 각 4개씩의 샘플을 채취하였다. 해수는 150 mL의 시료병을 이용하였고, 퇴적물은 아크릴 코어 (내경 9 cm × 높이 13 cm)로 퇴적물을 채취하여 밀봉한 후 아이스박스에 보관하여 실험실로 이동하였다. 해수와 퇴적물 공극수의 암모늄염, 질산염+아질산염, 인산염의 농도는 흡광광도법으로 측정하였다 (Parsons *et al.* 1984; 해양수산부 2005). 퇴적물 공극수는 8,000 rpm에서 20분간 원심분리한 후 공극수를 채취한 후 분석하였다. 퇴적물의 유기물 함량은 시료를 110°C에서 48시간 건조 후 무게를 측정 후, 550°C에서 1시간 회화하여 유기물을 제거한 후 강열감량을 측정하였다 (해양수산부 2005).

3. 포기거머리말의 밀도, 형태와 생산성

이식 포기거머리말 (이식구)의 밀도는 이식단위에 1 m × 1 m의 영구방형구를 설치하여 최초 6개월은 매월 측정하였으며, 이후 분기별 조사하였다 (n=4). 인근 자연 포기거머리말 (대조구)의 밀도는 근접하여 산재하는 포기거머리말 군락에서 1 m × 1 m에 자생하는 개체수를 임의로 이식구와 동일한 시기에 계수하여 단위면적당 생육밀도 (shoots m^{-2})로 나타내었다 (n=4).

형태적 특성을 조사하기 위해 밀도조사와 동일한 시기에 이식구와 대조구에서 각각 포기거머리말을 채취하여 아이스박스에 담아와 실험실로 이동한 후 흐르는 물에 깨끗이 세척하여 엽초 길이 (cm), 잎 폭 (mm)과 체장 (cm)를 측정하였고, 엽초 무게 (g), 잎 무게 (g)와 개체무게 (g)를 건중량으로 나타내었다 (n=4~10).

이식구와 대조구 포기거머리말의 잎 생산성은 엽초 아래 부분에 가는 주사바늘을 이용하여 구멍을 뚫은 후 약 1개월 후 채집하여 새로 자라난 부분과 기존 부분의 건중량을 측정 후 일일 개체당 생산된 양 (mg DW sht^{-1}

D^{-1})을 측정하였다 (n=4~10). 이 값에 평균 생육밀도를 곱하여 단위면적당 잎 생산성 ($\text{g DW m}^{-2} \text{D}^{-1}$)을 계산하였다 (n=4~10).

4. 통계분석

이식구와 대조구의 포기거머리말의 밀도, 형태적 특성과 생산성은 normality와 homogeneity of variance를 검정한 후 two-way ANOVA를 이용하여 분석하였으며, 분석값이 유의할 경우, Turkey HSD (Honestly Significant Difference)를 이용하여 각 자료의 유의성을 검증하였다. 통계분석은 SAS9.1을 이용하였으며, 모든 측정치는 평균 (mean)과 표준오차 (SE)로 나타내었다.

결과 및 고찰

1. 환경요인

조사장소의 평균 수중광량과 수온은 조사기간 동안 각각 28.02 $\text{mol photons m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 과 16.45°C로 나타났다. 해수의 평균 암모늄염, 질산+아질산염과 인산염의 농도는 각각 5.17 μM , 4.77 μM 과 1.15 μM 이었고, 퇴적물 공극수의 평균 농도는 각각 161.19 μM , 4.76 μM 과 6.78 μM 이었으며, 유기물 함량은 2.2%로 조사되었다 (Table 1).

2. 포기거머리말의 밀도, 형태적 특성과 생산성의 변화

대조구와 이식구의 밀도는 조사기간 동안 유의한 차이 ($F=23.5$, $P<0.001$)를 나타내었으며, 이식구에서 이식 초기 밀도 감소가 나타나지 않았다. 대조구의 밀도는 봄 여름에 증가하고 가을 겨울에 감소하는 뚜렷한 계절 경향을 보인 반면 이식구는 지속적으로 증가하였는데 특히 봄 여름에 그 증가율이 컸다. 대조구의 평균밀도는

Table 1. Mean values of physical and chemical parameters of study site

Parameters	Mean \pm SE
Underwater irradiance ($\text{mol photons m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	28.02 \pm 0.69
Water temperature (°C)	16.45 \pm 0.21
Water column nutrients (μM)	
NH_4^+	5.17 \pm 0.85
$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$	4.77 \pm 0.47
PO_4^{3+}	1.15 \pm 0.09
Sediment pore water nutrients (μM)	
NH_4^+	161.19 \pm 10.86
$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$	4.76 \pm 1.73
PO_4^{3+}	6.78 \pm 2.89
Sediment organic (%)	2.20 \pm 0.14

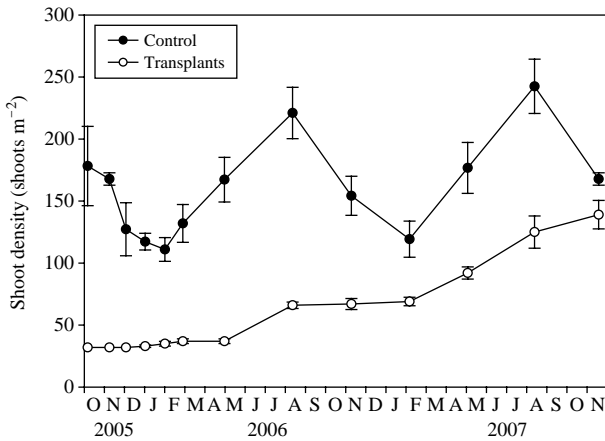


Fig. 2. Changes in shoot density of transplants and reference plants after transplantation from October 2005 to November 2007. Vertical error bars show the standard error of measured values.

160.2 shoots m^{-2} 이고, 2006년 2월에 최소값(111.0 shoots m^{-2})과 2007년 8월에 최대값(242.5 shoots m^{-2})을 보였다. 이식구의 포기거머리말은 32 shoots m^{-2} 의 밀도로 이식되었고, 2년 후 139.0 shoots m^{-2} 로 약 4.3배 이상의 증가를 나타내었으나, 대조구(167.8 shoots m^{-2})보다는 낮았다(Fig. 2).

엽초 길이는 조사기간 동안 대조구와 이식구 사이에 유의한 차이($F=16.0$, $P<0.001$)를 나타내었으며, 봄 여름에 증가하고 가을 겨울에 감소하는 뚜렷한 계절 경향이 나타났다. 이식구의 엽초 길이는 이식 후 4개월 동안 대조구보다 현저히 낮았고, 이후부터 급격히 증가하였으며, 이식구와 대조구의 평균 엽초 길이는 각각 15.86 cm와 15.62 cm이었다(Fig. 3A). 잎 폭도 대조구와 이식구에서 유의한 차이($F=15.7$, $P<0.001$)를 나타내었으며, 봄 여름에 증가하고 가을 겨울에 감소하는 경향을 나타내었다. 이식구의 잎 폭은 이식 초기에 대조구보다 현저히 감소하여 2006년 1월에 최소를 나타내다가 이식 5개월 후부터 최초로 대조구와 유사해지기 시작하였으며, 평균 잎 폭은 이식구와 대조구에서 각각 6.7 mm와 6.6 mm이었다(Fig. 3B). 체장도 대조구와 이식구 사이에 유의한 차이($F=27.3$, $P<0.001$)를 나타내었다. 이식구의 체장은 이식 초기 대조구보다 현저히 낮은 값을 보였고, 약 3개월 후 최초로 유사해졌다. 대조구의 체장은 2007년 8월에 최대값(103.9 cm)과 2005년 11월에 최소값(55.9 cm)을 나타내었고, 이식구의 체장은 2005년 12월에 최소값(50.0 cm)과 2007년 4월에 최대값(100.8 cm)을 나타내었다(Fig. 3C).

엽초 무게도 대조구와 이식구에서 유의한 차이($F=$

26.4, $P<0.001$)가 발생하였으며, 봄 여름에 증가하고 가을 겨울에 감소하는 계절 경향을 나타내었다. 이식구의 엽초무게는 이식 초기 대조구보다 현저히 낮았으나 약 5개월 후부터 급격히 증가하여 2007년 8월에 최대값(0.63 g)을 나타내 대조구(0.59 g)보다 조금 높았다(Fig. 3D). 잎 무게도 대조구와 이식구에서 유의한 차이($F=19.6$, $P<0.001$)가 발생하였으며, 봄 여름에 증가하고 가을 겨울에 감소하는 계절 경향을 나타내었다. 이식구의 잎 무게는 이식 초기 대조구보다 현저히 낮다가 약 5개월이 경과하면서 대조구와 유사해졌으며 2007년 8월에 최대값(1.15 g)을 보여 대조구(1.10 g)보다 조금 높았다(Fig. 3E). 개체 무게도 대조구와 이식구에서 유의한 차이($F=24.9$, $P<0.001$)가 발생하였으며, 봄 여름에 증가하고 가을 겨울에 감소하는 계절 경향을 나타내었다. 이식구의 개체 무게는 이식 후 4개월까지 대조구보다 현저히 낮았으며, 약 5개월 후부터 유사해지기 시작하였고, 2007년 8월에 최대값(1.78 g)을 보였다(Fig. 3F).

개체의 잎 생산성도 조사기간 동안 대조구와 이식구에서 유의한 차이($F=32.7$, $P<0.001$)가 발생하였으며, 봄 여름에 증가하고 가을 겨울에 감소하는 계절 경향을 보였다. 조사 초기 대조구의 개체 잎 생산성은 감소하는데 비해 이식구의 개체 잎의 생산성은 대조구보다 현저히 낮았으나 약 3개월 후부터 급격히 증가하여 대조구와 유사해지기 시작하였고, 12개월이 경과하면서 대조구보다 높아져 2007년 4월 최대값(30.56 mg DW $sht^{-1} D^{-1}$)을 보였다(Fig. 4A). 제곱미터당 잎 생산성도 조사기간 동안 대조구와 이식구에서 유의한 차이($F=93.9$, $P<0.001$)가 발생하였으며, 봄 여름에 증가하고 가을 겨울에 감소하는 계절 경향을 보였다. 대조구에서는 봄 여름에 증가하고 가을 겨울에 감소하는 뚜렷한 계절 경향을 보인데 비해, 이식구에서는 이식초기의 가을 겨울 동안에도 서서히 증가하였고, 봄 여름에 급격히 증가하였다. 조사기간 동안의 제곱미터당 평균 잎 생산성은 대조구(5.22 g DW $m^{-2} D^{-1}$)에서 이식구(3.35 g DW $m^{-2} D^{-1}$)보다 높았다(Fig. 4B).

3. 이식된 포기거머리말의 적응기간

이식된 잘피의 모니터링에서 가장 중요하게 측정되어 온 항목은 밀도의 변화를 바탕으로 한 생존율의 측정이다. 잘피는 양성부력을 가지므로 이식된 잘피가 퇴적물에 정착하기 위해서는 지하부 조직이 안전하게 고정되어야 한다(Fonseca *et al.* 1994; Calumpong and Fonseca 2001; Park and Lee 2007). 대상 잘피종의 이식 방법이나 이식 장소의 선택이 적합하지 않을 경우 이식된 잘피는

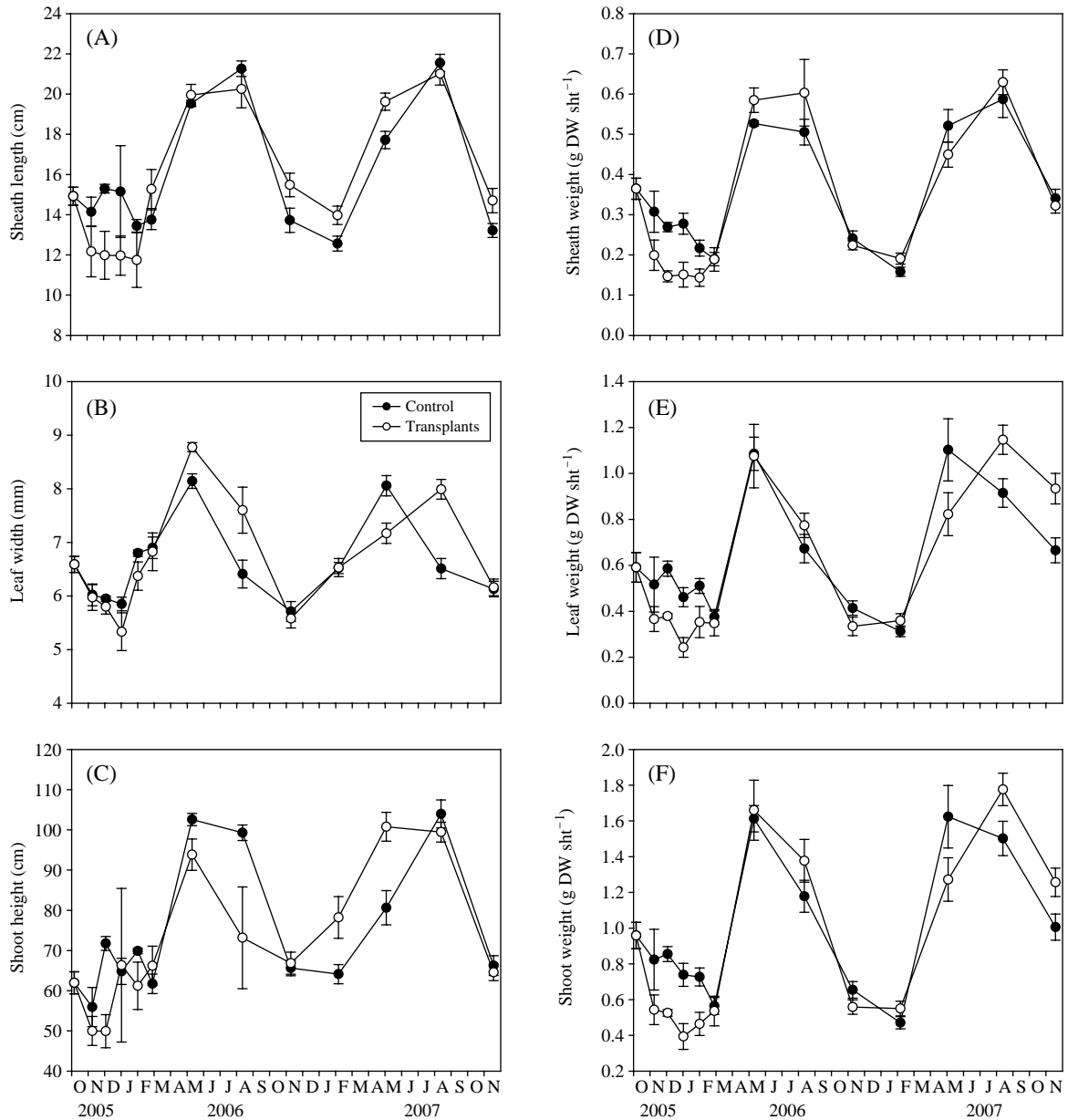


Fig. 3. Changes in morphological characteristics of transplants and reference plants after transplantation from October 2005 to November 2007. Sheath length (A), leaf width (B), shoot height (C), sheath weight (D), leaf weight (E) and shoot weight (F). Vertical error bars show the standard error of measured values.

초기에 유실되거나 정착하지 못하고 사망하여 낮은 생존율을 나타내게 된다(Park and Lee 2007). 그러나 본 실험에서 이식된 포기거머리말은 초기에도 개체의 유실이 발생하지 않았고, 자연 포기거머리말 군락에서 계절 경향으로 밀도가 감소하는 시기에도 오히려 서서히 증가하였다. 이것은 대조구의 포기거머리말이 높은 밀도로 서식하면서 개체를 사이에 잡피의 성장에 영향을 주는 빛과 영양염의 경쟁이 발생하는데 비해, 이식구의 포기거

머리말은 낮은 밀도로 이식되어 상대적으로 충분한 수 중광량과 영양염을 제공 받을 수 있었던 이유로 추측된다(Li and Lee 2010; Li *et al.* 2010). 또한, 철사고정법이 포기거머리말의 이식에 유용하게 활용될 수 있음을 보여준다.

이식된 잡피의 적응기간은 대상 잡피종이나 이식 방법에 따라서 차이가 발생한다. 거머리말은 비교적 빠른 적응기간을 보이는 종으로 생존율과 형태적 특성으로

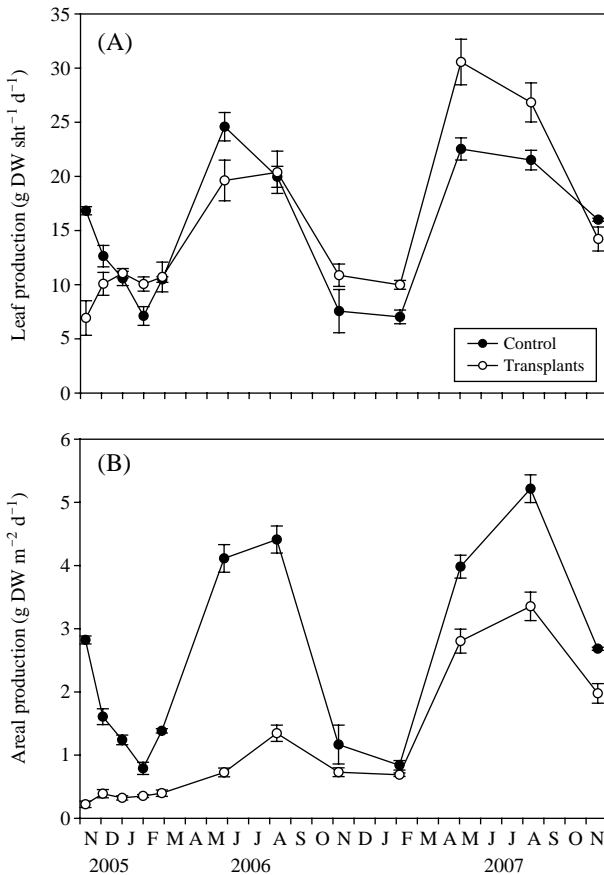


Fig. 4. Changes in leaf productivity of transplants and reference plants after transplantation from November 2005 to November 2007. Shoot leaf production (A) and areal leaf production (B). Vertical error bars show the standard error of measured values.

1~5개월의 현장적응기간을 소요하는데 비해 암반에 부착하여 서식하는 게바다말 (*Phyllospadix japonicus*)의 경우 약 10~12개월의 적응기간을 필요로 한다(Park and Lee 2007, 2010; 박 등 2009, 2011; Li and Lee 2010; Li *et al.* 2010). 동일한 거머리말에서도 철사고정법으로 이식된 경우의 적응기간이 패각투척법이나 이식망 이용법보다 짧게 보고되고 있다(Park and Lee 2007). 본 실험의 포기거머리말의 경우 형태적 특성의 변화로 소요되는 적응기간은 약 5개월로 동일한 이식 방법(철사고정법)을 사용한 거머리말보다 조금 긴 시간이 소요되었다(Park and Lee 2007; 박 등 2009, 2011; Li and Lee 2010; Li *et al.* 2010). 거머리말 이식에서는 3~5마디의 지하경을 포함한 개체를 이식하는데, 이 때 이식된 거머리말 개체는 지하경에 저장된 탄수화물을 이용하여 비교적 짧은 기간 내 이식 스트레스를 회복할 수 있는 것으로 추측된다(Li and Lee 2010; Li *et al.* 2010). 그러나 이식된 포기

거머리말 개체는 지하경이 없는 구조로 앞으로 흡수된 영양염만으로 이식 스트레스를 극복해야 하므로 상대적으로 긴 적응기간이 필요했을 것으로 추측된다.

적 요

이식된 포기거머리말의 현장 적응성을 알아보기 위해 철사고정법으로 포기거머리말을 이식후 이식된 개체(이식구)와 인근 자연군락 포기거머리말(대조구)의 밀도, 형태적 특성과 생산성의 변화를 약 2년간 조사하였다. 대조구에서는 봄 여름에 증가하고 가을 겨울에 감소하는 밀도변화를 보였으나, 이식구에서는 조사기간 동안 지속적으로 증가하였으며, 초기 밀도감소가 나타나지 않았다. 엽초 길이, 잎 폭, 개체 길이와 엽초, 잎, 개체의 무게는 이식초기에는 대조구에 비해 이식구에서 감소하는 경향이 보였으나 약 5개월 후부터는 대조구와 이식구가 유사해졌다. 잎 생산성도 대조구와 이식구 모두 봄 여름에 증가하고 가을 겨울에 감소하는 뚜렷한 계절 경향을 보였으나, 이식초기 이식구의 개체 잎 생산은 생산성이 낮은 가을인데도 불구하고 증가하였다. 철사고정법으로 이식된 포기거머리말은 개체의 유실이 없었고, 형태적 특성으로 보아 약 5개월의 현장적응기간을 소요하는 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 2010년 부산지역환경기술개발센터의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 박정임, 이근섭, 손민호. 2011. 낙동강 하구에 이식된 잘피 (*Zostera marina*)의 환경변화에 따른 성장특성. 한국수산과학회지. 44:533-542.
- 박정임, 이문도, 김정배, 이근섭. 2009. 이식된 잘피의 생산성 및 형태적 특성 변화. 한국해양학회지 바다. 14:41-47.
- 해양수산부. 2005. 해양환경공정시험방법. 400pp.
- Calumpong HP and MS Fonseca. 2001. Seagrass transplantation and other seagrass restoration methods. pp. 424-443. In Global Seagrass Research Methods (Short FT, RG Coles and CA Short eds.). Elsevier. Amsterdam.
- den Hartog C. 1970. The seagrasses of the world. North-holland Publication Co., Amsterdam.

- Fonseca MS, WJ Kenworthy and GW Thayer. 1998. Guidelines for the conservation and restoration of seagrasses in the United States and adjacent Waters. NOAA Coastal Ocean Program/Decision Analysis Series NO. 12. NOAA Coastal Ocean Office, Silver Spring, MD, 222 pp.
- Fonseca MS, WJ Kenworthy, FX Courtney and MO Hall. 1994. Seagrass planting in the Southern United States: Methods for accelerating habitat development. *Restor. Ecol.* 2:198-212.
- Lee K-S and KH Dunton. 1999. Influence of sediment nitrogen availability on carbon and nitrogen dynamics in the seagrass *Thalassia testudinum*. *Mar. Biol.* 134:217-226.
- Lee K-S and SY Lee. 2003. The seagrasses of the Republic of Korea. pp.193-198. In *World atlas of seagrasses: present status and future conservation* (Green EP, FT Short and MD Spalding eds.). University of California Press. Berkeley.
- Lee SY, CI Choi, YB Suh and Mukai H. 2005. Seasonal variation in morphology, growth and reproduction of *Zostera caespitosa* on the southern coast of Korea. *Aquat. Bot.* 83: 250-262.
- Li W-T and K-S Lee. 2010. Adaption success of *Zostera marina* to a new transplant environment. *Algae* 25:27-35.
- Li W-T, J-H Kim, J-I Park and K-S Lee. 2010. Assessing establishment success of *Zostera marina* transplants through measurements of shoot morphology and growth. *Est. Coast Shelf Sci.* 88:377-384.
- Martins I, JM Neto, MG Fontes, JC Marques and MA Pardal. 2005. Seasonal variation in short-term survival of *Zostera noltii* transplants in a declining meadow in Portugal. *Aquat. Bot.* 82:132-142.
- McRoy CP and C McMillan. 1977. Production and ecology and Physiology of seagrasses. pp. 53-88. In *Seagrass Ecology: A Scientific Perspective* (McRoy CP and P Helfferich eds.). Dekker. New York.
- Meinesz A, G Caye, F Loques and H Molenaar. 1993. Polymorphism and development of *Posidonia oceanica* transplanted from different parts of the Mediterranean into the National Park of Port-Cros. *Bot. Mar.* 36:209-216.
- 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. 2010. Development of transplantation method for the restoration of surfgrass, *Phyllospadix japonicus*, in an exposed rocky shore using an artificial underwater structure. *Ecol. Eng.* 36:450-456.
- Parsons TR, Y Mait and CM Lalli. 1984. *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. Pergamon Press, New York, 173pp.
- Phillips RC and RL Lewis. 1983. Influence of environmental gradients on variations in leaf widths and transplant success in North American seagrasses. *Mar. Tech. Soc. J.* 17:59-68.
- Short FT, RC Davis, BS Kopp, CA Short and DM Burdick. 2002. Site-selection model for optimal transplantation of eelgrass *Zostera marina* in the northeastern US. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 227:253-267.
- Valentine JF and KL Heck Jr. 1999. Seagrass herbivory: evidence for the continued grazing of marine grasses. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 176:291-302.

Received: 30 January 2012

Revised: 21 February 2012

Revision accepted: 27 February 2012