

이식된 잘피의 생산성 및 형태적 특성 변화

박정임 · Wentao Li · 김정배¹ · 이근섭*

부산대학교 생명과학과
¹국립수산과학원 남해수산연구소

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

JUNG-IM PARK, WENTAO LI, JEONG BAE KIM¹ AND KUN-SEOP LEE*

Department of Biological Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea
¹South Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yosu 556-820, Korea

최근 훼손된 잘피서식지의 복원이 다양한 이식방법을 통하여 시도되고 있다. 이식된 잘피는 이식시기와 이식방법에 따라 생존율과 착생기간 등이 차이를 보인다. Staple method는 잘피를 직접 식재하는 방법으로 잘피 이식에서 가장 일반적으로 이용되고 있는 방법이며, 다양한 퇴적물 환경에서 높은 생존율을 보이는 방법이다. 본 연구에서는 staple method로 이식된 잘피의 정착과정을 파악하기 위하여 초겨울에 잘피를 이식한 후, 이식된 잘피의 밀도, 형태적 특성, 생산성의 변화와 이식 장소의 환경요인을 2004년 12월부터 약 1년 동안 월별 조사하였다. 조사된 이식잘피의 생리생태학적 특성을 이식 장소 인근에 자생하고 있는 잘피 개체군과 비교하였다. 이식된 잘피는 초기 밀도 감소가 발생하지 않았으나, 잎의 폭, 엽초의 길이 등이 이식초기에 감소하여 이식개체들이 이식충격을 받은 것으로 보였다. 개체별 잎의 생산성도 이식 초기에는 자생개체들보다 현저히 낮은 값을 보이다가 약 4개월 후 이식개체와 자생개체의 생산성이 유사한 경향을 보였다. 이식된 잘피는 자생하는 잘피와 마찬가지로 봄에 급격히 성장하였으며, 자생개체보다 낮은 밀도로 이식되었으나, 약 1년 후에는 자생잘피 개체군의 밀도와 유사해졌다. 이식된 잘피들이 이식초기에 이식충격을 받았지만, 비교적 짧은 기간 내에 새로운 이식 장소에 잘 적응하는 것으로 나타났다.

Since significant losses of seagrass coverage have been reported from many parts of the world, numerous restoration projects through seagrass transplantation have been attempted worldwide. Different survival rates and establishment time of transplants have been reported depending on transplanting time and methods. The staple method, which is direct seagrass planting method using staples to anchor seagrass transplants on the sediments, have been widely adopted in seagrass transplanting because this method achieves high survival rates in various sediment environments. To assess the morphological plasticity and the growth characteristics of transplants, we transplanted eelgrass, *Zostera marina* in December 2004 using the staple method. Shoot density, morphological characteristics and leaf productivities of the transplanted shoots and shoots of natural eelgrass beds in the vicinity of the transplanting site and environmental parameters in the planting site were monitored for about 1 year post-planting monthly. Transplant shoot density increased without initial decline, while leaf width and sheath length of transplants decreased after transplanting. Leaf productivities per shoot of transplants also considerably lower than those of natural shoots for the first 3 months post-transplanting. Shoot density, morphological characteristics and leaf productivity per area of transplants became similar to those of natural population about 1 year after transplanting. Although eelgrass transplants might have experienced some transplanting stress during the early stage of the transplantation, transplants appeared to adapt well to new environments of the transplanting site.

Keywords: Seagrass, Habitat, Restoration, Transplantation, Staple method, *Zostera marina*

서 론

잘피는 해양현화식물로서 전 세계 연안에 약 60 여종이 서식하고 있으며, 우리나라에는 9종이 자생하고 있다고 보고되고 있다 (Short

et al., 2007; Lee and Lee, 2003; Kim *et al.*, 2009). 잘피서식지는 연안과 하구에서 높은 일차생산력을 가지며, 수산생산성 향상과 수질 정화의 기능을 수행하고 있다(McRoy and McMillan, 1977; Huh and Kitting, 1985; Lee and Dunton, 1999). 그러나 최근 인위적인 교란의 영향으로 인해 잘피서식지가 전 세계적으로 감소되고 있으며, 우리 연안에서도 50% 이상의 잘피서식지가 훼손되

*Corresponding author: klee@pusan.ac.kr

거나 사라졌다고 추정된다(Short and Willie-Echeverria, 1996; Lee and Lee, 2003). 연안과 하구 생태계에서 잘피서식지의 생태적 중요성이 대두되면서 훼손된 잘피 서식지를 복원하려는 시도들이 여러 나라에서 진행되었으며, 우리나라에서도 최근 이식을 통한 잘피서식지 복원이 시도되고 있다(Addy, 1947; Fonseca *et al.*, 1996; Davis and Short, 1997; Lee Long and Thom, 2001; Fonseca, 2007; Park and Lee, 2007).

인위적인 영향으로 훼손된 잘피서식지의 자연적인 회복은 긴 시간이 소요되므로 적절한 이식을 통하여 잘피서식지를 복원하려는 노력이 이루어져 왔다(Zimmerman *et al.*, 1995; Fonseca *et al.*, 1998; Paling *et al.*, 2001; Meehan and West, 2002; Orth *et al.*, 2006). 이식을 통한 인공 잘피서식지 조성은 훼손된 잘피서식지를 복원할 수 있는 매우 효과적인 방법이다(Fonseca *et al.*, 1998; Seddon, 2004). 성공적인 잘피 이식을 위해서는 적절한 이식 장소와 이식 방법의 선정이 선행되어야 하며, 최적의 시기에 잘피를 이식함으로써 이식 스트레스를 줄여 빠른 시간 내에 새로운 환경에 적응하게 해야 한다(Short *et al.*, 2002; Park and Lee, 2007). 잘피가 자라기 위한 충분한 빛, 적절한 저질상태, 유속 등의 물리화학적 환경요인 및 이식지역의 과거 잘피 서식 유무 등이 적절한 이식 장소 선정에 고려되어야 할 사항들이다. 적정 이식방법은 대상 잘피 종에 따라 달라질 수 있는데 거머리말(*Zostera marina*)의 경우 이식개체를 staple로 고정하는 staple method, 이식망을 이용하는 TERFS method, 그리고 최근에는 잠수가 필요 없는 shell method 등이 개발되었다(Davis and Short, 1997; Calumpang and Fonseca, 2001; Fishman *et al.*, 2004; Park and Lee, 2007; Lee and Park, 2008). 이식된 잘피의 생존율과 착생기간은 이식방법에 따라 차이를 나타낸다(Fonseca *et al.*, 1994; Park and Lee, 2007). 다양한 저질조건에서 높은 생존율을 보이며 이식개체의 착생이 가장 빠른 방법은 staple method로 보고되고 있다(Park and Lee, 2007).

잘피 이식은 이식용 잘피를 채취하고, 이식 장소로 이동하여, 식재하는 과정이 포함된다. 이 과정에서 채취된 잘피는 이동 시 일부 공기 중에 노출되는 등 많은 이식 스트레스를 받게 된다. 이러한 이식 스트레스는 이식된 개체의 잎 길이나 폭 등을 감소시키는 형태적인 변화를 일으키거나, 생산성을 저하시키기도 하고, 생존율을 감소시키기도 한다(Meinesz *et al.*, 1993; Martins *et al.*, 2005; Park and Lee, 2007). 본 연구에서는 이식된 잘피 개체와 이식 장소 인근에 자연적으로 서식하는 자생개체의 밀도변화나 생리생태적 특성 변화를 비교함으로써 이식된 잘피의 새로운 환경으로의 정착과정을 파악할 것이다.

재료 및 방법

잘피이식

이식 장소인 진동만(35°06'N, 128°34'E)은 과거 넓은 잘피서식지가 분포했던 지역이다. 그러나 최근 해안선 정비, 물량장 건설, 과도한 양식 등으로 대부분의 잘피서식지가 사라졌으며 현재는 극히 일부만 남아있다. 이식 지점의 평균 수심은 약 2.5 m이며, 사니질 토양으로 이루어져 있었다(Fig. 1).

이식에 사용된 잘피개체들은 2004년 12월 거제만에서 채취하였으며, 채취된 개체는 해수로 지하부의 퇴적물을 제거한 후 해수가

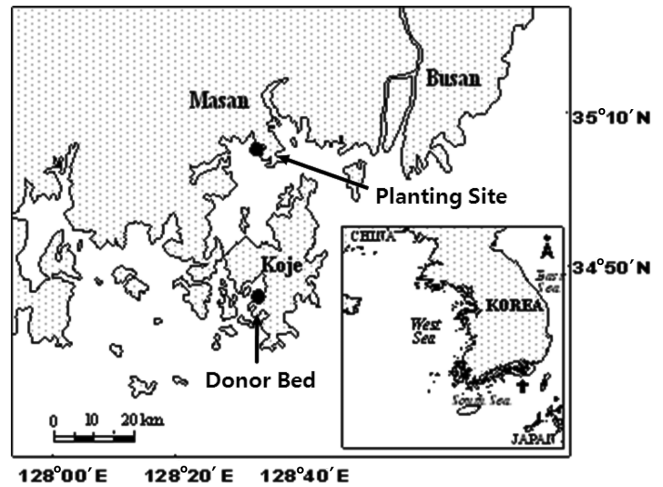


Fig. 1. Planting site in Jindong Bay and donor bed in Koje Bay on the southern coast of Korea.

채취된 플라스틱 용기에 담아 이식 장소로 옮긴 후 다음날 staple method로 식재하였다. SCUBA를 이용하여 5m다 이상의 지하경을 가진 잘피개체를 약 15 cm 길이의 metal staple을 이용하여 2 개체씩 30 cm 간격으로 식재하였다(Davis and Short, 1997; Park and Lee, 2007). 이식단위(planting unit)는 5 m × 5 m 면적이며, 4 개 이식단위의 잘피를 이식하였다.

환경요인 측정

잘피 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, mol photons m⁻² sec⁻¹)로 변환하여 월평균으로 나타내었다. 수온은 각 조사장소에 수온계(HOBO RH Temp Light External, Onset Computer, USA)를 설치하여 매 15분 간격으로 측정하였으며(Lee *et al.*, 2005, 2007), 측정된 수온은 월평균수온으로 나타내었다.

수층과 퇴적물 공극수의 영양염 농도, 퇴적물의 유기물 함량을 측정하기 위해 매월 4개씩의 샘플을 채취하였다. 퇴적물은 지름 5 cm, 길이 13 cm의 주상시료채취기를 이용하여 채취하였다. 채취된 퇴적물은 8000 rpm에서 20분간 원심분리한 후 상층부의 공극수를 채취하였다. 수층과 퇴적물 공극수의 암모늄염, 질산염+아질산염, 인산염의 농도를 표준비색법을 이용하여 측정하였다(Parsons *et al.*, 1984; 해양환경공정시험방법, 2005).

이식잘피의 생리생태학적 특성

이식된 잘피(transplants)의 밀도는 각 이식 단위에 50 cm × 50 cm의 영구 방형구를 설치하여 영양지(vegetative shoot)와 화지(flowering shoot)의 개체수를 세어 매월 측정하였으며, 단위면적당 생육밀도(shoots m⁻²)로 나타내었다(n=4). 이식 장소 인근에 위치한 자연 잘피서식지(natural bed)의 밀도도 매월 동일한 크기의 방형구를 이용하여 측정하였다(n=4). 형태적 특성을 조사하기 위해 이식 장소와 자연서식지에서 각각 4-10 개체의 잘피를 매월 채취하여 개체

당 잎의 수, 잎의 폭(mm), 엽초의 길이(cm), 잘피의 키(cm), 엽초 무게, 지상부, 지하부 및 개체당 무게(g)를 측정하였다. 잘피의 잎 생산성은 blade marking technique(Zieman, 1974; Kentula and McIntire, 1986)을 이용하여 매월 측정하였다. 이식 장소와 자연서식지에서 8~12개체에 주사바늘을 이용하여 엽초(sheath)에 구멍을 뚫은 다음 약 한 달 후에 채취하였다. 채취한 개체는 새로 자란 부분(new leaf)과 기존 부분(old leaf)으로 나누어서, 각각의 건조량(DW)을 측정 후 개체 당 하루 동안 생산된 양(mg DW sht⁻¹ D⁻¹)을 측정하였다. 개체 당 생산성에 생육밀도를 곱하여 단위면적당 잎의 생산성(g DW m⁻² D⁻¹)을 계산하였다.

통계분석

모든 자료는 normality와 homogeneity of variance를 검정한 후 2-way ANOVA를 이용하여 장소와 시간에 따른 차이의 유의성을 검사하였다(p<0.05). 통계분석은 SAS 9.1을 이용하였으며, 모든 측정치는 평균(mean)과 표준오차(SE)로 나타내었다.

결 과

환경요인

수중광량은 겨울부터 상승하여 2005년 3월에 최고치(37.0 mol photons m⁻² D⁻¹)를 나타낸 후 감소하여 10월에 최저치(3.8 mol photons m⁻² D⁻¹)를 나타내는 뚜렷한 계절 경향을 보였다(Fig. 2A). 수온도 뚜렷한 계절성을 보였으며, 2005년 2월에 최소값(6.3 °C)

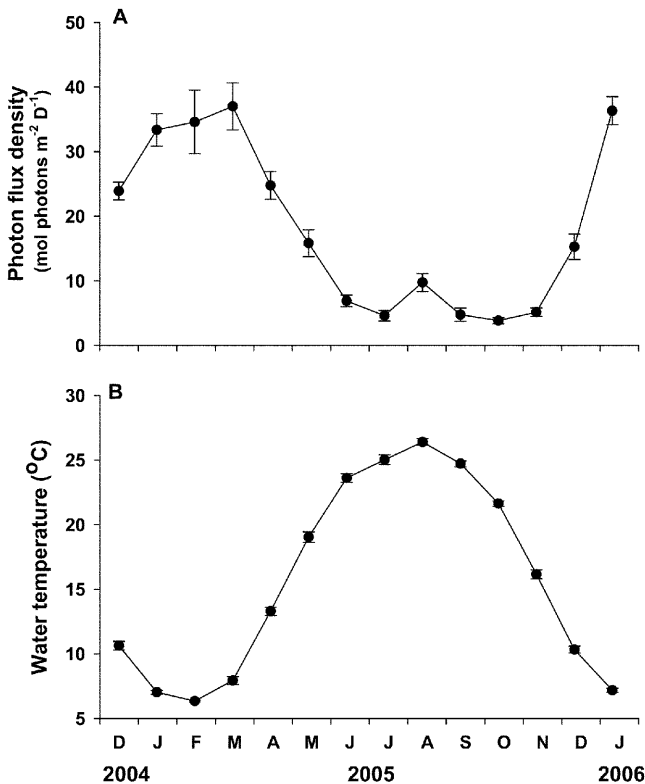


Fig. 2. Seasonal changes in underwater photon flux density (A) and water temperature (B) at the transplanting site in Jindong Bay from December 2004 to January 2006.

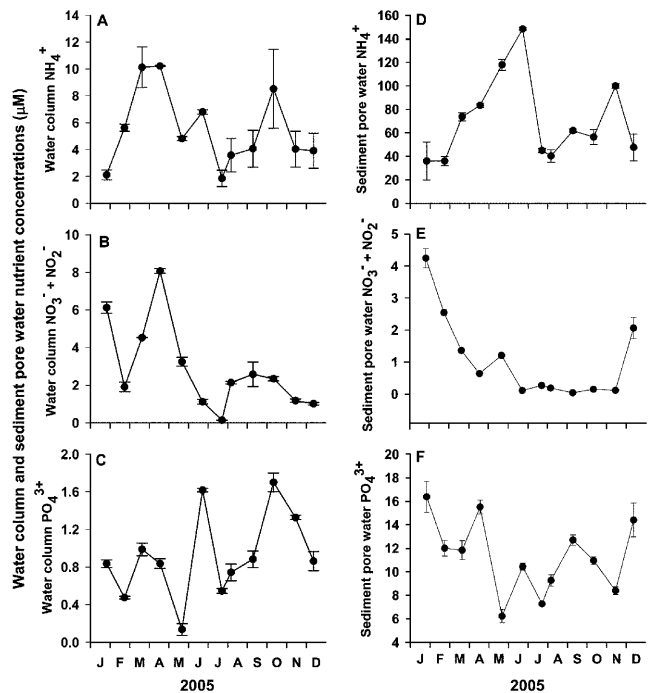


Fig. 3. Water column and sediment pore water nutrient concentrations at the transplanting site in Jindong Bay from January 2005 to December 2005. Water column ammonium (A), nitrate + nitrite (B) and phosphate (C), and sediment pore water ammonium (D), nitrate + nitrite (E) and phosphate (F). Values are mean ± SE (N=4).

을, 9월에 최대값(26.4 °C)을 나타내었다(Fig. 2B).

수층과 퇴적물 공극수의 영양염 농도는 조사시기별로 유의한 차이를 보였으나(p<0.001), 뚜렷한 계절성을 나타내지 않았다. 수층의 평균 영양염 농도는 암모늄염이 5.5 μM, 질산염+아질산염이 2.9 μM, 인산염은 0.9 μM로 나타났다(Fig. 3A, B, C). 퇴적물 공극수의 평균 영양염 농도는 암모늄염이 70.5 μM, 질산염+아질산염이 1.7 μM, 인산염은 11.3 μM로 조사되었다(Fig. 3D, E, F).

서식밀도

이식 장소와 자연서식지에서 잘피 영양지의 서식밀도는 유의한 계절 변동을 나타내었다(p<0.001, Fig. 4). 자연 잘피 서식지에서는 봄에 밀도가 서서히 증가하여 초여름에 최대값을 보인 후 가을에 감소하였다. 이식 장소에서 잘피의 서식밀도는 이식 후 계속 증가하여 8월에 최대값을 보인 후 감소되는 경향을 보였다(Fig. 4A). 화지는 이식된 잘피(5 shoots m⁻²)와 자연서식지 잘피(7 shoots m⁻²) 모두 4월에 발생하였으며, 화지의 밀도는 두 장소 사이에 유의한 차이를 보이지 않았다(p=0.48). 두 조사 장소 모두에서 화지는 7월 이후에는 발견되지 않았다(Fig. 4B). 이식 장소에 자연서식지 보다 낮은 서식밀도(32 shoots m⁻²)로 잘피가 이식 되었으나, 이식 1년 후인 2005년 12월의 서식밀도는 이식 장소(95 shoots m⁻²)와 자연서식지 잘피(98 shoots m⁻²) 사이에 유의한 차이를 보이지 않았다(p=0.59, Fig. 4C).

형태적 특성

이식한 잘피와 자연 서식지내의 잘피 모두 형태적 특성들은 뚜

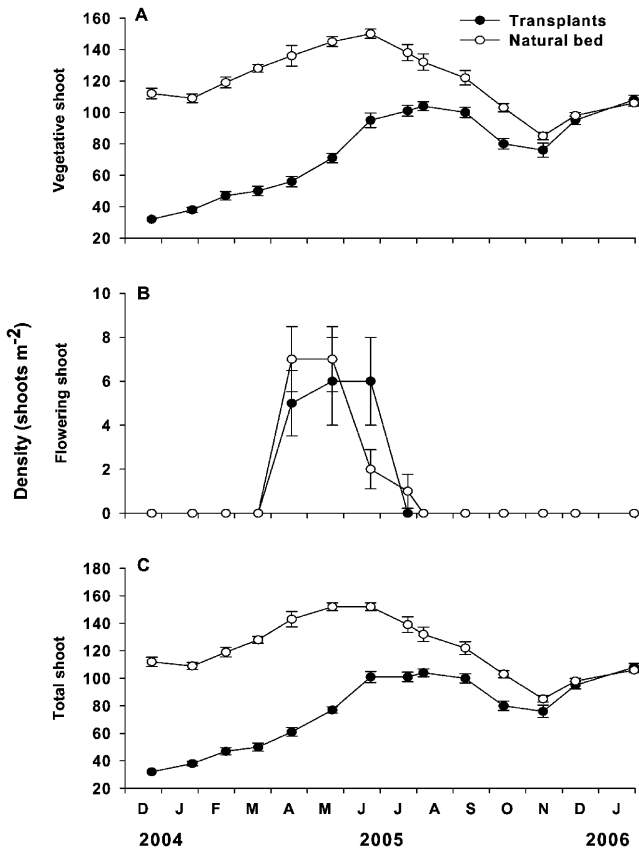


Fig. 4. Seasonal changes in vegetative shoot density (A), flowering shoot density (B), and total shoot density (C) at the transplanting site and the natural eelgrass bed in Jindong Bay from December 2004 to December 2005. Values are mean \pm SE (N=4).

릿한 계절 경향을 보였다. 이식개체와 자생개체 모두에서 잎의 수와 잎의 폭, 엽초의 길이, 잘피의 키, 엽초무게, 지상부와 지하부의 무게가 봄과 여름에 증가하고 가을에 감소하는 경향을 보였다(Fig. 5). 잎의 수는 이식시 자생개체(4.8)에 비해 이식된 개체(4.4)가 작았으나, 이식 후 한 달이 경과하면서 유의한 차이($p=0.22$)가 사라졌다(Fig. 5A). 잎의 폭은 이식시 이식된 개체(8 mm)와 자생개체(8.34 mm)에서 유의한 차이가 없었으나($p=0.17$), 이식 한 달 후 이식된 개체에서 현저히 좁아졌다가 두 달 후에는 다시 유의한 차이($p=0.29$)가 없어졌다(Fig. 5B). 엽초의 길이도 이식 할 때에는 이식된 개체(12.3 cm)와 자생개체(12.9 cm) 사이에 유의한 차이가 없었으나($p=0.26$), 이식 후에는 자생개체의 엽초가 유의하게 ($p<0.001$) 길었다(Fig. 5C). 잘피의 키는 이식 당시 이식된 개체(72.7 cm)가 자생개체(62.4 cm)보다 더 컸으나, 이식 직후 이식된 개체에서 급격한 감소가 관찰되었고 약 10개월 후 이식개체와 자생개체의 키가 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.52$, Fig. 5D).

엽초의 무게는 이식시 이식개체(0.15 g)가 자생개체(0.20 g)보다 가벼웠으나 10개월 후부터는 유의한 차이가 관찰되지 않았다($p=0.93$, Fig. 5E). 지상부의 무게는 이식초기와 이식 후 이식개체와 자생개체 사이에 유의한 차이가 관찰되지 않았다(Fig. 5F). 지하부의 무게는 이식시와 이식직후에는 두 개체들 사이에 유의한 차이가 없었으나($p=0.56$), 2005년 5월부터는 이식개체에서 유의

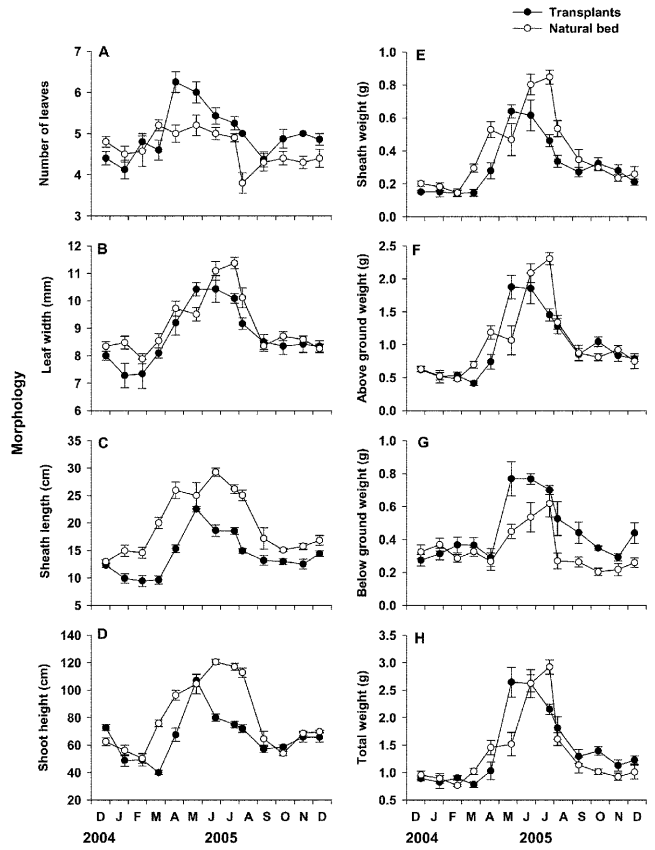


Fig. 5. Seasonal changes in morphological characteristics at the transplanting site and the natural eelgrass bed in Jindong Bay from December 2004 to December 2005. Leaf number (A), leaf width (B), sheath length (C), shoot height (D), sheath weight (E), above ground weight (F), below ground weight (G), and total shoot weight (H). Values are mean \pm SE (N=4-10).

하게 높게 나타났다(Fig. 5G). 개체당 무게는 이식시 이식개체(0.89 g)와 자생개체(0.95 g) 사이에 유의한 차이가 없었으며, 이식 후에도 유사한 경향을 보였다(Fig. 5H).

잎의 생산성

이식개체와 자생개체 모두 개체당 잎의 생산성과 단위면적당 생산성이 뚜렷한 계절 경향을 보였다. 잎의 생산성은 봄에 급격히 증가하였고, 여름을 지나면서 감소하는 경향이 나타났다(Fig. 6). 이식 초기에는 이식된 개체의 개체당 잎의 생산성은 자생개체보다 유의하게 낮았으나($p<0.001$), 이식 후 4개월부터는 이식개체들이 더 높은 생산성을 보였으며, 약 6개월 후부터는 두 개체군의 생산성이 유사해졌다($p=0.14$, Fig. 6A). 단위면적당 잎의 생산성은 밀도차이에 의해 자연 서식지에서 월등히 높은 값을 보였으나, 이식 후 약 1년이 경과한 후에는 이식 장소와 자연서식지 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았다($p=0.28$, Fig. 6B).

고 찰

이식된 잘피개체들은 이식 초기에 밀도의 감소 없이 잘 정착하

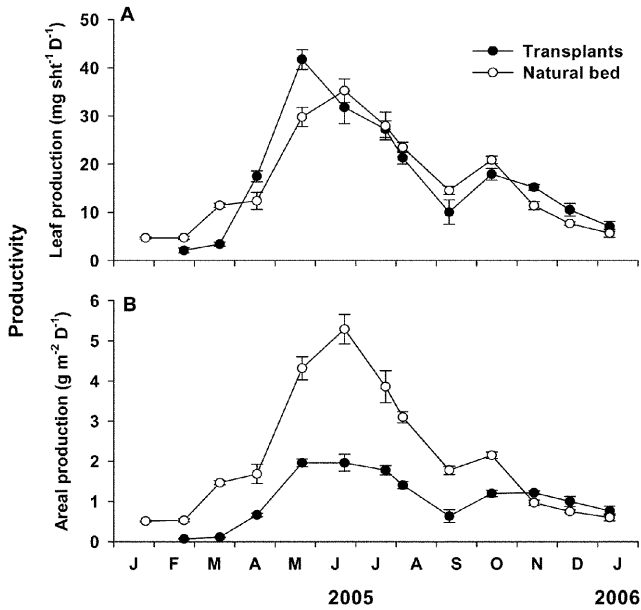


Fig. 6. Seasonal changes in leaf productivity per shoot (A) and areal productivity (B) at the transplanting site and the natural eelgrass bed in Jindong Bay from January 2005 to January 2006. Values are mean \pm SE (N=8-12).

었다. 갈피 개체들은 양성부력을 가지므로 지하부가 뽑힌 개체는 수면에 뜨게 된다. 따라서 갈피를 새로운 장소에 이식하기 위해서는 지하부를 퇴적물속에 잘 고정시켜야 한다(Philips, 1974; Fonseca et al., 1996; Orth et al., 1999; Calumpong and Fonseca, 2001; Paling et al., 2001). 갈피의 지하부가 퇴적층에 고정되고 나면 지하경이 신장되면서 지하경 마디에서 새로운 측지(lateral shoot)가 발생하여 밀도가 증가하게 된다(Martins et al., 2005). 이식된 갈피의 생존율과 정착하는데 걸리는 시간은 이식방법이나 이식시기에 따라 차이가 난다(Calumpong and Fonseca, 2001; Martins et al., 2005; Park and Lee, 2007). 본 연구에서는 갈피의 지하경을 staple method로 직접 식재하는 방법을 사용하였고, 이식장소의 환경이 갈피생존에 적합하였으며, 가장 적절한 이식시기인 초겨울에 이식함으로써 초기밀도 감소 없이 이식개체들이 이식장소에 잘 정착된 것으로 보인다.

갈피는 생육조건이 변화하거나 새로운 환경에 노출되면 성장율과 형태적인 변화가 나타난다. 이러한 변화는 기존의 서식지와 다른 수중광 조건, 퇴적물 공극수의 영양염 농도와 조류의 세기 등과 같은 환경요인의 변화에 이식갈피들이 적응하기 위한 과정으로 보여진다(Kenworthy and Fonseca, 1977; Meinesz et al., 1993; Zimmerman et al., 1995; van Katwijk et al., 1998; Frederiksen et al., 2004; Martins et al., 2005). 수중광량이 감소하면 갈피의 성장이 감소되고, 광합성에 필요한 충분한 양의 빛을 흡수하기 위해 엽록소 함량을 증가시키는 경향이 있다(Lee and Dunton, 1997; Ruiz and Romero, 2001; Bostrom et al. 2004). 영양염 농도는 갈피 성장을 제한하기도 하는데, 퇴적물 영양염 농도가 감소되면 갈피는 지하부의 생체량이 증가되고, 반대로 퇴적물 영양염의 농도가 증가하면 지하부의 생체량이 감소되기도 한다(Short, 1987; Kenworthy and Fonseca, 1992; Lee and Dunton, 2000). 특히, 잎

의 폭은 환경 스트레스를 나타내는 지표로 갈피가 스트레스에 노출되거나, 환경이 악화되면 잎의 폭이 감소되는 것으로 보고되고 있다(Phillips and Lewis, 1983; Meinesz et al., 1993). 본 실험 결과에서도 이식개체의 잎의 폭이 이식 후 1-2개월 동안은 자생개체보다 현저히 감소되었다가 그 후 유사해지는 것이 관찰되었다. 초기밀도감소 없이 형태적 변화만 나타난 것은 이식 장소의 수중광 조건과 퇴적물 영양염의 농도 등과 같은 환경요인들은 이식갈피의 생육에 적합하였으나(Lee et al. 2003, 2005), 이식 초기에 이식개체들이 이식과정에서 발생할 수 있는 물리적인 손상과 같은 이식 스트레스를 받은 결과로 여겨진다.

이식된 갈피의 잎 생산성과 단위면적당 생산성도 이식 초기에는 자생갈피보다 현저히 낮게 나타났다. 이식개체의 잎의 생산성이 이식초기 낮은 이유도 이식 과정 중 발생하는 이식 스트레스의 영향으로 추측된다(Meinesz et al., 1993; Martins et al., 2000). 이식 후 4개월이 경과하면서 이식개체의 잎 생산성은 자생갈피를 초과하기 시작했는데, 이는 아마도 자생갈피보다 낮은 밀도로 이식함으로 인해 갈피개체간에 발생할 수 있는 빛이나 영양염류에 대한 경쟁이 감소되어 나타난 것으로 추정된다(Vermaat and Verhagen, 1996; Enriquez et al., 2002; Peralta et al., 2002). 이후 이식개체의 밀도가 증가하면서 이식된 갈피의 단위면적당 생산성도 증가하여 이식 1년 후에는 자연 서식지와 유사해졌다.

우리나라 연안에 분포하는 갈피는 봄과 여름에 급격히 성장하고, 가을과 겨울에 성장이 감소하는 경향을 보이며 갈피 성장이 가장 활발한 수온은 15-20 °C로 보고되었다(Lee et al., 2003, 2005). 본 연구에서도 수중광량이 풍부하고 수온이 적합한 봄철에 이식갈피와 자생갈피가 높은 생산성을 보였다. 또한, 생육환경에 따라 차이는 있지만 갈피는 주로 봄에 화지가 발생하여 열매가 성숙하고 여름이 되면 노화된 화지는 사라지게 된다(Lee et al. 2005). 이식갈피와 자생갈피 사이에 화지의 발생에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 따라서 이식과정은 갈피의 유성생식에 유의한 영향을 주지 않았다고 추정할 수 있다. 본 이식장소에 이식된 갈피는 이식 초기에 잎의 폭, 엽초의 길이와 개체의 잎의 생산성이 감소되었으나, 이식 1년 후에는 자연서식지의 갈피와 유사해졌다. 따라서 이식갈피가 이식 스트레스를 극복하고 이식장소의 새로운 환경에 적응하는데 약 1년의 적응기간이 필요한 것으로 추정된다.

사 사

논문을 심사해 주신 두 분의 심사위원께 감사드립니다. 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

- 해양환경공정시험방법. 2005. 해양수산부, 400pp.
- Addy, C.E., 1947. Eel grass planting guide. Md. Conserv., 24: 16-17.
- Bostrom, C., C. Roos and O. Ronnberg, 2004. Shoot morphometry and production dynamics of eelgrass in the northern Baltic Sea. Aquat. Bot., 79: 145-161.
- Calumpong, H.P. and M.S. Fonseca, 2001. Seagrass transplantation and other seagrass restoration methods. In: Global Seagrass Research Methods, edited by Short, F.T., R.G. Coles and C.A.

- Short, Elsevier, Amsterdam, pp. 424–443.
- Davis, R.C. and F.T. Short, 1997. Restoring eelgrass, *Zostera marina* L., habitat using a new transplanting technique: The horizontal rhizome method. *Aquat. Bot.*, **59**: 1–15.
- Enriquez, S., M., Merino and R. Iglesias-Prieto, 2002. Variations in the photosynthetic performance along the leaves of the tropical seagrass *Thalassia testudinum*. *Mar. Biol.*, **140**: 891–900.
- Frederiksen, M., D. Krause-Jensen, M. Holmer and J.S. Laursen, 2004. Spatial and temporal variation in eelgrass (*Zostera marina*) landscapes: influence of physical setting. *Aquat. Bot.*, **78**: 147–165.
- Fishman, J.R., R.J. Orth, S. Marion and J. Bieri, 2004. A comparative test of mechanized and manual transplanting of eelgrass, *Zostera marina*, in Chesapeake Bay. *Restor. Ecol.*, **12**: 214–219.
- Fonseca, M.S., 2007. What has changed with seagrass restoration in 58 years? In: 19th Estuarine Research Federation Abstracts. Providence, Rhode Island, pp. 64.
- Fonseca, M.S., W.J. Kenworthy and F.X. Courtney, 1996. Development of planted seagrass beds in Tampa Bay, FL, USA: I. Plant components. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **132**: 127–139.
- Fonseca, M.S., W.J. Kenworthy, F.X. Courtney and M.O. Hall, 1994. Seagrass planting in the Southern United States: Methods for accelerating habitat development. *Restor. Ecol.*, **2**: 198–212.
- Fonseca, M.S., W.J. Kenworthy and G.W. 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.
- Kentula, M.E. and C.D. McIntire, 1986. The autecology and production dynamics of eelgrass (*Zostera marina*) beds. *Mar. Biol.*, **66**: 59–65.
- Kenworthy, W.J. and M.S. Fonseca, 1977. Reciprocal transplant of the seagrass *Zostera marina* L. Effects of substrate on growth. *Aquaculture*, **12**: 197–213.
- Kenworthy, W.J. and M.S. Fonseca, 1992. The use of fertilizer to enhance growth of transplanted seagrasses *Zostera marina* L. and *Halodule wrightii* Aschers. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **163**: 141–161.
- 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.*, (In Press).
- Huh, S.H. and C.L. Kitting, 1985. Trophic relationships among concentrated populations of small fishes in seagrass meadows. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **92**: 29–43.
- Lee, K.-S. and K.H. Dunton, 1997. Effects of in situ light reduction on maintenance, growth and partitioning of carbon resources in *Thalassia testudinum* Banks ex König. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **210**: 53–73.
- Lee, K.-S. and K.H. 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 K.H. Dunton, 2000. Effects of nitrogen enrichment on biomass allocation, growth, and leaf morphology of the seagrass *Thalassia testudinum*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **196**: 39–48.
- Lee, K.-S. and S.Y. Lee, 2003. The seagrasses of the republic of Korea. In: World Atlas of Seagrasses: present status and future conservation, edited by Green, E.P., F.T. Short and M.D. Spalding, University of California Press, Berkeley pp. 193–198.
- Lee, K.-S., C.K. Kang and Y.S. Kim, 2003. Seasonal dynamics of the seagrass *Zostera marina* on the south coast of the Korean peninsula. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **38**: 68–79.
- Lee, K.-S. and J.-I. Park, 2008. An effective transplanting technique using shells for restoration of *Zostera marina* habitats. *Mar. Pollut. Bul.*, **56**: 1015–1021.
- Lee, K.-S., J.-I. Park, Y.-K. Kim, S.R. Park and J.-H. Kim, 2007. 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 J.B. Kim, 2005. 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 Long, W. and R.M. Thom, 2001. Improving seagrass habitat quality. In: Global Seagrass Research Methods, edited by Short, F.T., R.G. Coles and C.A. Short, Elsevier, Amsterdam pp. 407–424.
- Martins, I., J.M. Neto, M.G. Fontes, J.C. Marques and M.A. Pardal, 2005. Seasonal variation in short-term survival of *Zostera noltii* transplants in a declining meadow in Portugal. *Aquat. Bot.*, **82**: 132–142.
- McRoy, C.P. and C. McMillan, 1977. Production and ecology and Physiology of seagrasses In: Seagrass Ecosystems: A Scientific Perspective, edited by McRoy C.P. and P. Helfferich, Dekker, New York, pp. 53–88.
- Meehan, A.J. and R.J. West, 2002. Experimental transplanting of *Posidonia australis* seagrass in Port Hacking, Australia, to assess the feasibility of restoration. *Mar. Pollut. Bul.*, **44**: 25–31.
- 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.
- Orth, R.J., M.C. Harwell and J.R. Fishman, 1999. A rapid and simple method for transplanting eelgrass using single unanchored shoots. *Aquat. Bot.*, **64**: 77–85.
- Orth, R.J., M.L. Luckenbach, S.R. Marion, K.A. Moore and D.J. Wilcox, 2006. Seagrass recovery in the Delmarva Coastal Bays, USA. *Aquat. Bot.*, **84**: 26–36.
- Paling, E.I., M. Keulen, K. Wheeler, J. Phillips and R. Dyhrberg, 2001. Mechanical seagrass transplantation in Western Australia. *Ecol. Eng.*, **16**: 331–339.
- 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.
- Parsons, T.R., Y. Mait and C.M. Lalli, 1985. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, New York, 173pp.
- Peralta, G., J.L. Perez-Llorens, I. Hernandez and J.J. Vergara, 2002. Effects of light availability on growth, architecture and nutrient content of the seagrass *Zostera noltii* Hornem. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **269**: 9–26.
- Phillips, R.C., 1974. Transplantation of seagrasses with special emphasis on eelgrass, *Zostera marina* L. *Aquaculture*, **4**: 161–176.
- Phillips, R.C. and R.L. Lewis, 1983. Influence of environmental gra-

- dients on variations in leaf widths and transplant success in North American seagrasses. *Mar. Tech. Soc. J.*, **17**: 59–68.
- Ruiz, J.M. and J. Romero, 2001. Effects of in situ experimental shading on the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **227**: 107–120.
- Seddon, S., 2004. Going with the flow: Facilitating seagrass rehabilitation. *Ecol. Manag. Res.*, **5**: 167–176.
- Short, F.T., 1987. Effects of sediment nutrients on seagrasses: literature review and mesocosm experiment. *Aquat. Bot.*, **27**: 41–57.
- Short, F.T. and S. Wyllie-Echeverria, 1996. National and human-induced disturbance of seagrasses. *Environ. Conserv.*, **23**: 17–27.
- Short, F.T., R.C. Davis, B.S. Kopp, C.A. Short and D.M. Burdick, 2002. Site-selection model for optimal transplantation of eelgrass *Zostera marina* in the northeastern US. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **227**: 253–267.
- Short, F., T. Carruthers, W. Dennison and M. Waycott, 2007. Global seagrass distribution and diversity: A bioregional model. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **350**: 3–20.
- van Katwijk, M.M., G.H.W. Schmitz, L.S.A.M. Hanssen and C. den Hartog, 1998. Suitability of *Zostera marina* populations for transplantation to the Wadden Sea as determined by a mesocosm shading experiment. *Aquat. Bot.*, **60**: 283–305.
- Vermaat, J.E. and F.C.A. Verhagen, 1996. Seasonal variation in the intertidal seagrass *Zostera noltii* Hornem.: coupling demographic and physical patterns. *Aquat. Bot.*, **52**: 259–281.
- Zieman, J.C., 1974. Methods for the study of growth and production of turtle grass, *Thalassia testudinum* König. *Aquaculture*, **4**: 139–143.
- Zimmerman, R.C., J.L. Reguzzoni and 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.

2008년 11월 17일 원고접수

2009년 1월 28일 수정본 채택

담당편집위원: 강창근