

동대만과 오지리 연안에 서식하는 해초 (*Zostera marina*) 내 질소함유율의 계절적 변화

김민섭 · 이성미 · 신경훈*

한양대학교 해양환경과학과

Seasonal Nitrogen Dynamics of *Zostera marina* Inhabited in Dongdae Bay and Ojiri

Min-Seob Kim, Sung-Mi Lee and Kyung-Hoon Shin*

Department of Environmental Marine Science, Hanyang University, Ansan 426-791, Korea

Abstract - Nitrogen dynamics of Seagrass *Zostera marina* were investigated in both Dongdae Bay and Ojiri from March to August, 2004. All seagrass samples were separated into four fractions such as leaves (new and adult), sheath and rhizome in order to understand temporal variations of nitrogen content in different fractions of *Zostera marina*. There are temporal variations of shoot production rates and total nitrogen contents in their different fractions at both study areas. Leaf production were almost 4 to 5 fold higher in summer than in winter. The irradiance is the primary factor controlling the leaf production of *Zostera marina* in both sites although water temperature also influence its productivity. Nitrogen contents of leaves were overall low in summer than in winter, but nitrogen content of rhizome increased during the summer season. In addition, nitrogen contents of new leaves were mostly higher than adult leaves in spite of lower nitrogen content of new and adult leaves in high productivity period. This result suggests that *Zostera marina* seems to have significant translocation ability of nitrogen in a shoot. The nitrogen content of leaf tissue may reflect nutritional nitrogen availability.

Key words : *Zostera marina*, nitrogen content, production, Dongdae Bay, Ojiri

서론

해초(Seagrass)는 연안역에서 수중생활을 하는 다년생 해산 현화식물으로서 (Fourqurean *et al.* 1999) 수중 생태계에서 가장 생산성이 높은 개체군이다 (Zieman and Wetzel 1980; Stapel and Hemminga 1997). 이와 같이 높은 생산성을 유지하기 위해서는 많은 양의 영양염을 필

요로 하며 적절한 영양염의 이용은 필수적이다 (Stapel *et al.* 1996). 해초는 수층과 퇴적물내 공극수에서 잎과 뿌리를 이용하여 영양염을 흡수한다 (Iizumi and Hattori 1982; Short and McRoy 1984). 비록 퇴적물 내 공극수에서의 영양염 농도가 높다 하여도 해초의 조직내의 영양염 함유율은 봄과 여름 사이에 감소하는 경향이 많이 나타나고 있다 (Harrison and Mann 1975; Pellikaan and Nienhuis 1988). 이는 해초가 빠르게 성장하는 동안에 해초의 영양염 요구량이 영양염 흡수율과 일치하지 않는다는 것을 의미한다. 해초는 뿌리-지하경에 비해 잎에서

* Corresponding author: Kyung Hoon Shin, Tel. 031-400-5536, Fax. 031-416-6173, E-mail. shinkh@hanyang.ac.kr

의 건중량당 흡수 효율이 더 높지만 (Short and McRoy 1984) 질소 이용율은 일반적으로 수층보다 퇴적물에서 높다 (Boon 1986; Dennison *et al.* 1987). 그러므로 퇴적물은 뿌리를 내리고 사는 해초에게 중요한 영양염 공급처이다. 그러나 잎과 뿌리가 해초의 성장에 기여하는 정도를 추정해보면 잎과 뿌리 모두 균등하게 기여하는 것으로 보고되어 있다 (Iizumi and Hattori 1982; Zimmerman *et al.* 1987).

해초는 잎과 뿌리를 통해 수층과 퇴적물에서 질산염을 흡수한 다음 다른 잎으로 이동시킨다 (Borum *et al.* 1989). 잎의 영양염 흡수 효율은 잎의 나이와는 무관하며 성숙한 잎은 성장을 하지는 않지만 흡수한 영양염을 어린 잎에게 공급함으로써 어린 잎의 성장과 영양염 요구량을 충족시켜주는 역할을 한다 (Borum *et al.* 1989). 그리하여 성숙한 잎에서 어린 잎으로의 내부적인 영양염 이동이 있기 때문에 어린 잎은 성장에 충분한 영양염을 공급받으므로 외부로부터의 영양염 흡수를 줄여나가게 되고 질소 제한의 빈영양상태에서도 충분한 성장을 할 수 있는 것이다 (Borum *et al.* 1989). 잎에서의 영양염 이동은 염생식물의 잎의 생물량의 증가와 밀접한 관계를 가지고 있다 (Stapel *et al.* 1996). 해초의 생산성이 높아질수록 해초는 많은 영양염을 필요로 하며 성장시에 부족한 영양염은 해초 자체내의 영양염 이동을 통하여 공급받는다 (Jorge terrados *et al.* 1999).

거머리말 (*Zoesteria marina*)은 연안역에서 수층생활을 하는 다년생 해산 현화식물이자 기초생산자로서 서식처

와 먹이를 공급하고 연안역의 기초 생산력을 증대시키면서 생태계에서 생물생산과 먹이연쇄에 매우 중요한 역할을 담당하고 있다 (McRoy 1970; Aioi 1981). 그러므로 본 연구에서는 생태계에서 중요한 역할을 담당하고 있는 거머리말의 생육환경에 따른 생산성과 계절에 따른 거머리말의 질소 이용도를 관찰하고자 충청남도 서산시 오지리와 경상남도 남해군 동대만에서 연구를 실시하였다.

연구 방법

1. 연구지역

충청남도 서산시 대산읍 오지리 (36° 57' 51" N 126° 19' 7" E)는 길이 약 10 km, 너비 5 km, 면적은 9.8 km²의 연안으로 간조시 넓은 갯벌이 발달하고 있다. 거머리말의 생육지는 조간대로서 동대만보다 작은 해초 서식처를 형성하고 있다 (Fig. 1A).

남해도 동대만 (34° 52' 57" N 128° 1' 2" E)은 경상남도 남해군 창선면 수산리에서 당항리까지 길이 5.5 km, 너비 1.2 km, 면적은 약 4.9 km²의 긴 내만으로 간조시 넓은 갯벌이 발달하며, 이 해역은 최대 13 m의 수심을 나타내지만, 대부분 1~3 m 이내의 얇은 수심을 나타낸다. 동대만의 북부 해역은 외해와 연결되어 있고, 조석은 최대 3.4 m 내외이다. 동대만에 분포하는 갈피의 생육지는 약 3.8 km²로서 간조 시 조간대 하부에서부터 수심 3 m까

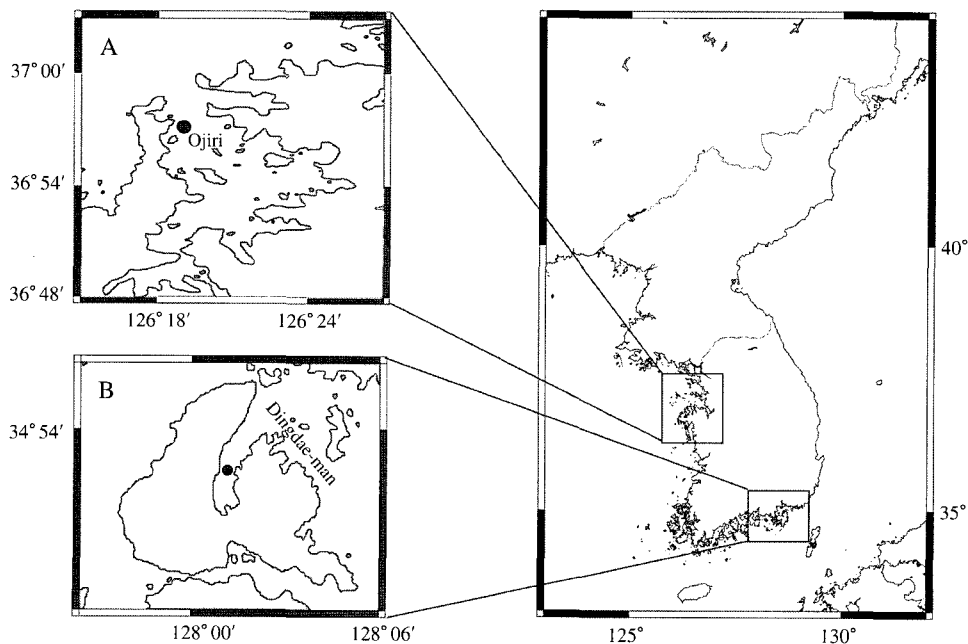


Fig. 1. Sampling location in Ojiri (A) and Dongdaem Bay (B).

지 넓은 초지를 형성하고 있다(Fig. 1B).

수온은 우리나라 연안 특성상 남해 연안지역인 동대만이 서해 연안지역인 오지리보다 평균 2°C 높은 수온을 보이며 염분과 pH 또한 동대만이 높은 수치를 보인다. 퇴적환경은 동대만이 머드샌드질이고 오지리는 샌드머드질이다.

동대만과 오지리는 거머리말 서식지로서 해초가 넓게 퍼져서 서식하고 있다. 우리나라의 지형적 특성상 남해와 서해는 계절에 따른 환경적인 차이가 다양하게 나타난다. 그러므로 남해와 서해에서 서식하는 거머리말의 형태학적, 생리학적 특징을 연구함으로써 거머리말의 생육환경의 변화에 따른 생활사를 연구하고자 한다.

2. 현장관측 및 시료채취

수온은 수질측정기(Horiba U-10)을 이용하여 매달 현장에서 측정하였다. 해수의 시료는 해초가 있는 깊이에서 Van Dorm 채수기를 이용하여 4번 채취하여 DIN(NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻), DIP(PO₄⁻)을 측정하였다. DIN, DIP의 농도는 Strickland and Parsons (1968)의 방법에 의거하여 UV-spectrophotometer (Carry 50)를 이용하여 분석하였다. 광량은 본 연구지역에서 20 km 정도 떨어져 있고 기상연구소에서 운영하는 서산관측소(36° 46'N, 126°

30'E), 통영관측소(34° 51'N, 128° 26'E)의 자료를 인용하였다(http://www.kma.go.kr). 해초는 2004년 3월부터 2005년 2월까지 1년 동안 스쿠버 다이버를 이용하여 채집하였다. 해초의 생산성을 측정하기 위하여 한달 간격으로 해초의 잎에 표시를 하여 채집하였다.

3. 질소 분석 방법

거머리말(*Zostera marina*)에 부착된 부착생물과 퇴적물을 증류수를 이용하여 깨끗이 제거해준 다음 성숙한 잎, 어린 잎, 엽초, 뿌리-지하경으로 구분하여 60°C에서 건조시킨 후 생물량을 측정하였다. 건조 후 막자사발을 이용하여 분말상태로 파쇄한 후 1N HCl을 이용하여 무기태 탄소를 제거해준 다음 증류수로 여러번 세척한 후 다시 60°C에서 건조시킨 후 원소분석기(Elemental Analyzer)를 이용하여 분석하였다.

결 과

1. 환경 조건의 계절적 변화

수온은 동대만과 오지리에서 계절별로 비슷한 변화를 보였다. 동대만은 7월, 오지리는 8월에 평균 26°C로 최

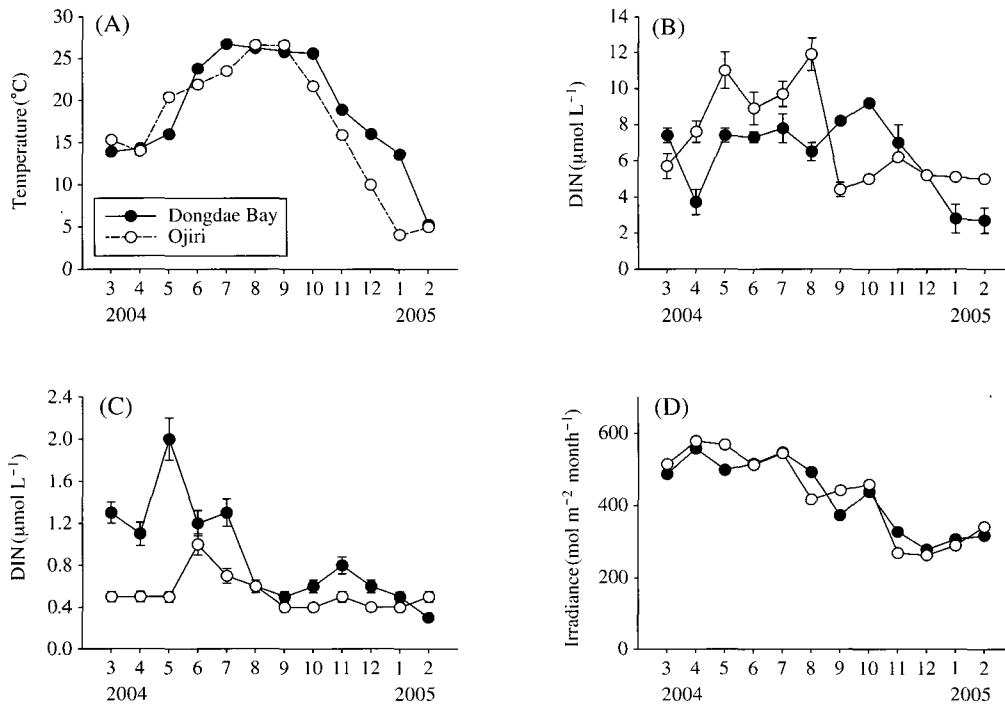


Fig. 2. Seawater temperature (A), DIN (NO₃⁻+NO₂⁻+NH₄⁺) (B), DIP (PO₄⁻) (C), Irradiance (D) at the Dongdaebay and Ojiri from March 2004 to February 2005.

고치를 보였으며 12월경에 각각 평균 5°C로 최저치를 보였다(Fig. 2A). 우리나라는 남해가 서해보다 연중 따뜻한 지역으로 남해에 위치한 동대만이 서해안에 위치한 오지리보다 따뜻한 수온이 7월부터 10월까지 오래 유지되고 있으며 겨울에도 오지리보다 다소 높은 수온을 유지하였다. 수층의 용존 무기태 질소 농도는 동대만에서는 10월경에 9.2 μmol 로 최대치를 보이고 2월경에 2.7 μmol 로 최저치를 보였으며 오지리는 8월경에 11.9 μmol 로 최대치를 보였으며 2월경에 5 μmol 로 최저치를 보였다(Fig. 2B). 용존 무기인의 농도는 동대만에서 5월경에 2 μmol 로 최대치를 보였으며 2월경에 0.3 μmol 로 최저치를 보였으며 오지리는 6월경에 1 μmol 로 최대치를 보였다(Fig. 2C). 용존 무기인의 농도는 동대만이 오지리보다 2월을 제외한 거의 모든 계절에서 높은 농도를 나타내고 있으며 용존 무기질소는 9, 10, 11월을 제외하고 오지리가 동대만보다 높은 농도를 보이고 있다. 광량은 동대만에서는 277.8~557.8 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{month}^{-1}$, 오지리에서는 262.3~578.4 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{month}^{-1}$ 의 범위를 보이고 있다(Fig. 2D).

2. 해초의 생산성

Fig. 3A는 거머리말 (*Zostera marina*)의 잎에 표시를 한

후 한달 동안 자란 잎의 생산성을 도식화한 것이며 Fig. 3B, C, D는 표시를 한 잎의 나머지 부분이다. 동대만에서는 2004년 7월경에 37.0 mg DW shoot⁻¹ day⁻¹로 최대 생산성을 보이며 오지리 또한 7월경에 29.8 mg DW shoot⁻¹ day⁻¹로 최대 생산성을 보이고 있다. 생산성은 2004년 7월 이후로 2005년 2월까지 감소하고 있으며 최소값은 동대만에서 0.26 mg DW shoot⁻¹ day⁻¹, 오지리에서 0.24 mg DW shoot⁻¹ day⁻¹를 보이고 있다. 이런 잎의 생산성이 증가하고 감소하는 경향은 엽초와 뿌리-지하경의 생체량과 비슷한 경향을 보이고 있지만 성숙한 잎은 반대의 경향을 보이고 있다(Fig. 3B, C and D). Fig. 3B를 살펴보면 동대만에서 거머리말 (*Zostera marina*)의 성숙한 잎의 생체량은 어린 잎의 생체량이 높은 시기인 2004년 7월경에 0.43 g DW shoot⁻¹로 최소치를 보이고 있으며 오지리에서는 2004년 8월경에 0.21 g DW shoot⁻¹로 최소값을 보이고 있다. 이는 여름철에 해초의 잎의 개체수가 감소하여 생체량이 줄어드는 것이고 겨울철에는 해초 잎의 개체수 손실이 적어져 생체량이 증가하는 경향을 보이는 것으로 사료된다. 그러나 호우와 파랑 등에 의한 영향으로 여름철에 잎의 개체수가 줄어드는 것이고 생체량의 판단 기준은 아니다. 뿌리-지하경은 동대만에서 0.67 g DW shoot⁻¹로 8월에 최대치를 보이며 오지리에서는 0.34 g DW shoot⁻¹로 8월에 최대치를 보인다.

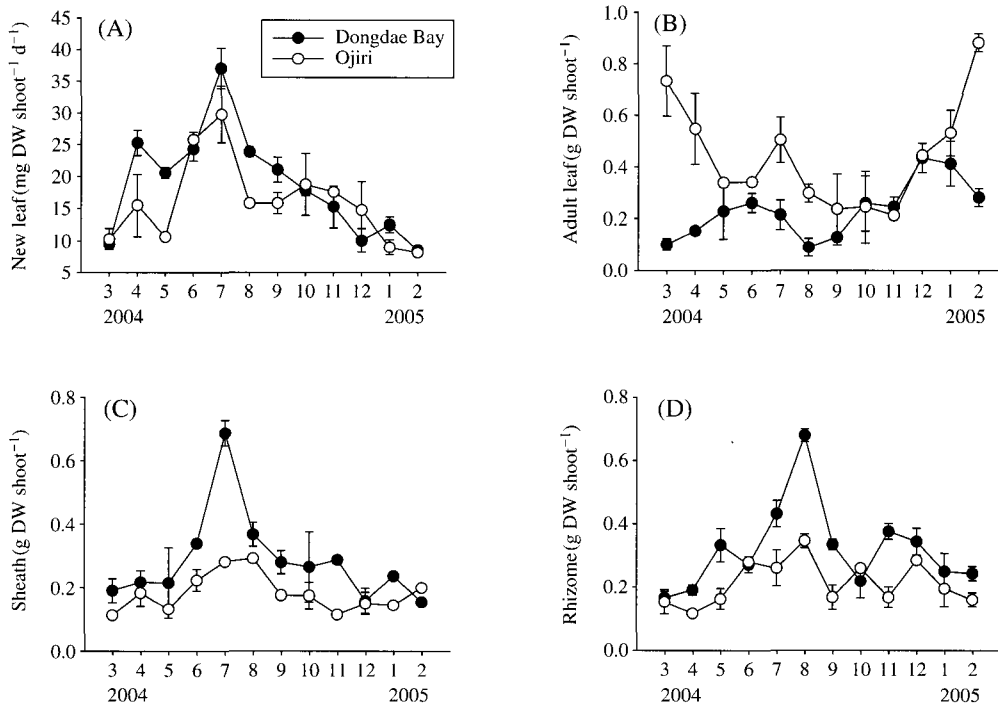


Fig. 3. Seasonal variation in *Zostera marina* shoot production : new leaf production (A), adult leaf (B), sheath (C), rhizome (D) at the Dongdaebay and Ojiri from March 2004 to February 2005.

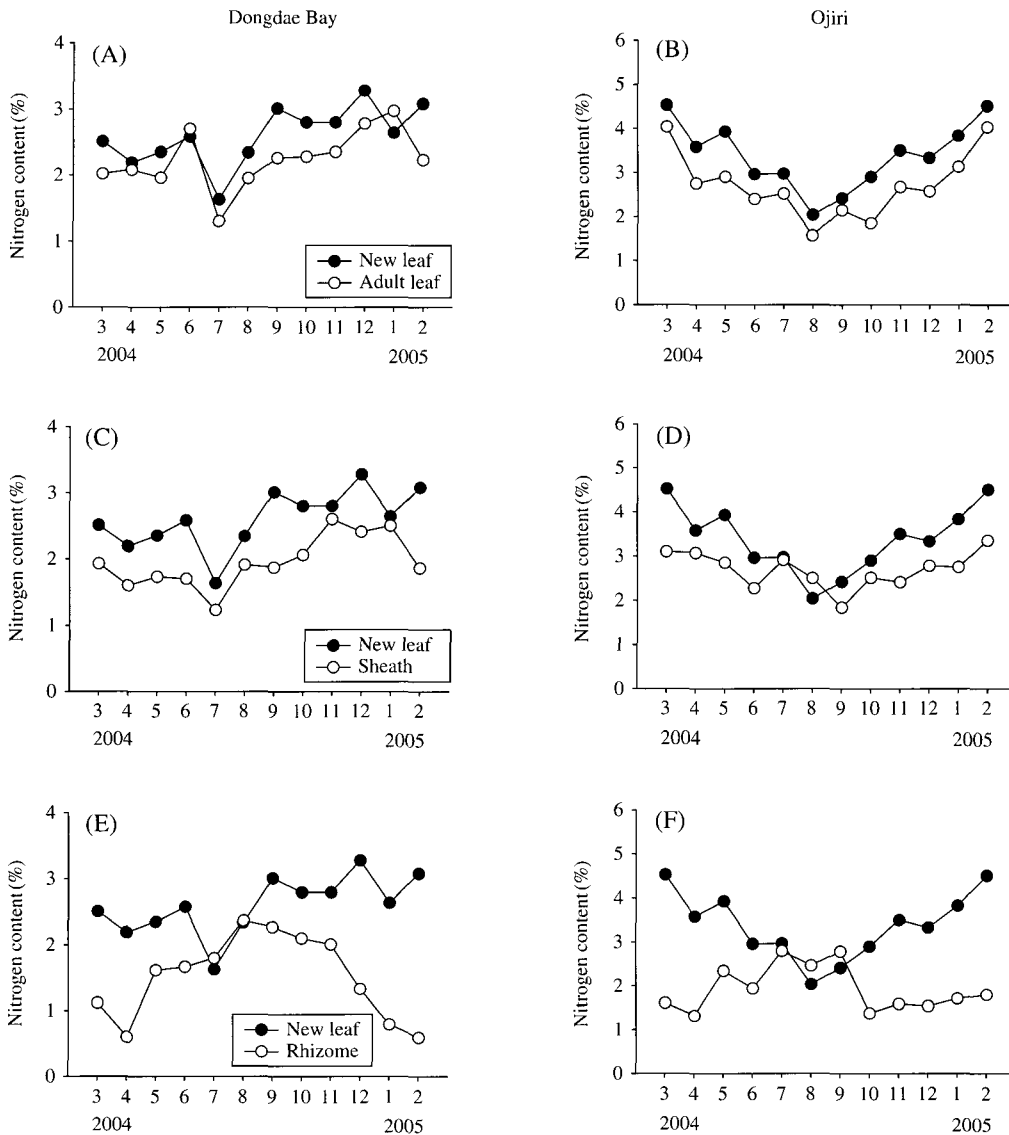


Fig. 4. Temporal variation of Nitrogen content in *Zostera marina* : New leaf, adult leaf (A), New leaf, sheath (B), New leaf, rhizome (C) at the Dongdae Bay and Ojiri from March 2004 to February 2005.

3. 질소함량

거머리말 (*Zostera marina*)의 질소 함유율은 잎뿐만 아니라 엽초, 뿌리-지하경에서도 계절에 따라서 그 특징이 명확하게 나타난다. 동대만에서 어린 잎의 질소함유율은 봄부터 여름에 걸쳐 점점 감소하여 7월경에 1.3%로 최소값을 보이고 있으며 가을과 겨울철에 점점 증가하여 12월경에 3.3%로 최대값을 보인다 (Fig. 4A). 오지리에서는 8월경에 2.0%로 최소치를 보이며 1월경에 4.5%로 최대값을 보인다 (Fig. 4B). 뿐만 아니라 성숙한 잎, 엽초에서 모두 어린 잎의 계절적 변화와 비슷한 경향을 보인다 (Fig. 4C, D). 하지만 뿌리-지하경에서는 반대의 경

향을 나타내고 있다. 동대만에서는 뿌리-지하경의 질소 함유율이 봄과 여름에 걸쳐 증가하여 7월경에 2.4%로 최대값을 보이지만 가을과 겨울에 걸쳐 감소하여 12월경에 0.6%로 최소값을 보인다. 오지리에서는 7월경에 2.8%로 최대값을 보이고 2월경에 1.3%로 최소값을 보인다.

거머리말 (*Zostera marina*)의 질소 함유율은 지상부인 어린 잎, 성숙한 잎, 엽초에서는 계절에 따라 비슷한 경향을 보인다. 봄과 여름에 걸쳐 질소함유율은 감소하고 있지만 가을과 겨울에 걸쳐 증가하고 있다. 그러나 지하부인 뿌리-지하경에서는 봄과 여름에 걸쳐 질소함유율이 증가하고 있고 가을과 겨울에 걸쳐 감소하고 있어

지상부와 반대의 경향을 보이고 있다 (Fig. 4).

고찰

1. 거머리말의 생산성

해초는 전 세계 해양의 연안과 하구에 생육하는 해산 현화 식물로서 (Fourqurean *et al.* 1997), 세계적으로 넓은 해역에 다양한 종이 분포하는데 거머리말 속 (*Zostera*) 중 거머리말 (*Zostera marina*)의 경우 생물학적 특성, 생육환경, 생물량과 생산성에 대해 지속적으로 연구되어지고 있다 (Bostrom *et al.* 2002; Duarte *et al.* 2002). Setchell (1929)은 거머리말에 대해 온도에 따른 생식전략을 구분하였으며, Phillips *et al.* (1983)은 온도, 염분과 조석에 대한 생물 계절학적 특징을 연구하였다.

Fig. 1A에서 서식지에서의 수온은 6월에서 10월까지 동대만은 25~26°C, 오지리는 24~26°C의 범위를 보이고 있고 Fig. 3에서 거머리말 어린 잎의 생산성은 그 최대값이 동대만과 오지리 모두 7월에 나타나고 있다. 동대만에서 수온은 4개월간 1~2°C 차이에 불과하지만 어린 잎의 생산성은 0.45~1.11 mg DW shoot⁻¹ day⁻¹의 범위를 보이고 있고 오지리에서 어린 잎의 생산성은 0.56~0.89 mg DW shoot⁻¹ day⁻¹의 넓은 범위를 보이고 있다. 오지리의 경우 수온은 8월에 최대값을 보이지만 거머리말의 생산성은 7월에 가장 높은 값을 보이고 8월부터 이미 감소하는 경향을 보이고 있고 동대만은 7~10월까지 수온이 1°C 차이에 불과하지만 거머리말의 생산성은 8월부터 큰 폭으로 감소하고 있다. 이는 거머리말의 생산성이 수온 외에도 다른 요인에 크게 의존하고 있다는 것을 의미한다고 할 수 있다. 동대만과 오지리는 조석간만이 강한 지역으로써 만조시에는 서식지가 노출되지 않아 거머리말 (*Zostera marina*) 종이 수온과 광량에 영향을 받지만 간조시에는 서식지가 노출되어 수온보다는 광량에 크게 의존하여 광합성을 한다. 동대만과 오지리는 4월에서 7월에 걸쳐 높은 광량을 보이지만 해초의 생산성이 감소하는 8월부터 광량이 감소하는 경향을 보이고 있다. 즉, 수온의 변화와 더불어 광량의 변화가 거머리말 (*Zostera marina*)의 생산성과 밀접한 관련이 있음이 나타난다.

거머리말 (*Zostera marina*)은 높은 빛에 노출되어 있을 때, 낮은 빛에 노출되었을 때보다 더 높은 생산성과 건중량, 잎의 길이, 개체군의 밀도를 나타낸다 (Abal *et al.* 1994; Duarte and Chiscano 1999). 뿌리-지하경의 생산성이 여름철 증가하고 있는 것은 식물의 광합성량과 크게

관계가 있다. 여름철 수온과 광량의 증가와 더불어 해초 앞에서의 광합성이 활발해지면서 해초 뿌리의 생물량이 증가하게 되는데 (Hemminga *et al.* 1999), 이는 해초가 성장하는 시기에 더 많은 영양염과 용존무기탄소를 흡수하기 위해 흡수 면적을 증가시키기 때문이다. 그러므로 지하경-뿌리의 생물량의 증가는 식물 앞의 광합성 활동과 밀접한 관계가 있기 때문에 (Hemminga *et al.* 1999) 잎의 생산성 증가와 더불어 지하경-뿌리의 생물량의 생산성도 증가하는 것으로 볼 수 있다.

2. 질소 함유율

동대만과 오지리에서 서식하는 거머리말 (*Zostera marina*) 종의 잎과 엽초의 지상부에서의 질소 함유율은 계절에 따라 뚜렷한 경향을 나타내고 있다. 동대만에서 어린 잎의 질소함유율은 봄부터 여름에 걸쳐 점점 감소하여 7월경에 1.3%로 최소값을 보이고 있으며 가을과 겨울철에 점점 증가하여 12월경에 3.3%로 최대값을 보인다 (Fig. 4A). 오지리에서는 8월경에 2.0%로 최소치를 보이며 1월경에 4.5%로 최대값을 보인다 (Fig. 4B). 이는 빠른 성장률과 최대의 생체량을 가지는 여름철에 외부의 영양염 공급보다 해초의 영양염 요구량이 더 크기 때문에 (Pedersen and Borum 1992) 질소와 인의 함량이 여름에 최소치를 보이고 겨울에 최대치를 보이는 것이다 (Harrison and Mann 1975; Pirc 1985; Pirc and Wollenweber 1989; Alcoverro 1995). 이러한 경향은 여러 다른 지역에서도 관찰되어지고 있다.

Tomales Bay (California, USA)에서 서식하는 거머리말 (*Zostera marina*)은 질소함유율이 여름철에 1.1%에서 겨울철에는 3.8%까지 증가한다고 관찰되었고 (Fourqurean *et al.* 1997) 해초의 질소함유율이 0.7~6.3%의 범위를 보이며 계절과 강한 상관관계가 있다고 보고 되어졌다 (Atkinson and Smith 1984; Pedersen and Borum 1992; Abal *et al.* 1994; Enriquez *et al.* 1995).

동대만과 오지리에서 서식하는 거머리말 (*Zostera marina*)의 지상부인 어린 잎, 성숙한 잎, 엽초에서의 질소 함유율은 겨울철보다 여름철에 감소하고 있지만 잎의 생산성은 7월경에 최대치를 이루고 있다. 거머리말 (*Zostera marina*) 종이 질산염 섭취가 적음에도 불구하고 생산성이 높은 것은 성장기에 수층의 영양염이 낮더라도 높은 성장효율을 갖을 뿐만 아니라 (Sand-Jensen 1975; Jacobs 1979; Pedersen 1990) 주변의 다른 해조류보다 성장 효율이 높기 때문이다 (Lee *et al.* 2005). 그러나 여름철 새로 나온 잎의 질소 함유량이 적음에도 불구하고 높은 성장 효율을 유지할 수 있는 것은 거머리말

(*Zostera marina*)의 영양염 보존 능력 때문으로 사료된다. 가장 어린 잎은 성장기에 성숙한 잎으로부터 영양염의 이동 혹은 퇴적물로부터의 영양염 흡수에 의지하며 (Zimmerman *et al.* 1987) 해초는 잎과 뿌리를 통해 해양에서 영양염을 흡수한 다음 성장을 위하여 어린 잎으로 이동시킨다 (Borum *et al.* 1989). Borum *et al.* (1989)는 잎의 영양염 흡수 효율은 잎의 나이와는 무관하며 성숙한 잎의 기능은 성장을 하지는 않지만 흡수한 영양염을 어린 잎에게 공급함으로써 어린 잎의 성장과 어린 잎의 영양염 요구량을 충족시켜주는 역할을 한다고 보고하고 있다. Jensen (1915)에 따르면 해초의 잎의 질산염 함량은 잎의 나이가 증가할수록 감소하며 Patriquin (1972)은 ^{15}N 추적자 실험을 통하여 해초에게 있어서 성숙한 잎에서 어린 잎으로의 영양염 이동은 해초의 중요한 영양염 보존 전략이라 주장하고 있다. 그러므로 동대만과 오지리에서 서식하는 해초의 성숙한 잎에서 어린 잎의 내부적인 영양염 이동이 있기 때문에 어린 잎은 성장에 충분한 영양염을 공급받으므로 외부로부터의 영양염 흡수를 줄여나가게 되고 (Borum *et al.* 1989) 빈영양상태이거나 외부의 방해를 받아도 충분한 성장을 할 수 있는 것이다. 즉, 최대 성장기인 7월경에 거머리말 (*Zostera marina*)의 성숙한 잎에서의 질소 함유율이 동대만에서 평균 2.24%, 오지리에서 평균 2.72%로 동대만에서 평균 2.60%, 오지리에서 평균 3.38%인 어린 잎보다 적고 대부분의 어린 잎에서의 질소 함유율이 성숙한 잎에서 보다 많은 것과 같은 결과라고 할 수 있다 (Fig. 4A). 7월경에 동대만과 오지리에서 서식하는 거머리말 (*Zostera marina*)의 최대 생체량은 1.68 g DW shoot⁻¹이지만 질소 함량은 1.6%로 최소치를 나타낸다. 이는 거머리말 (*Zostera marina*)가 하절기 서식환경에서는 영양염 보존 전략으로 인하여 낮은 영양염 흡수율에도 불구하고 높은 성장 효율로 최적의 성장을 하고 있다는 것을 알 수 있다.

지하부인 뿌리-지하경에서의 질소 함유율은 지상부인 잎, 엽초에서의 질소 함유율과 반대의 경향을 보이며 여름철 지상부의 질소 함유율은 감소하지만 지하부인 뿌리-지하경에서의 질소 함유율은 증가하고 있다 (Fig. 4E). 해초가 최대 생산성을 보이는 여름철에 잎에서의 질소 함유율이 적음에도 불구하고 성장률이 높은 것과 뿌리-지하경에서의 높은 질소 함유율을 고려할 때 생산성이 높은 시기에 있어서 해초의 영양염의 요구량은 퇴적물의 공극수로부터 공급될 수 있다고 여겨진다. 이것은 해초의 영양염 흡수의 중요한 요소로서 뿌리-지하경이 크게 기여할 수 있다는 것을 의미한다 (Zimmerman *et al.* 1987; Pedersen and Borum 1993; Risgaard-Petersen *et al.* 1998). Hansen *et al.* (2000)은 하절기에 해초가 빠른 성장

으로 인해 영양염이 제한되어서 퇴적물내 공극수중의 영양염 농도가 중요하다고 보고하였다. 일반적으로 공극수가 해양보다 영양염 농도가 10배 이상 높은 것을 고려할 때 뿌리-지하경이 영양염 흡수에 많은 기여를 할 것으로 보이나 퇴적물에 ^{15}N 추적자 실험을 해본 결과 해초가 영양염을 흡수함에 있어서 뿌리-지하경이 흡수하는 비율이 전체 섭취율의 50%가 채 안된다는 결과가 나왔고 또한 배양실험결과 뿌리-지하경에서의 흡수율이 24~60% 정도 되는 것으로 나타났다 (Iizumi and Hattori 1982). 이는 퇴적물에서 공극수 영양염 농도가 높고 수층에서의 영양염 농도가 낮을지라도 해초의 잎과 뿌리-지하경에서의 영양염 흡수가 균등하게 이루어진다고 볼 수 있다 (Iizumi and Hattori 1982; Short and McRoy 1984; Zimmerman *et al.* 1987). 즉, 성장기에 해초의 잎에서의 부족한 영양염을 뿌리-지하경에서 보다 많이 흡수함으로써 해초의 생육에 많은 도움을 주는 것으로 여겨진다.

결 론

동대만과 오지리에 서식하는 거머리말 (*Zostera marina*)의 생산성의 변화는 계절에 따라 큰 변동을 보이고 7월경에 최대의 생산성을 나타내며, 서식처에서의 수온, 광량 등과 같은 복합적인 환경 인자의 변동에 의해서 거머리말의 생산성이 결정된다. 해초의 잎의 질소 함유율은 내부적인 질소 이용율을 반영하며, 여름철 해초의 잎의 질소 함유율은 겨울철보다 낮으나 뿌리-지하경에서의 함유율은 겨울보다는 여름이 더 높다. 그러므로 여름철 질산염 섭취가 적음에도 불구하고 생산성이 높은 것은 거머리말 (*Zostera marina*)의 영양염 이동 능력 때문으로 사료된다. 즉, 성장기에 해초의 잎에서의 부족한 영양염을 뿌리-지하경에서 보다 많이 흡수함으로써 해초의 생육에 많은 도움을 주는 것으로 여겨진다.

또한, 동대만과 오지리는 한국의 남쪽 지방과 서쪽 지방에 위치한 연안지역으로써 수온, 광량, 염분, DIN pool 등의 차이가 있다. 그러므로 비록 같은 거머리말 (*Zostera marina*) 종이 서식을 한다 할지라도 서식처의 환경 조건이 다르기 때문에 부위별 조직내의 질소함유율과 계절에 따른 질소함유율의 증가하고 감소하는 경향이 서로 차이를 보이고 있다.

사 사

논문이 나오기까지 많은 지도와 도움을 주신 한양대

학교 나정열 교수님, 최청일 교수님, 국립수산과학원, 남해수산연구소 이상룡 박사님께 깊은 감사를 드리며, 실험에 참가한 한양대학교 대학원생들에게 또한 감사를 드립니다. 이 논문은 한양대학교 과학기술분야 특별 교비장학생 지원과 한국과학재단 특정기초연구(R01-2003-000-11658-0)지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Abel EG, NR Longeagan, P Bowen, CJ Perry, JW Udy and WC Dennison. 1994. Physiological and morphological responses of the seagrass *Zostera capricorni* Aschers to light intensity. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 178:113-129.
- Aioi K, H Mukai, I Koike, M Ohtsu, A Hattori. 1981. Growth and organic production of eel-grass (*Zostera marina* L.) in temperate waters of the Pacific coast of Japan. II. Growth analysis in winter. *Aquat. Bot.* 10:175-182.
- Alcoverro T. 1995. Production ecology of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Ph.D. Thesis. University of Barcelona, Barcelona
- Atkinson MJ and SV Smith. 1984. C : N : P ratios of benthic marine plants. *Limnol. Oceanogr.* 28:568-574.
- Boon PI. 1986. Nitrogen pools in seagrass beds of *Cymodocea serrulata* and *Zostera capricorni* of Moreton Bay Australia. *Aquat. Bot.* 25:1-19.
- Borum J, L Murray and MW Kemp. 1989. Aspects of nitrogen acquisition and conservation in eelgrass plants. *Aquat. Bot.* 35:289-300.
- Bostrom C, E Bonsdorff, P Kangas and A Norkko. 2002. Long-term changes of a brackish-water eelgrass (*Zostera marina* L.) community Lndicae Effects of Coastal Eutrophication. *Estuarine, Coast. Shelf Sci.* 55:795-804.
- Dennison WC, RC Aller and RS Alberte. 1987. Sediment ammonium availability and eelgrass (*Zostera marina*) growth. *Mar. Biol.* 94:469-477.
- Duarte CM and CL Chiscano. 1999. Seagrass biomass and production : a reassessment. *Aquat. Bot.* 65:159-174.
- Duarte CM, R Martinez and C Barron. 2002. Biomass, production and rhizome growth near the northern limit of seagrass (*Zostera marina*) distribution. *Aquat. Bot.* 72:183-189.
- Enriquez S, CM Duarte and K Sand-Jensen. 1995. Patterns in the photosynthetic metabolism of Mediterranean macrophytes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 119:243-252.
- Fourqurean JW, TO Moore, B Fry and JT Hollibaugh. 1997. Spatial and temporal variation in C : N : P ratios, $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of eelgrass *Zostera marina* as indicators of ecosystem processes, Tomales Bay, California, USA. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 157:147-157.
- Fourqurean JW, MJ Durako, MO Hall, LN Hefty. 1999. Seagrass distribution in south Florida: A multi-agency coordinated monitoring program. pp. 48. In: Porter, J.W. Porter, K.G. [Eds.], Linkages Between Ecosystems in the South Florida Hydroscape: The River of Grass Continues. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Hansen JW, AU Pedersen, J Berntsen, IS Ronbog, LS Hansen and BA Lomstein. 2000. Photosynthesis, respiration, and nitrogen uptake by different compartments of a *Zostera marina* community. *Aquat. Bot.* 66:281-295.
- Harrison PG and KH Mann. 1975. Chemical changes during the seasonal cycle of growth and decay in eelgrass (*Zostera marina*) on the Atlantic coast of Canada. *J Fish Res Bd Can.* 32:615-621.
- Hemminga MA, N Marba and J Stapel. 1999. Leaf nutrient resorption, leaf lifespan and the retention of nutrients in seagrass systems. *Aquat. Bot.* 65:141-158.
- Iizumi H and A Hattori. 1982. Growth and organic production of eelgrass (*Zostera marina* L.) in temperate waters of the Pacific coast of Japan. III: The kinetics of nitrogen uptake. *Aquat. Bot.* 12:245-256.
- Jacobs RPWM. 1979. Distribution and aspects of the production and biomass of eelgrass, *Zostera marina* L., at Roscoff, France. *Aquat. Bot.* 7:151-172.
- Jensen PB. 1915. Studies concerning the organic matter of the sea bottom. *Rep. Dan. Biol. Stn.* 22:1-39.
- McRoy CP. 1970. Standing stock and related features of eelgrass population in Alaska. *J. Fish. Res. Board Can.* 27:1811-1821.
- Patriquin DG. 1972. The origin of nitrogen and phosphorus for growth of the marine angiosperm *Thalassia testudinum*. *Mar. Biol.* 15:35-46.
- Pedersen MF. 1990. Nitrogen dynamics of eelgrass (*Zostera marina* L.). M.S. thesis, Freshwater-Biological Laboratory, University of Copenhagen.
- Pedersen MF and J Borum. 1992. Nitrogen dynamics of eelgrass *Zostera marina* during a late summer period of high growth and low nutrient availability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 80:65-73.
- Pellikaan GC and PH Nienhuis. 1988. Nutrient uptake and release during growth and decomposition of eelgrass, *Zostera marina* L., and its effects on the nutrient dynamics of Lake Grevelingen. *Aquat. Bot.* 30:189-214.
- Phillips RC, C McMillan and KW Bridges. 1983. Phenology of eelgrass, *Zostera marina* L. along latitudinal gradients in North America. *Aquat. Bot.* 15:133-144.
- Pirc H. 1985. Growth dynamics in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. 1. Sansonal changes of soluble carbohydrates, starch, free aminoacids, nitrogen and organic anions in different parts of the plant. *P.Z.N.I. Mar. Ecol.* 6:141-165.

- Pirc H and B Wollenweber. 1989. Seasonal changes in nitrogen, free amino acids, and C/N ratio in Mediterranean seagrasses. *PSZN I. Mar. Ecol.* 9:167-179.
- Risgaard-Petersen N, T Dalsgaard, S Rysgaard, PB Christensen, J Borum, K McGlathery and LP Nielsen. 1998. Nitrogen balance of a temperate eelgrass *Zostera marina* bed. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 174:281-291.
- Sand-Jensen K. 1975. Biomass, net production and growth dynamics in an eelgrass (*Zostera marina* L.) population in Vellerup Big, Denmark. *Ophelia* 14:185-201.
- Setchell WA. 1929. Morphological and phenological notes on *Zostera marina* L. *Univ. Calif. Publ. Bot.* 14:389-452.
- Short FT and CP McRoy. 1984. Nitrogen uptake by leaves and roots of the seagrass *Zostera marina* L. *Bot. Mar.* 27:547-555.
- Stapel J, TL Aarts, BHM van Duynhoven, JD de Groot, PHW van edn Hoogen and MA Hemminga. 1996. Nutrient uptake by leaves and roots of the seagrass *Thalassia hemprichii* in the Spermonde Archipelago Indonesia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 134:195-206.
- Stapel J and MA Hemminga. 1997. Nutrient resorption from seagrass leaves. *Mar. Biol.* 128:197-206.
- Strickland JDH and TR Parsons. 1968. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish Res. Board Can.* 167.
- Terrados J, J Borum, CM Duarte, MD Fortes, L Kamp-Nielsen, NS R Agawin and WJ Kenworthy. 1999. Nutrient and mass allocation of South-east Asian seagrasses. *Aquat. Bot.* 63:203-217.
- Zieman JC and RG Wetzel. 1980. Productivity in seagrasses: methods and rates. In: Phillips RC, McRoy CP (eds) *Handbook of seagrass biology : an ecosystem perspective*. Garland and STMP Press, New York, 87-116.
- Zimmerman RC, RD Smith and RS Alberte. 1987. Is growth of eelgrass nitrogen limited? A numerical simulation of the effects if light and nitrogen on the growth dynamics of *Zostera marina*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 41:167-176.

Manuscript Received: January 23, 2006

Revision Accepted: May 1, 2006

Responsible Editorial Member: In Young Chung
(NIER)