

질소와 인 시비가 소나무, 일본잎갈나무, 자작나무 묘목의 양분이용효율에 미치는 영향

신정아^{1,3}, 손요환^{1*}, 홍성각², 김영걸³
¹고려대학교 산림자원환경학과, ²건국대학교 산림자원학과, ³임업연구원

Effect of N and P Fertilization on Nutrient Use Efficiency of *Pinus densiflora*, *Larix leptolepis*, and *Betula platyphylla* var. *japonica* Seedlings

Jung-A Shin^{1,3}, Yowhan Son¹, Sung-Gak Hong², Young Kul Kim³ (¹Department of Forest Resources and Environmental Sciences, Korea University, ²Department of Forest Resources, KonKuk University, ³Forestry Research Institute)

ABSTRACT : Biomass, tissue (foliage, stem, and root) nutrient concentration, and nutrient use efficiency (NUE) were determined for 1-year-old *Pinus densiflora*, *Larix leptolepis* and *Betula platyphylla* var. *japonica* seedlings in a greenhouse under nitrogen (N) and phosphorus (P) fertilization treatments. There were no consistent patterns in the effect of fertilization on seedling growth, however, in most cases the addition of N and P had no stimulating effect on biomass. In general, seedling tissue N and P concentrations increased after fertilization. It appeared that fertilization induced luxury nutrient consumption because uptake was increased without altering biomass. The NUE, calculated as the ratio between total above and belowground production and nutrient content in seedlings, decreased with increasing N and P supply for *P. densiflora* and *B. platyphylla* var. *japonica* while that for *L. leptolepis* did not change. *B. platyphylla* var. *japonica* had the highest NUE, *L. leptolepis* the lowest, with *P. densiflora* having the intermediate NUE.

Key words : *Betula platyphylla* var. *japonica*, biomass, fertilization, *Larix leptolepis*, nitrogen, nutrient use efficiency, phosphorus, *Pinus densiflora*

서 론

식물이 자원을 얼마나 효율적으로 이용하는가를 밝히는 문제는 식물생태학의 오랜 연구과제 중의 하나였다. 일반적으로 식물에서 자원의 이용효율은 생리적 활동 결과 생산된 산물 (생체량, 종자 생산량 등)에 대한 투입된 자원 (광선, 양분, 수분 등)의 비율로 결정하는 방법을 주로 사용하고 있다¹⁾. 식물 생장에 필요한 여러 가지 자원 가운데서 양분은 상대적으로 다른 자원에 비하여 인위적 조절이 가능하고, 많은 생태계에서 양분은 제한된 상태로 존재하기 때문에 양분이용효율이 널리 연구되어 왔다^{2, 3, 4, 5, 6, 7)}. 특히 양분 중에서는 질소와 인이 대부분의 식물생태계에서 중요한 성장 제한 인자가 되므로^{8, 9, 10)} 질소와 인 이용효율이 주목을 받아왔다.

식물체를 대상으로 양분이용효율을 측정하는 방법으로는 몇 가지가 제시된 바 있는데, 천연임분에서 낙엽의 건중량과 낙엽 내

양분함량의 비율로써 구하거나⁷⁾, 흡수한 양분당 총물질생산량으로 구하며¹¹⁾, 양분의 식물체 내 체류시간과 양분생산성의 곱으로 구한다⁸⁾. 그런데 다년생 식물인 수목은 매년 낙엽을 통하여 양분을 손실하며, 낙엽 전 양분을 재순환시키기 때문에 물질 생산에 사용된 양분량을 정확히 측정하기가 어렵다. 따라서 수목의 경우 양분이용효율은 일정기간동안 흡수된 단위양분에 대한 지상부와 지하부의 총물질생산량의 비로써 측정하는 것이 적절한 것으로 보인다.

본 연구는 여러 가지 농도의 질소와 인 시비 처리조건하에서 소나무 (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.), 일본잎갈나무 (*Larix leptolepis* Gordon), 자작나무 (*Betula platyphylla* var. *japonica* Hara)의 생체량과 양분농도 변화, 그리고 양분이용효율 등을 측정하고, 수종간 또는 수종 내에서 시비처리간의 차이를 비교하기 위한 목적으로 실행되었다. 연구대상 수종은 우리나라 주요 조림수종임에도 불구하고 양분이용효율과 관련된 연구가 미진한 소나무, 일본잎갈나무, 그리고 자작나무 등으로 하였다. 또한 본

연구에서는 공급되는 양분의 농도 조절이 쉽고, 지하부의 생체량까지 정확히 측정할 수 있는 묘목을 사용하였다²⁾.

재료 및 방법

1996년 3월 26일 직석, 펠라이트, 피트모스를 1:1:1로 혼합한 인공토양 포트에 소나무, 일본잎갈나무, 자작나무의 종자를 파종하고 온실 내에서 발아시켰다¹²⁾. 발아 후 8개월이 경과한 1996년 12월 1일 시료 묘목에 고농도 질소 (HN), 저농도 질소 (LN), 고농도 인 (HP), 저농도 인 (LP), 고농도 질소와 인의 복합 (HNP), 저농도 질소와 인의 복합 (LNP), 그리고 대조구 (CON) 등 총 7가지의 시비처리를 실행하였다. 시비처리별 묘목 본수는 소나무와 일본잎갈나무의 경우 10본씩, 자작나무는 5본씩으로 하였다. 시비는 HN과 LN의 경우 유안을 각각 0.28g/pot (220kg N/ha)와 0.11g/pot, HP와 LP의 경우 과린산석회를 각각 0.5g/pot (370kg P/ha)와 0.1g/pot로 하고, HNP에서는 유안 0.28g/pot과 과린산석회 0.38g/pot, 그리고 LNP에서는 유안 0.11g/pot과 과린산석회 0.38g/pot로 하였다.

시비 후 3개월 간격으로 두 차례 묘목을 수확하였다. 포트에서 제거한 묘목을 깨끗한 물로 씻고 물기를 제거한 다음, 지상부와 지하부로 분리하였다. 지상부는 다시 줄기와 잎으로 분리하고 줄기, 잎, 뿌리 등을 건조기에서 48시간 이상 건조시킨 후 건조량을 측정하였다. 묘목의 부위별 시료는 분쇄하여 Kjeldahl 분해하고 (Lachat BD-46), 자동이온분석기로 질소와 인 농도를 측정하였다 (Bran-Lubbe Tracs 800).

묘목의 부위별 양분 함량은 부위별 건조량에 양분 농도를 곱해서 구하였으며, 양분이용효율은 묘목 전체 건조량에 대한 묘목 내 양분 함량의 비로써 구하였다^{11, 13)}. 묘목 생체량, 양분 농도와 함량, 그리고 양분이용효율 차이가 수종별, 수확시기별, 시비처리별, 그리고 이들간의 상호작용에서 유의한지를 general linear model을 사용하여 분석하였으며, 평균값은 Duncan's multiple range test를 이용하여 비교하였다¹⁴⁾.

결과 및 고찰

시비 후 두 차례의 수확시기에서 세 수종 모두 질소와 인의 유효도 증가에 따라 총건중량의 변화가 일정한 경향을 나타내지 않았다. 시비 후 3개월이 경과한 1차 수확시기에서 소나무의 경우 질소와 인 공급량 증가에 따라 총건중량도 증가하였으나, LP와 LNP 처리에서는 대조구와 차이가 없었다 (Table 1). 일본잎갈나무는 질소와 인 단독시비 경우 시비량 증가에 따라 오히려 총건중량은 감소하였으며, 자작나무는 낙엽으로 인하여 줄기와 뿌리만의 건량을 구하였는데 이들의 총건중량이 HN에서 LN보다 높은 것을 제외하고는 나머지 시비처리간에 차이가 없었다. 2차 수확시기에는 소나무의 경우 총건중량이 LN과 LNP에서 다른 처

Table 1. Dry weight (g) of *P. densiflora*, *L. leptolepis*, and *B. platyphylla* var. *japonica* seedlings after fertilization treatments. Means followed by the same letters within a column do not differ significantly at $p < 0.05$.

Treatment	1st harvest				2nd harvest			
	Foliage	Stem	Root	Total	Foliage	Stem	Root	Total
<i>P. densiflora</i>								
HN	0.38a	0.20a	0.54a	1.12a	0.39bc	0.18c	0.36c	0.93c
LN	0.30abc	0.13bc	0.35bc	0.77bc	0.46b	0.29ab	0.66a	1.42a
HP	0.33ab	0.16b	0.40b	0.89b	0.41bc	0.26b	0.49b	1.15b
LP	0.25bc	0.14bc	0.29de	0.68cd	0.40bc	0.31a	0.51b	1.23b
HNP	0.35a	0.15bc	0.33cd	0.82b	0.40bc	0.19c	0.32c	0.91c
LNP	0.22c	0.11c	0.26e	0.59d	0.65a	0.32a	0.47b	1.43a
CON	0.31ab	0.14bc	0.38bc	0.84	0.35c	0.20c	0.52b	1.08bc
<i>L. leptolepis</i>								
HN	0.08bc	0.09ab	0.23b	0.40bc	0.08c	0.06d	0.13c	0.27e
LN	0.06c	0.08ab	0.16b	0.29e	0.06c	0.09cd	0.22d	0.37d
HP	0.08bc	0.05b	0.19b	0.32ed	0.16c	0.12bc	0.31c	0.59c
LP	0.11ab	0.11a	0.31a	0.52a	0.14c	0.14b	0.32c	0.60c
HNP	0.14a	0.11a	0.23b	0.48ab	0.09c	0.12bc	0.23d	0.44d
LNP	0.14a	0.10a	0.20b	0.43ab	0.42a	0.24a	0.36a	1.02a
CON	0.10bc	0.07ab	0.18b	0.35ce	0.30b	0.15b	0.30b	0.75b
<i>B. platyphylla</i> var. <i>japonica</i>								
HN	-	0.64b	1.24a	1.88a	0.07b	0.52b	0.76ab	1.35bc
LN	-	0.37c	0.63bc	1.00b	0.14ab	0.46b	0.74ab	1.34bc
HP	-	0.44bc	0.92ab	1.36ab	0.21a	0.57b	0.76ab	1.54ab
LP	-	0.56bc	1.11a	1.66a	0.15ab	0.54b	0.81ab	1.50ab
HNP	-	0.50bc	0.89ab	1.39ab	0.14ab	0.46b	0.64b	1.17c
LNP	-	0.50bc	0.98a	1.48ab	0.07b	0.45b	0.91ab	1.43bc
CON	-	1.10a	0.48c	1.58a	0.12b	0.73a	0.93a	1.77a

HN : 0.28g/pot of N
 LN : 0.11g/pot of N
 HP : 0.50g/pot of P
 LP : 0.10g/pot of P
 HNP : 0.28g/pot of N + 0.38g/pot of P
 LNP : 0.11g/pot of N + 0.38g/pot of P
 CON : control

리구나 대조구보다 높게 나타났다 (Table 1). 일본잎갈나무에서는 총건중량이 LNP에서 1.02g으로 가장 높고, 나머지 처리구에서는 대조구보다 오히려 낮은 값을 보였다. 자작나무의 경우 총건중량이 대조구에서 1.77g으로 가장 높고, 다른 시비처리구에서는 이보다 낮은 값을 보였다.

일반적으로 토양의 양분 유효도가 증가할수록 묘목의 생장은 증가하나^{15, 16)}, 본 연구 결과 이러한 경향이 뚜렷하게 나타나지 않았고 오히려 시비량 증가가 건조량의 감소를 가져오는 경우도 있었다. 시비 후 생체량이 증가하지 않은 것은 본 연구에서 시비

Table 2. Nitrogen concentration (mg/g) of *P. densiflora*, *L. leptolepis*, and *B. platyphylla* var. *japonica* seedlings after fertilization treatments. Means followed by the same letter within a column do not differ significantly at $p < 0.05$.

Treatment	1st harvest			2nd harvest		
	Foliage	Stem	Root	Foliage	Stem	Root
<i>P. densiflora</i>						
HN	25.4a	17.0b	15.2b	31.4b	18.0b	16.9a
LN	22.9a	21.4b	12.7c	13.1e	7.3d	12.0b
HP	8.8b	8.9c	4.1d	15.5d	8.4d	12.8b
LP	25.2a	21.7b	16.1ab	13.0e	7.3d	11.1b
HNP	24.2a	31.2a	14.7bc	33.4a	24.3a	18.7a
LNP	23.0a	22.5b	17.6a	24.8c	11.5c	18.7a
CON	11.1b	10.0c	9.1d	16.0d	8.4d	11.5b
<i>L. leptolepis</i>						
HN	21.3bcd	22.4b	13.8b	52.0a	15.3c	15.7c
LN	16.1cd	29.0a	19.7a	35.4bc	20.5b	17.3ab
HP	14.7d	16.6b	15.8b	14.4e	7.9de	13.3cd
LP	6.4e	8.3c	8.8c	16.9de	6.3e	13.0d
HNP	28.8ab	22.4b	13.8b	42.9ab	29.2a	14.6cd
LNP	30.4a	22.0b	14.8b	26.9cd	14.2c	18.8a
CON	23.4abc	19.8b	15.2b	21.7de	12.6cd	13.9cd
<i>B. platyphylla</i> var. <i>japonica</i>						
HN	-	10.7b	12.2bc	44.1a	11.9b	16.3a
LN	-	12.8b	13.9a	34.2ab	10.4b	14.5ab
HP	-	8.3b	8.7e	26.9b	9.6b	14.8ab
LP	-	9.1b	10.1d	30.1ab	5.1c	13.3b
HNP	-	22.5a	13.4ab	38.4ab	16.4a	15.1ab
LNP	-	20.0a	12.0c	37.4ab	15.6a	13.7b
CON	-	8.1b	9.2de	25.3b	4.4c	11.4c

Table 3. Phosphorus concentration (mg/g) of *P. densiflora*, *L. leptolepis*, and *B. platyphylla* var. *japonica* seedlings after fertilization treatments. Means followed by the same letter within a column do not differ significantly at $p < 0.05$.

Treatment	1st harvest			2nd harvest		
	Foliage	Stem	Root	Foliage	Stem	Root
<i>P. densiflora</i>						
HN	0.68c	1.03c	0.58d	0.44c	0.64d	0.36c
LN	0.35c	1.03c	0.33d	2.47b	0.50d	0.53c
HP	4.10a	3.30a	2.63ab	4.32a	3.46a	3.02a
LP	0.78c	0.15c	0.68d	2.15b	2.11c	2.15b
HNP	3.13ab	2.58b	2.25b	2.94b	3.04ab	1.53b
LNP	23.0a	2.90ab	2.90a	2.89b	2.71b	1.94b
CON	1.08c	1.23c	1.40c	0.29c	0.86d	0.57c
<i>L. leptolepis</i>						
HN	0.48c	0.88c	0.48d	1.48c	0.33d	0.28d
LN	0.43c	0.58c	0.93d	1.32cc	1.00d	0.76cd
HP	4.70ab	3.03a	3.45a	8.87a	3.13ab	3.08a
LP	3.70b	1.35c	1.68c	6.24b	2.33bc	1.66b
HNP	3.73b	1.35c	2.50b	5.50b	3.87a	1.51c
LNP	5.83a	2.15ab	2.58b	5.70b	3.24ab	2.47a
CON	4.15b	1.20bc	1.65c	1.83c	1.34cd	0.87cd
<i>B. platyphylla</i> var. <i>japonica</i>						
HN	-	0.35a	0.43c	0.69b	0.40d	0.15c
LN	-	1.38a	0.35c	0.24b	0.34d	0.19c
HP	-	1.38a	1.50a	4.24a	1.24b	1.66a
LP	-	0.83a	1.38ab	2.95a	0.83c	0.99b
HNP	-	1.03a	1.43ab	3.31a	1.13b	0.92b
LNP	-	1.05a	1.15b	3.36a	1.49a	1.02b
CON	-	0.48a	0.40c	0.51b	0.42d	0.16c

후 수확시기까지의 기간이 짧아 시비 효과가 완전히 나타나지 않았거나 양분의 과다소비현상이 있었을 가능성이 있다. 또한 시비 후 생체량 감소는 양분의 과다축적으로 인한 독성¹⁷⁾, 인공토양 사용으로 인한 산성도 및 암모니움 피해¹⁸⁾, 양분간의 길항작용으로 인한 불균형¹⁹⁾, 그리고 이들의 복합적인 작용 등에 의해 일어났을 가능성이 있는 것으로 보인다. 특히 자작나무에서는 낙엽으로 인하여 양분의 요구량이 감소하였음에도 불구하고 공급량이 과다하여 질소와 인 시비 처리가 오히려 생체량을 감소시킨 것으로 보인다.

한편 시비가 묘목의 지상부와 지하부 건량 비율 (T/R율)에 미치는 영향은 수확시기와 수종에 따라 다르며 일정한 경향을 보이지 않았다. 특히 이전의 다른 연구 결과에서 나타난 시비 후 생체량의 지상부에 대한 분배가 증가하여 T/R율이 증가하거나, 양분의 유효도 증가에 따른 T/R율 증가 경향이^{16, 20, 21, 22)} 본 연구에서는 나타나지 않았다. 이는 시비에 사용한 묘목이 생육초기 단계에 있어 지하부의 생장이 활발하며, 인공토양 내 양분의 농도가 비교적 높은데서 기인하는 것으로 보인다.^{12, 23)}

시비처리가 묘목의 양분농도에 미치는 영향은 일반적으로 1차수확시기에 비하여 2차수확시기에 명확하게 나타났는데, 이는 시비 후 그 효과가 나타나는데 시일이 걸리는데서 기인한 것으로 보인다 (Table 2, 3). 이전의 다른 연구에서 양분의 유효도를 증가시킬수록 식물체 내 양분의 농도가 증가한 것과 유사하게^{15, 16, 21, 24)} 본 연구에서도 질소나 인 단독시비와 복합시비에서 일본잎갈나무를 제외하고 대부분의 경우 공급한 양분에 따라 묘목 내 양분 농도는 증가한 것으로 나타나고 있다. 즉 묘목 내 질소 농도는 질소 단독처리와 질소와 인 복합처리에서 대조구나 인 단독처리에서보다 높게 나타났으며, 인 농도도 인 단독처리와 질소와 인 복합처리에서 대조구나 질소 단독처리에서보다 높게 나타났다 (Table 2, 3). 그러나 시비량 증가에 따라 묘목 내 양분 농도가 반드시 증가하지는 않았으며, 잎, 줄기, 뿌리 등 묘목 부위별 양분 농도 변화에서도 일정한 경향을 보이지 않았다.

시비 후 묘목 내 양분의 농도는 증가하였음에도 불구하고 전술한 바와 같이 묘목의 생체량 증가가 나타나지 않은 것은 시비

가 생체량에 미치는 효과가 아직 나타나지 않고 있거나^{10, 22)}, 과다한 질소의 공급이 다른 미량원소의 결핍을 가져왔거나²⁴⁾, 또는 묘목에서 질소와 인의 과다소비현상이 일어나고 있기 때문인 것으로 보인다^{16, 17, 21)}. 또한 소나무 2차수확시기 LN의 경우에서와 같이 시비 후 건중량은 증가하였으나 묘목 내 양분의 농도가 대조구와 같거나 오히려 감소한 것은 생체량의 증가에 따른 양분의 희석효과 때문인 것으로 사료된다¹⁰⁾. 시비처리 후 묘목 잎의 질소 농도는 증가하여도 생체량이 증가하지 않는 경우 인이 생장의 제한 인자가 될 수 있다^{25, 26)}. 그러나 세 수종을 대상으로 P:N율과 생체량과의 상관관계를 분석한 결과 일정한 경향이 나타나지 않아, 묘목이 인의 결핍상태에 있지는 않은 것으로 보인다. 한편 본 연구에서 묘목 내 질소와 인 농도만을 분석하였기 때문에 질소와 인 이외의 다른 원소가 묘목 생장에 제한 요인이 되고 있을 가능성도 배제할 수 없다¹⁶⁾.

질소와 인 이용효율은 수종별, 수확시기별, 그리고 시비처리별로 유의한 차이를 보였다. 수종별로는 일본잎갈나무를 제외하고 소나무와 자작나무에서 1, 2차수확시기 모두에서 시비처리가 질소와 인 이용효율에 미치는 영향이 유의하였다 (Table 4). 이전에 소나무, 일본잎갈나무, 자작나무의 양분이용효율을 보고한 결과나, 유사한 종을 대상으로 지하부까지 포함된 묘목 전체 양분이용효율을 구한 결과가 거의 없기 때문에 본 연구에서 얻은 세 수종의 질소와 인 이용효율을 다른 연구 결과와 직접 비교하기는 매우 어렵다. 그러나 다른 수종에서 나타난 양분이용효율과는 큰 차이가 없는 것으로 보인다^{2, 10)}. 소나무와 자작나무에서 시비처리 후 양분의 이용효율이 대조구에 비하여 감소하였으나¹⁾, 질소나 인 시비량 증가에 따라 양분이용효율 변화는 일정한 경향을 보이지 않았다. 질소와 인의 유효도 증가에 따른 NUE 감소 경향은 일반적으로 양분유효도가 낮을 때 식물체가 흡수한 단위 양분당 더 많은 탄소를 고정한다는 이전의 다른 연구결과와 일치하는 것이다^{3, 5, 13, 21, 27)}.

본 연구에서 사용한 시비량이 묘목의 생장에 필요한 양을 초과하여 시비량을 증가시켜도 생체량의 변화가 없었기 때문에 양분이용효율에서도 변화가 나타나지 않았을 가능성이 있으며, 수종별 양분요구량이 다름에도 불구하고 모든 수종에 대해 동일한 시비량을 사용한 것이 수종별로 시비 후 양분이용효율에 차이를 가져온 원인이 된 것으로도 볼 수 있다^{1, 28)}. 한편 묘목이 새로운 생육환경에 적응하는 데까지는 시일이 걸리고 이 기간동안에는 묘목 내 양분의 농도나 양분이용효율이 변화하기 때문에¹⁰⁾, 시비 후 3, 6개월이 경과한 시점에 측정된 양분이용효율이 다소 불안정한 결과일 가능성도 있다. 일본잎갈나무의 경우 시비처리가 질소와 인 이용효율에 영향을 미치지 않은 것은 다른 수종과는 달리 시비 후 총생체량이 대조구와 비교하여 차이가 없거나 오히려 감소하고 (Table 1), 또한 묘목 부위 내 질소와 인의 농도도 차이가 없는데 따른 것이다 (Table 2, 3). 이는 인공토양 내 질소와 인의 농도가 일본잎갈나무의 생장을 제한할 정도로 낮은 상태가 아닌데서 기인한 것으로 사료된다.

Table 4. Nitrogen and phosphorus use efficiency (NUE, g/g nutrient) of *P. densiflora*, *L. leptolepis*, and *B. platyphylla* var. *japonica* seedlings after fertilization treatments. One standard errors of the mean are in parentheses. Means followed by the same letter within a column do not differ significantly at $p < 0.05$.

Treatment	1st harvest		2nd harvest	
	NUE (N)	NUE (P)	NUE (N)	NUE (P)
<i>P. densiflora</i>				
HN	53(2)bc	1463(72)b	44(1)d	2322(277)a
LN	57(5)b	2317(248)a	88(2)a	1646(937)a
HP	98(3)a	317(33)d	78(1)b	285(22)b
LP	49(2)bc	1321(91)b	93(2)a	470(22)b
HNP	46(1)c	381(30)d	38(1)e	413(36)b
LNP	50(3)bc	362(34)d	50(1)c	392(5)b
CON	100(3)a	809(52)c	81(2)b	2045(292)a
<i>L. leptolepis</i>				
HN	59(2)bc	1977(378)a	38(3)d	1478(203)a
LN	47(3)cd	1396(137)b	51(4)bc	1267(431)a
HP	66(6)b	284(27)c	80(3)a	225(28)c
LP	124(5)a	498(22)c	81(1)a	352(25)bc
HNP	51(4)cd	399(31)c	40(6)d	339(44)bc
LNP	47(1)d	292(25)c	49(3)cd	258(22)bc
CON	55(2)cd	465(38)c	60(3)b	770(77)b
<i>B. platyphylla</i> var. <i>japonica</i>				
HN	87(7)cd	2577(293)a	63(2)c	3698(316)b
LN	74(1)de	2111(566)a	70(1)c	4757(516)a
HP	118(6)ab	670(28)b	71(3)c	544(26)c
LP	102(1)bc	839(34)b	85(4)b	890(38)c
HNP	61(3)e	785(22)b	60(1)c	841(1)c
LNP	69(3)e	927(107)b	63(3)c	827(126)c
CON	121(10)a	2243(159)a	107(4)a	3501(235)b

시비처리나 대조구에서 질소와 인 이용효율은 대체로 자작나무, 소나무, 일본잎갈나무의 순으로 나타나고 있다. 일반적으로 상록성 수종은 낙엽성 수종에 비하여 잎의 수명이 길기 때문에 오랜 기간동안 광합성을 하여 토양으로부터 흡수한 단위 질소당 탄소 고정량이 많은 것으로 알려지고 있다²⁾. 본 연구에서 소나무가 일본잎갈나무에 비하여 질소와 인의 이용효율이 높게 나타난 것은 이와 같은 결과이나, 자작나무의 경우 소나무와 일본잎갈나무보다 높은 양분이용효율을 보인 것은 연구기간동안 자작나무의 낙엽으로 인하여 양분 농도가 비교적 낮은 줄기와 뿌리 부위를 이용하여 양분이용효율을 구한데서 비롯되었을 가능성이 있다. 본 연구는 온실 내에서 실행되었고, 따라서 낙엽성 수종인 일본잎갈나무와 자작나무의 가을철 낙엽 상태가 임지에서와는 다르기 때문에 낙엽전 양분재순환률을 구하지는 않았다. 그런데 수종에 따라 상록성과 낙엽성별로 양분재순환률이 다르고, 양분재순환률과 양분이용효율간에는 상관성이 있는 것으로 알려져 있다^{2, 10, 21)}. 따라서 앞으로 세 수종을 대상으로 생장기간 전체에 걸쳐 성장과 양분 변화를 측정하고 양분재순환률을 구하며 양분이용효율과의 관계를 밝히는 연구가 필요한 것으로 보인다.

요 약

소나무, 일본잎갈나무, 자작나무 묘목을 대상으로 온실 내에서 질소와 인 비료를 사용하고, 묘목 생체량, 잎, 줄기, 뿌리 등의 부위별 양분 농도, 그리고 양분이용효율에 미치는 영향을 연구하였다. 대부분의 경우 시비가 묘목의 생체량 변화에 미치는 효과는 없는 것으로 나타났다. 그러나 시비 후 묘목 내 부위별 질소와 인 농도는 증가하였다. 이러한 결과는 시비가 묘목을 양분 과다 이용상태에 이르게 한 것으로 사료되었다. 양분이용효율은 지상부와 지하부 생체량에 대한 묘목 내 양분 함량의 비로 계산하였는데, 시비 후 질소와 인의 이용효율은 소나무와 자작나무에서 감소하였으나, 일본 잎갈나무에서는 변화를 보이지 않았다. 수종별 양분이용효율은 자작나무에서 가장 높고, 소나무와 일본잎갈나무의 순으로 점차 감소하는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 1996년 교육부 학술연구조성비 농업과학분야 96-13-0006 “장애인, 환자, 도시 근로자를 위한 도시형 삼림육장 개발의 기초 연구”의 세부과제로 수행되었음.

참 고 문 헌

- Aerts, R., and de Caluwe, H. (1994) Nitrogen use efficiency of *Carex* species in relation to nitrogen supply, *Ecol.*, 75: 2362-2372.
- Aerts, R. (1990) Nutrient use efficiency in evergreen and deciduous species from heathlands, *Oecologia*, 84: 391-397.
- Birk, E.M., and Vitousek, P.M. (1986) Nitrogen availability and nitrogen use efficiency in loblolly pine stands, *Ecol.*, 67: 69-79.
- Lajtha, K., and Klein, M. (1988) The effect of varying nitrogen and phosphorus availability on nutrient use by *Larrea tridentata*, a desert evergreen shrub, *Oecologia*, 75: 348-353.
- Pastor, J., Aber, J.D., McClaugherty, C.A., and Melillo, J.M. (1984) Aboveground production and N and P cycling along a nitrogen mineralization gradient on Blackhawk Island, Wisconsin, *Ecol.*, 65: 256-268.
- Shaver, G.R., and Melillo, J.M. (1984) Nutrient budgets of marsh plants: efficiency concepts and relation to availability, *Ecol.*, 65: 1491-1510.
- Vitousek, P.M. (1982) Nutrient cycling and nutrient use efficiency, *Am. Nat.*, 119: 553-572.
- Aerts, R., and Berendse, F. (1988) The effect of increased nutrient availability on vegetation dynamics in wet heathlands, *Vegetatio*, 76: 63-69.
- Bobbink, R., and Berendse, F. (1989) A comparative study on nutrient cycling in wet heathland ecosystems II. Litter decomposition and nutrient mineralization, *Oecologia*, 78: 338-348.
- Munson, A.D., and Bernier, P.Y. (1993) Comparing natural and planted black spruce seedling II. Nutrition uptake and efficiency of use, *Can. J. For. Res.*, 23: 2435-2442.
- Hirose, T. (1975) Relations between turnover rate, resource utility and structure of some plant populations study in the matter budgets, *Journal of the Faculty of Science, Imperial University of Tokyo, Section III, Vol XI. II*: 335-407.
- Shin, J.A. (1998) A study on the effects of N and P fertilization on the growth and the nutrient use efficiency in *Pinus densiflora*, *Larix leptolepis* and *Betula platyphylla* var. *japonica* seedlings (in Korean with English abstract), M.S. thesis, Korea University. pp, 44.
- Gray, J.T., and Schlesinger, W.T. (1983) Nutrient use by evergreen and deciduous shrubs in southern California II. Experimental investigations of the relationship between growth, nitrogen uptake and nitrogen availability, *J. Ecol.*, 71: 43-56.
- SAS. (1988) SAS/STAT User's Guide. 6.03 edition. SAS Institute. Cray, NC, USA.
- Green, T.H., Mitchell, R.J., and Gjerstad, D.H. (1994) Effects of nitrogen on the response of loblolly pine to drought II. Biomass allocation and C:N balance, *New Phytol.*, 128: 145-152.
- Seith, B., George, E., Marschner, H., Wallenda, T., Schaeffer, C., Einig, W., Wingler, A., and Hampp, R. (1996) Effects of varied soil nitrogen on Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) I. Shoot and root growth and nutrient uptake, *Plant Soil*, 184: 291-298.
- Timmer, V.R., and Armstrong, G. (1987) Diagnosing nutritional status of containerized tree seedlings: comparative plant analysis, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51: 1082-1086.
- Torbert, J.L., Burger, J.A., and Kreh, R.E. (1986) Nutrient concentration effects on *Pisolithus tinctorius* development on containerized loblolly pine seedlings, *Tree Planters' Notes*, 37(3): 17-22.
- Jones, J.B. (1983) A Guide for the Hydroponic and Soilless Culture Grower. Timber Press.
- Li, B., Allen, H.L., and McKeand, S.E. (1991) Nitrogen and family effects on biomass allocation of loblolly pine seedlings, *For. Sci.*, 37: 271-283.

21. Malik, V., and Timmer, V.R. (1998) Biomass partitioning and nitrogen retranslocation in black spruce seedlings on competitive mixedwood sites: a bioassay study, *Can. J. For. Res.*, 28: 206-215.
22. Proe, M.F., and Millard, P. (1994) Relationships between nutrient supply, nitrogen partitioning and growth in young Sitka spruce (*Picea sitchensis*), *Tree Physiol.*, 14: 75-88.
23. Monk, C. (1966) Ecological importance of root to shoot ratios, *Bull. Torrey Bot. Club.*, 93: 402-406.
24. Sung, S.S., Black, C.C., Kormanik, T.L., Zarnoch, S.J., Kormanik, P.P., and Counce, P.A. (1997) Fall fertilization and the biology of *Pinus taeda* seedling development, *Can. J. For. Res.*, 27: 1406-1412.
25. Reich, P.B., and Schettle, A.W. (1988) Role of phosphorous and nitrogen in photosynthetic and whole-plant carbon gain and nutrient use efficiency in eastern white pine, *Oecologia*, 77: 25-33.
26. Sheriff, D.W., Nambiar, E.K.S., and Fife, D.N. (1986) Relationships between nutrient status, carbon assimilation and water use efficiency in *P. radiata* (D. Don) needles, *Tree Physiol.*, 2: 73-88.
27. Miller, H.G., Cooper, J.M., and Miller, J.D. (1976) Effect of nitrogen supply on nutrients in litterfall and crown leaching in a stand of Corsican pine, *J. Appl. Ecol.*, 13: 233-248.
28. Berendse, F., and Aerts, R. (1987) Nutrient-use-efficiency: a biologically meaningful definition?, *Funct. Ecol.*, 1: 293-296.