

경기도 광릉시험림의 구주낙엽송, 스트로브잣나무, 서양측백 조림지 토양내 질소 무기화 비교

손요환 · 김정태* · 이상은* · 이임균

고려대학교 산림자원학과, 안성산업대학교 농학과*

Differences of Nitrogen Mineralization in *Larix decidua*, *Pinus strobus* and *Thuja occidentalis* Plantations of the Kwangneung Experimental Forest, Kyonggi Province

Son, Yowhan, Jung-Tae Kim*, Sang-Eun Lee* and Im-Kyun Lee

Department of Forest Resources, Korea University

Department of Agronomy, Ansung University*

ABSTRACT

Species effects on soil nitrogen mineralization and nitrification in the top 15 cm of soil were evaluated using the buried-bag incubation method in three coniferous plantations in the Kwangneung Experimental Forest, Kyonggi Province. The plantations were established on a similar soil in 1927, and included *Larix decidua*, *Pinus strobus*, and *Thuja occidentalis*. Ten soil samples within each plantation were taken during an entire growing season (May 2~Oct. 30, 1994). Mean daily nitrogen mineralization rates during 45-day *in situ* soil incubations were significantly different among species and incubation dates. Growing season nitrogen mineralization also differed significantly among species and ranged from 47.7 mg N/kg soil for *Larix decidua* to 21.5 mg N/kg soil for *Thuja occidentalis*. Growing season nitrification differed significantly among species and comprised from 93% to 100% of the total growing season nitrogen mineralized. We speculated that organic matter contents and quality might control nitrogen mineralization and nitrification in these soils.

Key words: *Larix decidua*, N mineralization, Nitrification, *Pinus strobus*, Species effects, *Thuja occidentalis*

서 론

대부분의 온대지방 식물생태계에서 질소가 종의 구성과 분포 및 식물의 생장을 제한하는 가장 중요한 양분요소로 알려져 있다. 특히 삼림에서 질소부족현상은 흔히 관찰되고 있으며, 질소시비를 통한 임목생육증가는 많은 연구결과를 통해 확인된 바 있다 (Binkley 1986). 토양중의 질

소는 유기태 질소가 무기태 질소(NH_4^+ , NO_3^-)로 바뀌는 무기화과정을 통해 임목에 공급되므로 질소양분의 무기화정도가 토양의 질소양분 공급능력을 결정한다. 여러가지 방법에 의하여 측정되고 있는 질소의 무기화정도는 토양의 온도와 습도와 같은 환경인자와 유기물 공급 등에 의해 결정되는데 (Binkley and Hart 1989), 특히 식생의 종류에 따라 지상부와 지하부 유기물의 종류와 양, 그리고 유기물의 유입시기가 달라지므로 식생이 질소 무기화에 큰 영향을 미친다. 그러나 여러가지 생물적·무생물적 인자가 복합적으로 질소 무기화를 결정하므로 식생의 효과만을 분리하여 그 영향 정도나 기작을 밝히는 일은 쉽지 않다. 따라서 식생이 질소 무기화에 미치는 영향을 연구할 때 임목생육환경이 가능한 한 비슷한 입지에 각기 다른 식생을 동일한 시기에 식재하고 그 효과를 연구하는 이른바 common garden 방법이 일반적으로 사용되고 있다.

질소 무기화 측정 연구와 관련하여 국내에서 이와 Myrold (1990), 이 등 (1985)이 각각 ion exchange resin (IER) bag incubation과 laboratory incubation법을 소개한 바 있고, 특히 이 등 (1985)은 각기 다른 침·활엽수 유기물 (낙엽, 녹엽)의 종류에 따라 질소 무기화에 차이가 있음을 보고하기도 하였다. 또한 Kwak과 Kim (1994)은 IER법으로 참나무류 임지에서 5 cm깊이 토양내 무기태 질소량의 계절적 변화를 측정하였다. 그러나 우리나라 임지에서의 질소 무기화에 대한 연구는 매우 미흡한 상태이고 더우기 수종이 질소 무기화에 미치는 영향에 대한 연구는 시도된 바가 거의 없으므로 이에 대한 연구가 필요한 것으로 생각된다. 본 연구의 목적은 광릉시험림내 비슷한 입지여건에 1927년 인공조림하여 성립된 인접한 구주낙엽송, 스트로브잣나무, 서양측백 3개 임분에서 임목생장기인 5월부터 10월까지 질소 무기화를 측정하여, 1) 3종의 침엽수종이 토양내 질소 무기화에 미치는 영향과, 2) 이들 임분에서 생장기간중 무기태 질소의 동태를 파악하는 데 있다.

재료 및 방법

연구대상지 개황

본 연구는 경기도 포천군 소흘면 직동리에 위치하고 있는 임업연구원 중부시험장의 광릉시험림내 전시험에서 행해졌다 (Son *et al.* 1994). 전시험은 다양한 외래 수종을 식재한 지역으로 본 연구를 위하여 전시험내 거의 유사한 입지에 1927년 인공조림한 (1994년 현재 67년생) 구주낙엽송 (*Larix decidua* Mill.), 스트로브잣나무 (*Pinus strobus* L.), 서양측백 (*Thuja occidentalis* L.) 임분을 연구대상임분으로 선정하였다. 연구대상 임분간의 거리는 최대 50 m 이하로 인접하여 있으며, 전시험의 자세한 지황과 임황에 대한 자료는 임업연구원 (1994)에 나타나 있다. 각 임분의 하층식생은 구주낙엽송 임분에서 국수나무 (*Stephanandra incisa* Zabel), 두릅나무 (*Aralia elata* Seem.), 신갈나무 (*Quercus mongolica* Fisch.), 층층나무 (*Cornus controversa* Hemsl.), 병꽃나무 (*Weigela subsessilis* L.H. Bailey) 등이, 스트로브잣나무 임분에서는 국수나무 (*Stephanandra incisa* Zabel), 두릅나무 (*Aralia elata* Seem.), 노린재나무 (*Symplocos chinensis* for. *pilosa* Ohwi), 개울나무 (*Rhus trichocarpha* Miq.), 산초나무 (*Zanthoxylum schinifolium* Sieb. et Zucc.) 등이 주로 분포하고 있었다. 서양측백 임분은 임관이 완전히 울폐되어 있었고 하층식생이 존재하지 않았다. 이 지역의 연평균 강수량은 1,365 mm이고, 1월과 7월의 평균기온은 각각 -5.0°C 와 24.6°C 이다 (임업연구원 1994). 연구대상 3개 조림지내 임의의 10개소에서 깊이 15 cm까지의 토양을 채취하고 이를 분석하여 (농업기술연구소 1988) 주요 토양성질을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical characteristics of soil (15 cm) for *Larix decidua*, *Pinus strobus*, and *Thuja occidentalis* plantations in the Kwangneung Experimental Forest, Kyonggi Province. Values in parenthesis are one standard error of the mean. Values within the same row followed by the same letter are not significantly different ($p > 0.05$)

	<i>Larix decidua</i>	<i>Pinus strobus</i>	<i>Thuja occidentalis</i>
pH (1:5)	4.7(<0.1)b	5.0(<0.1)a	4.8(<0.1)ab
Organic matter (%)	4.59(0.19)a	4.52(0.53)a	5.96(0.59)a
Total N (%)	0.25(0.01)b	0.17(0.01)c	0.32(0.02)a
Available P (ppm)	24.1(1.0)a	16.7(1.7)b	18.3(1.5)b
Exchangeable (me/100g)			
K	0.3(<0.1)a	0.2(<0.1)a	0.2(<0.1)a
Ca	2.1(0.2)b	3.2(0.2)b	3.6(0.6)a
Mg	0.4(<0.1)b	0.6(<0.1)b	0.7(0.1)a
Na	0.1(<0.1)a	0.1(<0.1)a	0.1(<0.1)a

질소 무기화 측정 및 자료분석

토양내 질소 무기화를 측정하기 위해 여러가지 방법이 고안되어 사용되고 있으며, 각 방법마다 장·단점이 있으나 모든 방법은 질소 무기화의 지수를 제시하는 데 의미가 있다 (Binkley and Hart 1989, Binkley and Vitousek 1989). 본 연구에서는 비닐주머니매설 배양법 (buried-bag incubation)을 사용하였는데 (Eno 1960), 이 방법은 토양미세환경 특히 임지온도의 변화를 민감하게 반영할 뿐 아니라 비교적 손쉽게 질소 무기화를 측정할 수 있다는 장점이 있어 삼림생태계연구에서 널리 사용되고 있다 (Gower and Son 1992, Lennon *et al.* 1985, Pastor *et al.* 1987).

질소 무기화는 임목생장기인 1994년 5월부터 10월까지 6개월간 매 45일 간격으로 측정하였다. 토양시료 배양시점은 5월 2일, 6월 16일, 7월 30일, 그리고 9월 14일이었다. 매 질소 무기화 측정 시기에 수종별로 임지의 10개소에서 직경 5 cm 깊이 20 cm의 토양채취기를 이용하여 낙엽층을 포함하여 15 cm 깊이까지의 토양시료를 채취하였다. 매 개소에서 2개씩의 토양시료를 채취하여 1개는 토양층의 원형을 유지하도록 주의하여 2장의 10 μ m 두께 polyethylene bag에 넣어 (Binkley and Hart 1989, Matson *et al.* 1987) 입구를 봉하여 원래의 구멍에 넣고 주위의 유기물로 표면을 덮었다. 또 다른 1개의 시료는 토양습도와 배양초기 토양내 NH_4^+ 와 NO_3^- 의 농도를 측정하기 위해 실험실로 운반하였다. 45일 후 임지에서 배양한 시료를 회수하여 아래 기술한 방법에 의해 토양내 NH_4^+ 와 NO_3^- 의 농도를 측정하였다. 이때 원래의 구멍에서 빠져 나온 시료와 봉지가 파손된 시료는 제외하였다.

임지에서 채취한 모든 시료는 cooler에 넣어 실험실로 운반하여 4°C의 냉장고에 보관한 뒤 24 시간 이내에 처리하였다. 토양시료내 유기물과 광물토양을 고루 섞고 직경이 0.5 cm 이상 되는 뿌리나 자갈 등을 골라낸 뒤 2개의 15 g 시료를 만들어 1개는 무게를 측정하고 105°C의 건조기에서 건량이 일정하여질 때까지 건조시켜 다시 건량을 측정하여 함수율을 결정하였다. 다른 15 g의 시료는 2M의 KCl용액 100 ml로 교반기에서 1시간동안 교반한 후 23시간이 경과한 다음 추출액을 Whatman No. 42 여과지로 여과시켜 (Garten and Van Miegroet 1994) 비색법과 자동이온분석기로 NH_4^+ 와 NO_3^- 의 농도를 각각 측정하였다 (농업기술연구소 1988).

건량으로 환산한 토양시료내 NH_4^+ 와 NO_3^- 의 농도로 다음의 계산식에 따라 질소 무기화량을 계산하였고, 임목생장기간 전체의 질소 무기화량은 4차례의 배양시기별 질소 무기화량을 합하

여 구하였다 (Nadelhoffer *et al.* 1983, 1984).

$$N_{\text{min}} = \Delta\text{NH}_4^+ + \Delta\text{NO}_3^-$$

$$\Delta\text{NH}_4^+ = (\text{NH}_4^+)_{45} - (\text{NH}_4^+)_{0}$$

$$\Delta\text{NO}_3^- = (\text{NO}_3^-)_{45} - (\text{NO}_3^-)_{0}$$

N_{min} : 45일간의 질소무기화량
 ΔNH_4^+ : 45일간의 암모니아화량
 ΔNO_3^- : 45일간의 질산화량
 $(\text{NH}_4^+)_{45}$: 45일간의 배양 후 암모니아태 질소량
 $(\text{NH}_4^+)_{0}$: 배양초기 암모니아태 질소량
 $(\text{NO}_3^-)_{45}$: 45일간의 배양 후 질산태 질소량
 $(\text{NO}_3^-)_{0}$: 배양초기 질산태 질소량

배양초기 토양 시료내 함수율, NH_4^+ 와 NO_3^- 의 농도, 질소 무기화량, 질산화량 등의 수종별, 배양시기별 차이는 general linear model을 이용하여 분석하였으며, 수종별, 배양시기별 차이가 통계적으로 유의할 경우 least significance difference test로 평균값을 분리하여 비교하였다. 모든 통계분석은 SAS를 이용하여 실행하였다 (SAS 1988).

결과 및 고찰

임목 생장기간중의 배양시기별 시료토양내 함수율, NH_4^+ 와 NO_3^- 의 농도 변화는 Fig. 1에 나타나 있다. 배양초기 시료토양내 함수율은 수종별, 배양시기별로 통계적으로 유의한 차이가 있었다 ($p < 0.001$). 토양의 함수율은 5월의 경우 구주낙엽송이 29.7%, 9월의 경우 서양측백이 43.4%로 가장 높았으며, 6월과 7월 시료에서는 수종간의 차이가 없었다. 동일한 토양에 각기 다른 5개 침·활엽수 수종을 식재하고 28년이 경과한 뒤 측정된 토양내 함수율에서 수종간의 차이가 뚜렷하지 않은 연구결과 (Gower and Son 1992)가 있기는 하나, 본 연구 대상지는 식재 후 67년이 경과한 곳으로 수종에 따라 조립지별 미세환경의 차이가 생겨 토양함수율에 영향을 미치고 있는 것으로 보인다. 수종내 토양시료의 배양시기별 함수율 변화에서는 모든 수종에서 9월 시료의 함수율이 가장 높았고, 6, 7월 시료간에는 차이가 없었다. 이는 연구가 실행된 1994년의 경우 6-8월 까지 3개월 동안은 예년에 비해 매우 건조하였기 때문에 수종의 영향이 5월과 9월에만 나타난 것으로 보인다.

배양초기 토양시료내 NH_4^+ 와 NO_3^- 의 농도는 수종별, 배양시기별로 차이가 있었고 ($p < 0.05$), NH_4^+ 와 NO_3^- 의 평균농도는 각각 구주낙엽송 4.0 mg N/kg soil, 5.3 mg N/kg soil, 스트로브잣나무 4.2 mg N/kg soil, 3.9 mg N/kg soil, 서양측백 5.1 mg N/kg soil, 4.8 mg N/kg soil 등이었다. 이러한 배양초기 토양시료내 NH_4^+ 와 NO_3^- 의 농도는 본 연구대상임지와 비슷한 입지여건하에서 측정된 수치가 없기 때문에 다른 연구결과들과 비교하기가 매우 어렵다. 다른 지역에서 측정된 수치로서 충청남도 공주의 상수리나무림(12.6 mg/kg의 NH_4^+ 와 6.5 mg/kg의 NO_3^-)과 리기다소나무림(5.3 mg/kg의 NH_4^+ 와 5.1 mg/kg의 NO_3^-)이나 (Mun 1991), 미국 Wisconsin 주의 구주낙엽송(5.8 mg/kg의 NH_4^+ , 7.7 mg/kg의 NO_3^-)과 스트로브

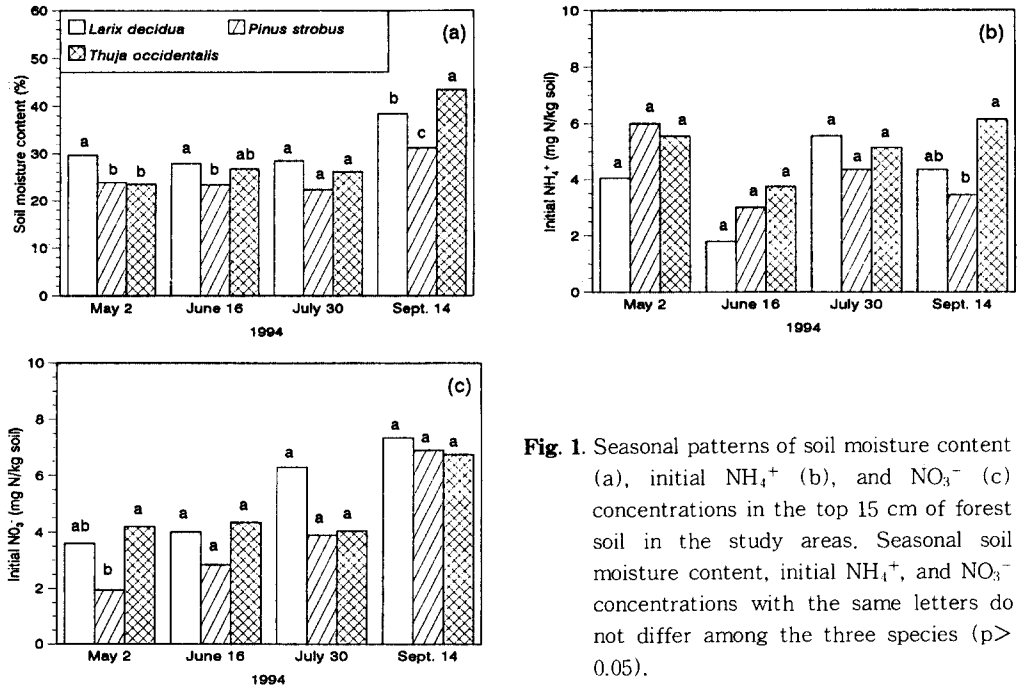


Fig. 1. Seasonal patterns of soil moisture content (a), initial NH₄⁺ (b), and NO₃⁻ (c) concentrations in the top 15 cm of forest soil in the study areas. Seasonal soil moisture content, initial NH₄⁺, and NO₃⁻ concentrations with the same letters do not differ among the three species (*p* > 0.05).

잣나무 (6.7 mg /kg의 NH₄⁺, 5.4 mg /kg의 NO₃⁻) 임지 등 (Gower and Son 1992)에 비교하면 비슷하다. 그러나 Michigan주의 레지노사소나무림 (*Pinus resinosa* Ait.) 하에서는 NH₄⁺가 1.8 mg N/kg soil이고 NO₃⁻는 거의 검출되지 않은 결과 (Kim 1994)나, Tennessee주의 침엽수 (소나무류)와 활엽수 (참나무류, 사시나무류) 임분의 무기태질소 (NH₄⁺ + NO₃⁻)의 농도가 0.6~1.0 mg /kg soil인 것 등과 비교하면 높은 편이다 (Garten and Van Miegroet 1994). 배양 초기 토양시료내 NH₄⁺와 NO₃⁻농도가 연구결과마다 차이가 큰 것은 연구대상지의 입지환경조건이나 식생상태의 차이에 기인하는 것으로 보인다. 한편 토양내 NH₄⁺과 NO₃⁻는 임목뿌리에 의해 흡수되거나 미생물에 의해 부동화되고 또는 용탈될 수 있다 (Binkley 1986). 그러나 본 연구에서 토양시료의 배양이 polyethylene bag 안에서 이루어졌기 때문에 무기화과정을 거친 무기태 질소양분이 임목을 포함한 식물체에 의해 흡수되었거나 용탈에 의한 손실되었을 가능성은 없고 미생물에 의해 부동화되었을 가능성은 있는 것으로 보인다.

질소 무기화율은 수종별, 배양시기별로 차이가 있었으나 (*p* < 0.001), 수종과 배양시간의 상호작용에 의한 영향은 없었다 (*p* > 0.05). 질소 무기화는 임목생장기간 중 수종내에서도 배양시기별로 차이가 있었으며, 일반적으로 봄철부터 증가하기 시작하여 (5월과 6월간에는 통계적으로 유의한 차이는 없었다 (*p* > 0.05)) 7~8월중에 최고치에 도달한 후 9월부터 점차 감소하는 경향을 보이고 있다 (Fig. 2). 본 연구에서 질소 무기화는 5월부터 10월까지 6개월동안만 측정되었기 때문에 나머지 기간중의 질소 무기화율 변화에 대하여는 알 수 없었으나, 측정 기간내 질소 무기화율의 계절적 변동은 다른 연구결과들과 유사하게 나타나고 있다 (Gosz and White 1986, Gower and Son 1992, Nadelhoffer *et al.* 1983, 1984, Pastor *et al.* 1984). 또한 Kwak과 Kim (1994)이 서울지역의 신갈나무와 상수리나무림에서 측정한 무기태 질소의 계절적 변화도 이와 유사하다. 질소 무기화의 계절적 변동상태가 배양초기 토양시료내 함수를 변화와 일치하는 경우

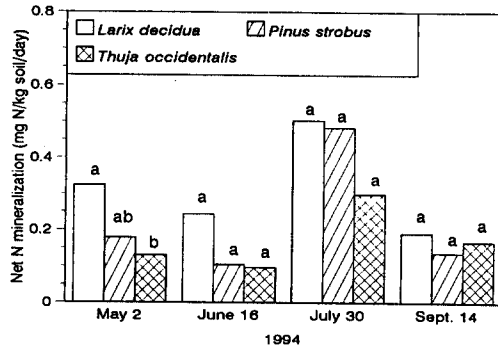


Fig. 2. Seasonal patterns of net N mineralization in the study areas. Seasonal net N mineralization with the same letters do not differ among the three species ($p > 0.05$).

의 토양시료 배양시 구주낙엽송과 스트로브잣나무의 질소 무기화율이 서양측백보다 높은 것을 제외하고는 다른 배양시기에서의 수종간 차이는 뚜렷하지 않았다 (Fig. 3). 이들 두 수종의 질소 무기화율이 다른 침엽수나 일부 활엽수보다도 높다는 다른 연구결과가 있으며 (Gower and Son 1992), 특히 구주낙엽송을 포함한 *Larix*속의 수종들은 낙엽내 리그닌 함량이 낮아 쉽게 분해되므로 질소 무기화율이 높다는 보고도 있다 (Gower *et al.* 1989).

토양시료 배양시기별 암모니아화와 질산화 변화상태는 Fig. 3에 나타나 있다. 연구대상 3개 수종 모두에서 암모니아화는 적게 일어나고 일부 배양시기에서는 음의 값을 나타내기도 하며

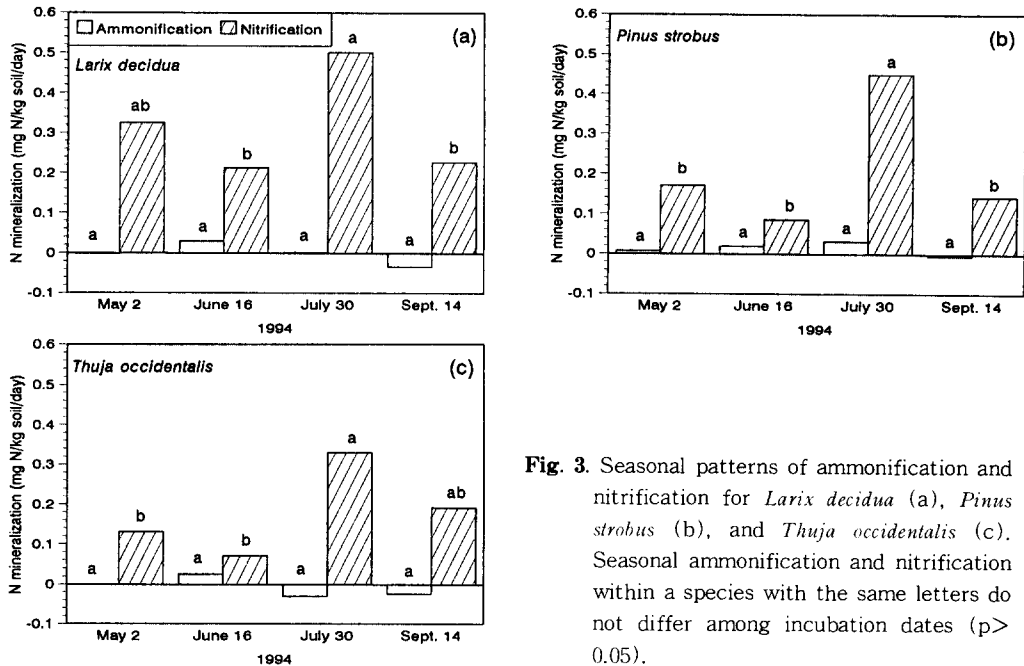


Fig. 3. Seasonal patterns of ammonification and nitrification for *Larix decidua* (a), *Pinus strobus* (b), and *Thuja occidentalis* (c). Seasonal ammonification and nitrification within a species with the same letters do not differ among incubation dates ($p > 0.05$).

도 있으나 (Gower and Son 1992, Mazzarino *et al.* 1991), 본 연구에서는 이러한 경향이 나타나지 않았고 오히려 토양온도가 질소 무기화율의 계절적 변화와 일치하고 있는 것으로 보인다. 즉 동일한 임지에서 1994년 5월부터 10월까지 3주간격으로 지표로부터 15 cm 깊이에서 측정된 토양온도는 봄부터는 계속 증가하여 7월말경 최고치에 도달하고 이후 점차 감소하는 경향을 보여 질소 무기화율의 계절적 변화와 비슷함을 볼 수 있었다 (Son *et al.* 1994, Son 1994 unpublished data).

토양시료 배양시기별 3개 수종의 평균 질소 무기화율은 5월 $0.21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 6월 $0.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 7월 $0.43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 그리고 9월 $0.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 등이었다. 5월

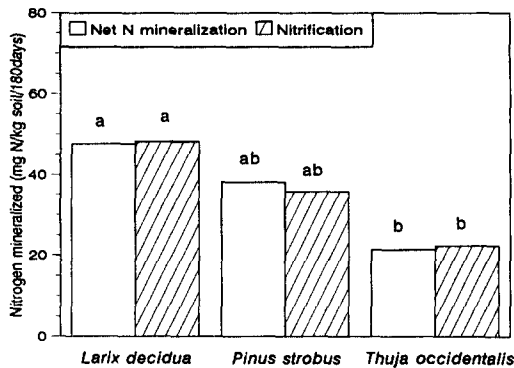


Fig. 4. Growing season net N mineralization and nitrification in the study areas. Growing season net N mineralization or nitrification with the same letters do not differ among the three species ($p > 0.05$).

배양시기에 따른 변화는 없었다 ($p > 0.05$). 반면 질산화작용이 활발하고 계절적으로도 크게 변화하는데 이러한 현상은 Nadelhoffer *et al.* (1984)에 의해 여러 종의 침·활엽수림에서도 관찰된 바 있다. 암모니아화의 값이 음인 경우 실험의 오차 때문일 수도 있으나, 오히려 토양 미생물이 유기물을 분해할 때 질소가 생체내에 부동화되기 때문일 가능성이 더욱 높으며 (Nadelhoffer *et al.* 1984), 이러한 경우 분해 중인 유기물내 리그닌과 탄닌의 함량이 부동화 정도를 결정하는 것으로 알려지고 있다 (Gallardo and Merino 1992). 일반적으로 NO_3^- 는 강우에 의해 쉽게 용탈되는데 본 연구 결과 나타난 7월의 높은 질산화는 여름철(6~8월) 강우가 집중되는 연구대상지에서 질소가

용탈에 의해 손실될 수 있음을 암시하고 있다 (Nadelhoffer *et al.* 1984).

토양시료 배양기간 전체의 질소 무기화량과 질산화량은 수종에 따라 통계적으로 유의한 차이가 있었다 ($p < 0.001$). 180일의 배양기간 동안 낙엽층과 무기광물토양 15 cm 깊이에서 무기화된 질소의 양은 구주낙엽층이 가장 높아서 47.7 mg N/kg soil, 다음은 스트로브잣나무 38.1 mg N/kg soil, 그리고 서양측백은 가장 낮아 21.5 mg N/kg soil 등이었다 (Fig. 4). 비슷한 토양에서 식생의 종류에 따른 질소 무기화의 차이는 초본류 (Wedin and Tilman 1990) 또는 다른 목본류 (Boettcher and Kalisz 1990, Gower and Son 1992, Turner *et al.* 1993)의 연구에서도 밝혀진 바 있다. 기존의 연구결과들에서 질소 무기화량은 입지여건과 수종, 또는 배양방법 (Binkley *et al.* 1992, Hart and Firestone 1989)에 따라 측정치의 범위가 매우 넓게 나타나기 때문에 (참고: Binkley and Hart 1989, 3-380 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$; Garten and Van Miegroet 1994, 2-250 $\text{mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot 42\text{days}^{-1}$) 본 연구결과의 임목생장기간 중 질소 무기화량을 다른 연구결과들과 직접적으로 비교하는 것은 어렵다. 그러나 본 연구에서 질소 무기화를 측정하지 않은 가을부터 이듬해 봄까지의 무기화되는 질소량을 감안하면 (일반적으로 이 기간중의 질소 무기화는 매우 낮다면 (Gower and Son 1992, Nadelhoffer *et al.* 1983, 1984)), 본 연구에서 측정된 수치는 온대지방 침엽수림에서 일반적으로 추정되는 50-100 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ (Gosz 1981)과 비슷한 수준이다. 설사 본 연구의 질소 무기화 측정치가 실제 입지에서의 수치보다 과다 혹은 과소 측정되었다 하더라도 질소 무기화에 대한 수종간의 차이를 반영하고 있음은 분명한 것으로 생각된다 (Wedin and Tilman 1990).

기존의 연구에서 질소 무기화와 토양성질간에 상관관계가 보고된 경우도 있으나 (Klemmedson and Wienhold 1992, Nadelhoffer *et al.* 1983, Pastor *et al.* 1987, Van Vuuren and Berendse 1993), 본 연구에서 임목 성장기간중의 질소 무기화와 토양 pH, 유기물함량, 질소농도등 사이에 통계적으로 유의한 상관관계는 없었다 ($p > 0.1$). 오히려 공급되는 유기물의 양과 성질 그리고 공급시기 등이 질소 무기화에 영향을 미치는 것으로 보이거나 (Aber and Melillo 1982, Caryle and Malcolm 1986, Gower and Son 1992, Wedin and Tilman 1990) 이에 대한 연구가 필요하다. 수종별로 잎의 수명은 다르고, 잎의 수명과 그 수종으로부터 생산되는 낙엽의 성

질과는 관련이 있어 일반적으로 잎의 수명이 짧을수록 낙엽내 질소농도 또는 리그닌:질소의 비율이 증가하여 결과적으로 토양 질소 무기화가 증가되는 효과를 가져온다 (Gower and Son 1992). 본 연구대상 3개 수종의 잎의 수명은 차이가 있으며, 비록 통계적으로 분석할 수 있을 만큼 충분한 수의 수종이 없기는 하지만 잎의 수명과 질소 무기화간에 관찰되고 있는 부의 상관관계 (Gower and Son 1992)가 연구대상 수종간에도 있는 것으로 보인다. 기존의 문헌에 의하면 서양측백, 스트로브잣나무, 구주낙엽송의 순으로 낙엽내 질소농도와 리그닌:질소의 비율이 증가하고 있다 (Gower and Son 1992, Turner *et al.* 1993).

임목생장기간 동안의 질소 무기화량 가운데 질산화된 양이 차지하는 비율은 구주낙엽송 100%, 스트로브잣나무 93%, 서양측백 100% 등으로 (Fig. 4) 다른 연구결과들의 60~80% (Binkley *et al.* 1992, Gower and Son 1992, Nadelhoffer *et al.* 1983, 1984, Pastor *et al.* 1984)에 비하여 높은 편이다. 이는 온대지방 삼림생태계에서 질소 무기화과정중 질산화과정이 차지하는 비중이 예전에 알려졌던 것보다 더욱 크다는 다른 결과들과 일치하는 것이다 (Davidson *et al.* 1992, Gosz and White 1986, Nadelhoffer *et al.* 1984; 참고 Garten and Van Miegroet 1994, Pastor *et al.* 1984).

식생이 토양내 질소 무기화에 미치는 영향의 정도와 그 기작을 보다 분명하게 밝히기 위해서는 지상부와 지하부의 유기물 동태 (Gower and Son 1992, Nadelhoffer *et al.* 1991, Pastor *et al.* 1987, Van Vuuren *et al.* 1992, Wedin and Tilman 1990, Zak and Grigal 1991)와 토양온도와 습도의 변화 (Mazzarino *et al.* 1991, MacDonald *et al.* 1995, Nadelhoffer *et al.* 1991)를 면밀히 조사하는 다년간의 연중 (Gosz and White 1986) 질소 무기화 측정 연구가 필요한 것으로 생각된다. 아울러 잎의 수명이 각기 다른 수종간의 질소 무기화 비교연구는 수종의 영향을 구명하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

적 요

경기도 포천군 소재 광릉시험림내의 인공조립된 67년생 구주낙엽송, 스트로브잣나무, 서양측백나무림에서 삼림수종이 토양내 질소 무기화에 미치는 영향을 조사하기 위해 1994년 5월부터 10월까지 6개월동안 45일간격으로 비닐주머니매설 배양법 (buried-bag incubation)을 이용하여 질소 무기화를 측정하였다. 질소 무기화율은 수종간, 그리고 배양시기간에 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, 6개월간의 질소 무기화총량에서도 수종간에 유의한 차이가 있었다. 6개월간의 질소 무기화총량은 구주낙엽송 47.7 mg N/kg soil, 스트로브잣나무 38.1 mg N/kg soil, 서양측백 21.5 mg N/kg soil 등이었고, 질소 무기화총량 가운데 질산화된 양이 차지하는 비율은 93~100%이었다. 수종이 질소 무기화에 미치는 영향은 수종별 유기물의 차이에 의한 것으로 추정되나 이를 확인하기 위해서는 질소 무기화에 영향을 주는 제반인자에 대한 보다 상세한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

인용문헌

- 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법: 토양, 식물체, 토양미생물. 농촌진흥청 농업기술연구소. 450p.
이명중 · 한상섭 · 김정제. 1985. 잣나무엽의 초기 분해과정에 있어서 무기태 질소 및 CO₂ 방출속

- 도 변화. 한국임학회지 69:13-18.
- 이천용 · D.D. Myrold. 1990. 산림토양내 질소의 양료화와 질소화에 관한 연구: ion 교환수지의 처리방법에 따른 질소의 흡수율 변화. 한국임학회지 79:285-289.
- 임업연구원. 1994. 광릉시험림. 910p.
- Aber, J.D. and J.M. Melillo. 1982. Nitrogen immobilization in decaying hardwood leaf litter as a function of initial nitrogen and lignin content. *Can. J. Bot.* 60:2263-2269.
- Binkley, D. 1986. *Forest Nutrition Management*. Wiley, 290p.
- Binkley, D. and S.C. Hart. 1989. The components of nitrogen availability assessments in forest soils. *Adv. Soil Sci.* 10:57-112.
- Binkley, D. and P.M. Vitousek. 1989. Soil nutrient availability. *In* R. Pearcy, H. Mooney, J. Ehleringer and P. Runkel (eds.), *Physiological Plant Ecology: Field Methods and Instrumentation*, Chapman and Hall, London, pp. 75-96.
- Binkley, D., R. Bell and P. Sollins. 1992. Comparison of methods for estimating soil nitrogen transformations in adjacent conifer and alder-conifer forests. *Can. J. For. Res.* 22:858-863.
- Boettcher, S.E. and P.J. Kalisz. 1990. Single-tree influence on soil properties in the mountains of eastern Kentucky. *Ecology* 71:1365-1372.
- Carlyle, J.C. and D.C. Malcolm. 1986. Larch litter and nitrogen availability in mixed larch-spruce stand. II. A comparison of larch and spruce litters as a nitrogen source for Sitka spruce seedlings. *Can. J. For. Res.* 16:327-329.
- Davidson, E.A., S.C. Hart and M.K. Firestone. 1992. Internal cycling of nitrate in soils of a mature coniferous forest. *Ecology* 73:1148-1156.
- Eno, C.F. 1960. Nitrate production in the field by incubating the soil in polyethylene bags. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24:277-279.
- Gallardo, A. and J. Merino. 1992. Nitrogen immobilization in leaf litter at two Mediterranean ecosystems of SW Spain. *Biogeochemistry* 15:213-228.
- Garten, C.T. and H. Van Miegroet. 1994. Relationships between soil nitrogen dynamics and natural ^{15}N abundance in plant foliage from Great Smoky Mountains National Park. *Can. J. For. Res.* 24:1636-1646.
- Gosz, J.R. 1981. Nitrogen cycling in coniferous ecosystems. *Ecol. Bull.* 33:405-426.
- Gosz, J.R. and C.S. White. 1986. Seasonal and annual variation in nitrogen mineralization and nitrification along an elevational gradient in New Mexico. *Biogeochemistry* 2:281-297.
- Gower, S.T. and Y. Son. 1992. Differences in soil and leaf litterfall nitrogen dynamics for five forest plantations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1959-1966.
- Gower, S.T., C.C. Grier and K.A. Vogt. 1989. Aboveground production and N and P use by *Larix occidentalis* and *Pinus contorta* in the Washington Cascades. *Tree Physiol.* 5:1-11.
- Hart, S.C. and M.K. Firestone. 1989. Evaluation of three *in situ* soil availability assays. *Can. J. For. Res.* 19:185-191.

- Kim, C. 1994. Litterfall, nitrogen availability, and the growth of northern red oak (*Quercus rubra* L.) seedlings at various levels of canopy cover in oak and pine stands. Ph.D. Thesis, Michigan Tech. Univ. 206p.
- Klemmedson, J.O. and B.J. Wienhold. 1992. Nitrogen mineralization in soils of a chaparral watershed in Arizona. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1629-1634.
- Kwak, Y.S. and J.H. Kim. 1994. Spatial distribution of fine roots in *Quercus mongolica* and *Quercus acutissima* stands. *Kor. J. Ecol.* 17:113-119.
- Lennon, J.M., J.D. Aber and J.M. Melillo. 1985. Primary production and nitrogen allocation of field grown sugar maples in relation to nitrogen availability. *Biogeochemistry* 1:135-154.
- MacDonald, N.W., D.R. Zak and K.S. Pregitzer. 1995. Temperature effects on kinetics of microbial respiration and net nitrogen and sulfur mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:233-240.
- Matson, P.A., P.M. Vitousek, J.J. Ewel, M.J. Mazzarino and G.P. Robertson. 1987. Nitrogen transformations following tropical forest felling and burning on a volcanic soil. *Ecology* 68:491-502.
- Mazzarino, M.J., L. Oliva, A. Abril and M. Acosta. 1991. Factors affecting nitrogen dynamics in a semiarid woodland (Dry Chaco, Argentina). *Plant Soil* 138:85-98.
- Mun, H.T. 1991. Nitrogen mineralization and dynamics in the forest soil. *Kor. J. Ecol.* 14:317-325.
- Nadelhoffer, K.J., J.D. Aber and J.M. Melillo. 1983. Leaf-litter production and soil organic matter dynamics along a nitrogen-availability gradient in southern Wisconsin (U.S. A.). *Can. J. For. Res.* 13:12-21.
- Nadelhoffer, K.J., J.D. Aber and J.M. Melillo. 1984. Seasonal patterns of ammonium and nitrate uptake in nine temperate forest ecosystems. *Plant Soil* 80:321-335.
- Nadelhoffer, K.J., A.E. Giblin, G.R. Shaver and J.A. Launder. 1991. Effects of temperature and substrate quality on element mineralization in six arctic soils. *Ecology* 72:242-253.
- Pastor, J., M.A. Stillwell and D. Tilman. 1987. Nitrogen mineralization and nitrification in four Minnesota old fields. *Oecologia* 71:481-485.
- Pastor, J., J.D. Aber, C.A. McLaugherty and J.M. Melillo. 1984. Aboveground production and N and P cycling along a nitrogen mineralization gradient on Blackhawk Island, Wisconsin. *Ecology* 65:256-268.
- SAS. 1988. SAS /STAT User's Guide. 6.03 ed. SAS Inst. Cary, NC.
- Son, Y., G. Lee and J.Y. Hong. 1994. Soil carbon dioxide evolution in three deciduous tree plantations. *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* 27:290-295.
- Turner, D.P., P. Sollins, M. Leuning and N. Rudd. 1993. Availability and uptake of inorganic nitrogen in a mixed old-growth coniferous forest. *Plant Soil* 148:163-174.
- Van Vuuren, M.M.I. and F. Berendse. 1993. Changes in soil organic matter and net nitrogen mineralization in heathland soils, after removal, addition or replacement of litter

- from *Erica tetralix* or *Molinia caerulea*. Biol. Fertil. Soils 15:268-274.
- Van Vuuren, M.M.I., R. Aerts, F. Berendse and W. De Visser. 1992. Nitrogen mineralization in heathland ecosystems dominated by different plant species. Biogeochemistry 16:151-166.
- Wedin, D.A. and D. Tilman. 1990. Species effects on nitrogen cycling: a test with perennial grasses. Oecologia 84:433-441.
- Zak, D.R. and D.F. Grigal. 1991. Nitrogen mineralization, nitrification and denitrification in upland and wetland ecosystems. Oecologia 88:189-196.

(1995년 5월 23일 접수)