임산에너지 24(1) : 13-27. 2005
J. Kor. For. En. 24(1) : 13-27. 2005

비료의 성분 및 종류와 묘목과의 관계 연구
II. 묘목의 부위별 양분 농도에 미치는 영향[1]

황정옥[2] · 손요환[2] · 이명종[3] · 변재경[4] · 정진현[4] · 이천용[4]

Relationship Between Composition and Type of Fertilizer and Seedling Growth
II. Nutrient Concentration of Seedling Components[1]

Jung Ok Hwang[2], Yowhan Son[2], Myong Jong Yi[3], Jae Kyung Byoun[4], Jin Hyoun Jung[4], and Chun Yong Lee[4]

요 약

새로운 산림용 복합비료를 개발하기 위하여 소나무, 낙엽송, 자작나무, 상수리나무 묘목을 대상으로 성분비가 다른 비료 및 종류가 다른 고형복합비료를 처리하고 묘목의 부위별 양분 농도를 측정하였다. 질소, 인, 칼륨의 비를 각기 달리한 시비수준별 처리실험에서 질소와 인 시비 후 묘목 내 이들 양분의 농도가 증가하였다. 또한 소나무와 상수리나무에서 칼륨 시비량 증가에 따라 묘목 내 양분 농도가 증가하는 효과를 보였으나, 나머지 두 수종에서는 처리별 차이가 나타나지 않았다. 산림용 고형복합비료와 UF 고형복합비료를 처리한 비료 종류별 처리실험에서는 시비량이 증가할수록 묘목 내 질소와 인의 농도가 증가하는 현상이 나타났다. 소나무에서의 칼륨 농도와 낙엽송에서의 나트륨과 칼슘 농도도 유사한 현상을 보였으며, 나머지 수종에서는 처리별 차이를 나타내지 않았다. 비료의 종류를 달리하여 처리한 결과 묘목 내 양분 농도 변화 효과는 없는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

In order to design new fertilizers for forests, seedlings of *Pinus densiflora, Larix leptolepis, Betula platyphylla* var. *japonica*, and *Quercus acutissima* were treated with different fertilizers, and nutrient concentrations in seedling components were analyzed. In general, nitrogen (N) and phosphorus (P) concentrations in seedling components increased after N and P application. Potassium

1. 접수 2005년 6월 9일 Received on June 9, 2005.
2. 고려대학교 환경생태공학부 Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea.
3. 강원대학교 산림자원학부 Division of Forest Resource, Kangwon National University, Choonchon 200-701, Korea.
4. 국립산림과학원 임지보전과 Division of Forest Soil Conservation, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

(K) concentration in seedling components of *Pinus densiflora* and *Quercus acutissima* increased after N, P and K application. However, there were no significant changes in calcium (Ca), sodium (Na) and magnesium (Mg) concentrations. Nitrogen and P concentrations in seedling components increased with the amount of solid combination fertilizer and UF combination fertilizer. Potassium concentration for *Pinus densiflora* and Na and Ca concentrations for *Larix leptolepis* also increased with the amount of combination fertilizers. However, nutrient concentrations in seedling components showed no significant changes with different combination fertilizers.

keywords : fetilization, seedling, *Pinus densiflora*, *Larix leptolepis*, *Betula platyphylla* var. *japonica*, *Quercus acutissima*, nitrogen, phosphorus, potassium, sodium, calcium, magnesium

서 론

식물 생장에는 여러 종류의 양분이 요구되며, 양분이 부족하게 되면 결핍 증상이 나타나고 결국 생장 감소로 이어진다. 특히 질소 (N), 인 (P), 칼륨 (K) 등은 식물체의 구성 성분과 대사 작용에 사용되어 많은 양이 필요하지만 토양으로부터 자연적으로 공급되는 양이 부족하여 결핍증상이 흔히 나타나고 비료로 보충되는 경우가 많다[6,11]. 시비 후 묘목의 생장 증가나 양분 상태 변화 등을 보고한 많은 연구 결과들이 있는데[2,3,4,11,12,13], 이들 대부분은 침엽수에 중점을 두고 있다. 본 연구는 다양한 입지환경조건에 적용 가능한 새로운 산림용 비료를 개발하고, 토양조건에 따라 성분비를 달리하는 주문형 배합비료 개발을 위한 기초 자료를 얻기 위한 목적으로 침엽수와 활엽수 몇 수종의 묘목을 대상으로 수행하였다. 이미 보고한 논문에서는 다양한 시비 수준 및 비료의 종류와 묘목 생장과의 관계를 구명하였고[7], 본 논문에서는 이들 비료와 묘목 내 양분과의 관계를 파악하고자 하였다. 연구 대상 수종은 우리나라에서 널리 식재되고 있는 소나무 (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.), 낙엽송 (*Larix leptolepis* Gordon), 자작나무 (*Betula platyphylla* var. *japonica* Hara), 상수리나무 (*Quercus acutissima* Carrruth.) 등으로 하였다.

재료 및 방법

1. 시비실험

본 시비실험을 위해 2002년 3월 30일 소나무, 낙엽송, 자작나무, 상수리나무 1-1년생 묘목을 화강암 모재 토양으로 채운 포트 (위 직경 35cm, 아래 직경 20cm, 높이 35cm)에 심고, 묘목이 완전히 활착된 6월 4일과 7월 25일 두 차례에 전체 시비량을 반으로 나누어 시비하였다. 시비는 N : P : K의 비율을 달리하여 3 : 4 : 1 (총 9.6g/포트), 6 : 4 : 1 (총 13.2g/포트), 3 : 8 : 1 (총 14.0g/포트), 3 : 4 : 2 (총 10.8g/포트), 2 : 2 : 1 (총 6.0g/포트) 등으로 하였고, 수종과 처리별로 15반복을 두었다. 또한 기존에 개발된 산림용 고형 복합비료와 요소포름알데히드 (urea-formaldehyde) 수목용 완효성 복합비료 (N : P : K : 유기물의 비율이 12 : 16 : 4 : 10인 비료, UF 복합비료)를 표준구 (15g/본), 배량구 (30g/본), 3배량구 (45g/본) 등으로 구분하여 수종 및 처리별로 10반복을 두어 처리하였다. 비료 형태로 질소는 요소, 인은 용과린, 칼륨은 염화가리를 사용하였다. 실험에 대한 상세한 설명은 다른 연구 논문에 보고된 바 있다[7].

2. 시료 채취 및 분석

2003년 10월 4일 수종 및 시비처리별로 3

본씩의 묘목을 수확하여 잎, 줄기, 뿌리 등 3개 부위로 분리하였다. 부위별 시료를 75℃의 건조기에서 항량이 될 때까지 건조시킨 다음 분쇄하여 H_2SO_4에 H_2O_2를 첨가하고 Lachat BD46으로 Kjeldahl 분해하였다. 분해액은 자동이온분석기로 전질소 (N)와 인 (P)의 농도를 측정하고 (Lachat QuikChem AE, Milwaukee, Wisconsin, USA), AAS (Shimadzu AA-6800, Tokyo, Japan)로 칼륨 (K), 칼슘 (Ca), 나트륨 (Na), 마그네슘 (Mg) 등의 농도를 측정하였다.

3. 통계분석

시비처리별 묘목 부위 내 N, P, K, Ca, Na, Mg 등의 농도 차이를 SAS의 GLM (general linear model)을 이용하여 유의성을 검정하였고, 통계적으로 유의성이 인정된 평균치 간의 차이는 Duncan multiple range test를 이용하여 검정하였다[17].

결과 및 고찰

1. 시비 수준별 부위별 양분 농도

1.1 질소와 인

대부분의 경우 질소와 인 시비 후 묘목 내 질소와 인의 농도가 증가한 것으로 나타났다 (Table 1). 그러나 시비량 증가에 따라 묘목 내 질소와 인 농도가 반드시 증가하지는 않았으며, 시비량과 잎, 줄기, 뿌리 등에서의 질소 및 인 농도 변화 사이에서도 일정한 경향을 보이지는 않았다. 이는 이전의 다른 침엽수와 활엽수를 대상으로 한 연구 결과에서 나타난 것과 유사한 것이며[1,2,3,4,10,14,15,16,18], 수종별, 부위별 생체량 증가에 따른 양분의 희석효과나 질소와 인의 과소비 현상에 기인한 것으로 볼 수 있다[4]. 모든 수종에서 질소 농도는 잎, 뿌리, 줄기 등의 순으로 높게 나타났으나, 인의 경우 대체로 이와 비슷하지만 소나무에서는 오히려 뿌리에서의 농도가 잎보다 높은 것으로 나타났다 (Table 1). 이전의 다른 연구 결과에서도 묘목에서 생체량은 일반적으로 뿌리, 줄기, 잎의 순서이지만 양분 특히 질소의 농도는 본 연구에서와 같은 순서로 나타나고 Malik 등[12], Li 등[11], 신정아 등[4]의 연구에서도 소나무의 경우 인의 농도는 줄기나 뿌리에서 잎보다 높은 것으로 보고되고 있다.

소나무의 경우 6 : 4 : 1과 3 : 8 : 1의 시비처리 후 모든 부위에서 질소와 인의 농도가 다른 처리에 비하여 높은 것으로 나타나, 질소 및 인의 공급량 증가가 묘목 내 질소와 인의 농도 변화에 직접 영향을 주는 것으로 볼 수 있다. 그러나 낙엽송의 경우는 이와 달리 3 : 4 : 2의 처리에서 다른 처리에 비하여 질소 농도가 증가하는 것으로 나타나고, 2 : 2 : 1의 처리에서 인의 농도 증가가 명확하게 나타나고 있다 (Table 1). 이것은 질소 이외 다른 원소의 공급 여부가 묘목 내 질소 농도 변화에 영향을 미친다는 것을 의미하는 것으로 질소 단독 시비보다는 다른 원소와의 복합시비가 필요한 것으로 볼 수 있다. 그러나 인의 경우 다른 원소와의 비가 낮은 경우 묘목 내 인 농도 증가로 나타나고 있다. 상수리나무에서는 3 : 8 : 1의 처리가 다른 처리에 비하여 모든 부위에서 질소와 인의 농도를 증가시킨 것으로 나타나고 있다. 자작나무는 특정한 처리가 묘목 내 모든 부위에서 질소와 인의 농도를 일관성 있게 변화시키지 않은 것으로 나타나고 있다. 자작나무에서 시비 후 생체량 증가가 가장 크게 나타난 점을 미루어 볼 때[7] 생장에 따른 양분의 희석 효과가 뚜렷한 수종으로 볼 수 있고, 이러한 현상은 신정아 등[4]의 연구에서도 동일하게 나타난 바 있다[13].

Table 1. Nitrogen and P concentrations (%) of seedling components following fertilization with different fertilizer compositions. One standard error of the means is in parentheses. Values with the same letters do not differ among different treatments within a seedling component in a species

Species	Fertilization treatment		Foliage		Shoot		Root	
			N	P	N	P	N	P
P. densiflora	Fertilizer ratio (N : P : K)	3 : 4 : 1	0.866a (0.270)	0.151a (0.014)	0.200ab (0.044)	0.099a (0.009)	0.566ab (0.035)	0.209a (0.011)
		6 : 4 : 1	1.001a (0.078)	0.142a (0.008)	0.241a (0.031)	0.096a (0.003)	0.753a (0.045)	0.210a (0.022)
		3 : 8 : 1	0.910a (0.144)	0.154a (0.004)	0.278a (0.016)	0.097a (0.002)	0.759a (0.010)	0.228a (0.011)
		3 : 4 : 2	0.932a (0.045)	0.127ab (0.002)	0.208ab (0.016)	0.099a (0.002)	0.703a (0.118)	0.214a (0.023)
		2 : 2 : 1	0.808a (0.034)	0.117b (0.005)	0.224a (0.060)	0.094a (0.005)	0.615ab (0.056)	0.205a (0.029)
	Control		0.241b (0.087)	0.053c (0.006)	0.091b (0.037)	0.068b (0.011)	0.397b (0.167)	0.107b (0.011)
L. leptolepis	Fertilizer ratio (N : P : K)	3 : 4 : 1	0.882a (0.081)	0.192b (0.004)	0.239ab (0.048)	0.109a (0.003)	0.640a (0.002)	0.131a (0.012)
		6 : 4 : 1	0.749a (0.176)	0.159bc (0.006)	0.226ab (0.109)	0.107a (0.012)	0.721a (0.084)	0.135a (0.005)
		3 : 8 : 1	0.932a (0.069)	0.235b (0.020)	0.307a (0.062)	0.102a (0.004)	0.578ab (0.063)	0.134a (0.010)
		3 : 4 : 2	0.825a (0.023)	0.230b (0.016)	0.264a (0.014)	0.099a (0.005)	0.592a (0.022)	0.132a (0.008)
		2 : 2 : 1	0.625a (0.116)	0.325a (0.061)	0.226ab (0.085)	0.109a (0.002)	0.441b (0.009)	0.107a (0.008)
	Control		0.257b (0.034)	0.075c (0.004)	0.043c (0.019)	0.058b (0.003)	0.142c (0.028)	0.055a (0.006)
Q. acutissima	Fertilizer ratio (N : P : K)	3 : 4 : 1	1.105a (0.072)	0.165ab (0.004)	0.148a (0.040)	0.054a (0.007)	0.507ab (0.077)	0.121ab (0.015)
		6 : 4 : 1	1.234a (0.117)	0.149b (0.029)	0.140a (0.042)	0.075a (0.017)	0.546a (0.052)	0.103ab (0.014)
		3 : 8 : 1	1.301a (0.113)	0.215a (0.009)	0.082a (0.031)	0.068a (0.005)	0.551a (0.134)	0.140a (0.025)
		3 : 4 : 2	1.229a (0.124)	0.154b (0.016)	0.074a (0.033)	0.060a (0.009)	0.502ab (0.153)	0.076b (0.024)
		2 : 2 : 1	0.709b (0.071)	0.142b (0.016)	0.146a (0.018)	0.063a (0.010)	0.406ab (0.028)	0.097ab (0.010)
	Control		0.524c (0.158)	0.107c (0.025)	0.078b (0.038)	0.056b (0.015)	0.213c (0.023)	0.065c (0.008)

Table 1. Continued.

Species	Fertilization treatment		Foliage		Shoot		Root	
			N	P	N	P	N	P
B. platypylla var. *japonica*	Fertilizer ratio (N : P : K)	3 : 4 : 1	1.309a (0.087)	0.369ab (0.049)	0.192ab (0.064)	0.078a (0.009)	0.632bc (0.008)	0.166ab (0.011)
		6 : 4 : 1	1.486a (0.073)	0.303bc (0.017)	0.242a (0.043)	0.080a (0.006)	0.764ab (0.129)	0.178ab (0.032)
		3 : 8 : 1	1.390a (0.235)	0.431a (0.009)	0.204ab (0.043)	0.078a (0.004)	0.866a (0.048)	0.227a (0.025)
		3 : 4 : 2	1.343a (0.0084)	0.435a (0.021)	0.170ab (0.037)	0.066a (0.003)	0.578bc (0.078)	0.175ab (0.024)
		2 : 2 : 1	1.148ab (0.086)	0.262c (0.016)	0.058b (0.027)	0.072a (0.007)	0.465cd (0.034)	0.130bc (0.009)
	Control		0.822c (0.208)	0.241c (0.018)	0.077b (0.035)	0.080a (0.013)	0.252d (0.068)	0.083d (0.016)

1.2 칼륨, 나트륨, 칼슘, 마그네슘의 농도

소나무의 경우 시비 후 줄기에서 나트륨의 농도가 다른 처리에 비하여 증가하였으나 잎과 뿌리의 다른 원소에서는 시비 처리의 효과가 명확하게 나타나지 않았다 (Table 2). 한편 뿌리에서 칼륨의 농도가 질소나 인 또는 칼륨을 두 배로 처리한 6 : 4 : 1, 3 : 8 : 1, 3 : 4 : 2 처리구에서 대조구 및 다른 시비처리구보다 높게 나타나 칼륨 시비량 증가 효과를 보이고 있다[11,19].

낙엽송에서는 줄기의 칼륨 농도만이 모든 시비처리구에서 대조구에 비하여 높게 나타났고, 다른 부위나 원소에서는 대조구와 유의한 차이를 보이지 않았다. 다른 수종과는 달리 뿌리 내 농도가 잎에서보다 높게 나타나 뿌리로의 양분 집중 분배[7,11], 혹은 생육 초기 단계의 활발한 지하부 생장 현상을 보이는 것으로 판단된다[12].

상수리나무에서 칼륨의 농도는 잎과 줄기에서 시비처리구가 대조구에 비하여 높게 나타났으나, 시비처리구간 차이는 유의하지 않았다. 반면, 뿌리에서 칼륨의 농도는 3 : 8 : 1 처리 결과 0.45%로 가장 높았다. 칼슘의 농도는 잎에서 6 : 4 : 1 처리가 2.37%로 가장 높았고, 뿌리에서는 2 : 2 : 1 처리가 0.66%로 가장 낮았다. 마그네슘의 농도는 잎과 줄기에서는 처리구와 대조구간 차이가 나타나지 않았으며, 뿌리에서는 질소, 인, 칼륨의 양을 각각 두 배로 시비한 6 : 4 : 1, 3 : 8 : 1, 3 : 4 : 2 처리에서 마그네슘의 농도가 각각 0.21, 0.23, 0.22% 등으로 나머지 처리보다 높은 값을 나타냈다 (Table 2). 이는 소나무에서 나타난 결과와 유사한 것이었다[11,19].

자작나무에서 칼륨의 농도는 잎, 줄기, 뿌리에서 시비 처리구와 대조구간의 차이가 유의하지 않았으며, 특히 3 : 4 : 2 처리 후 뿌리에서의 농도가 감소하여 칼륨 공급의 효과가 나타나지 않았다. 나트륨, 칼슘, 마그네슘의 경우도 모든 묘목 부위에서 시비 처리 결과 대조구와 유의한 차이를 보이지 않았다. 자작나무의 모든 부위에서 칼슘과 마그네슘의 농도가 3 : 4 : 2 시비처리구에서 다른 처리구보다 비교적 낮은 값을 나타내는데, 이는 칼륨의 공급 과잉은 칼슘과 마그네슘의 흡수, 이용을 저해할 수 있다는 것과 관련이 있는 것으로 보인다[6]. 한편 수종와 원소의 종류에 따라 약간의 차이가 있지만 일반적으로 칼륨, 나트륨, 칼슘, 마그네슘의 농도는 잎>줄기>뿌리의 순으로 나타나고 있다.

Table 2. Potassium, Na, Ca, and Mg concentrations (%) following fertilization with different fertilizer compositions. One standard error of the means is in parentheses. Values with the same letters do not differ among different treatments within a seedling component in a species

Species	Fertilization treatment		Foliage		Shoot		Root	
			K	Na	K	Na	K	Na
P. densiflora	Fertilizer ratio (N : P : K)	3 : 4 : 1	0.89ab (0.06)	0.19a (0.01)	0.63a (0.03)	0.24b (0.07)	0.74b (0.01)	0.03a (0.01)
		6 : 4 : 1	0.73ab (0.07)	0.19a (0.01)	0.55a (0.05)	0.28b (0.04)	0.96a (0.12)	0.01a (0.01)
		3 : 8 : 1	1.12a (0.15)	0.15a (0.01)	0.58a (0.05)	0.42a (0.04)	0.95a (0.06)	0.01a (0.01)
		3 : 4 : 2	0.93ab (0.06)	0.15a (0.00)	0.55a (0.04)	0.31b (0.01)	1.00a (0.13)	0.01a (0.01)
		2 : 2 : 1	0.87ab (0.07)	0.01b (0.00)	0.53a (0.17)	0.24b (0.02)	0.61bc (0.13)	0.01a (0.01)
	Control		0.62b (0.15)	0.21a (0.04)	0.56a (0.10)	0.09c (0.01)	0.48c (0.13)	0.02a (0.01)
L. leptolepis	Fertilizer ratio (N : P : K)	3 : 4 : 1	0.87a (0.11)	0.01b (0.01)	0.59ab (0.03)	0.04b (0.01)	0.68ab (0.11)	0.22a (0.04)
		6 : 4 : 1	0.88a (0.19)	0.01b (0.01)	0.51bc (0.09)	0.05b (0.02)	0.59ab (0.02)	0.22a (0.04)
		3 : 8 : 1	1.12a (0.09)	0.01b (0.01)	0.67ab (0.09)	0.10a (0.01)	0.60ab (0.03)	0.17a (0.04)
		3 : 4 : 2	1.03a (0.20)	0.01b (0.01)	0.73a (0.03)	0.17a (0.01)	0.87a (0.06)	0.16a (0.03)
		2 : 2 : 1	1.09a (0.18)	0.11a (0.01)	0.67ab (0.18)	0.02b (0.01)	0.52b (0.04)	0.15a (0.02)
	Control		0.83a (0.06)	0.07ab (0.03)	0.39c (0.05)	0.01b (0.01)	0.73a (0.04)	0.15a (0.01)
Q. acutissima	Fertilizer ratio (N : P : K)	3 : 4 : 1	1.07a (0.22)	0.12a (0.01)	0.45a (0.04)	0.10a (0.02)	0.28b (0.12)	0.11a (0.00)
		6 : 4 : 1	1.13a (0.14)	0.12a (0.01)	0.50a (0.04)	0.09a (0.01)	0.33ab (0.02)	0.12a (0.02)
		3 : 8 : 1	1.15a (0.04)	0.12a (0.01)	0.45a (0.01)	0.10a (0.01)	0.45a (0.13)	0.15a (0.00)
		3 : 4 : 2	1.01a (0.27)	0.11a (0.02)	0.38a (0.05)	0.10a (0.02)	0.34ab (0.12)	0.12a (0.04)
		2 : 2 : 1	0.93a (0.06)	0.11a (0.01)	0.25b (0.02)	0.10a (0.01)	0.32ab (0.07)	0.09a (0.01)
	Control		0.75b (0.16)	0.10a (0.02)	0.17c (0.02)	0.07a (0.01)	0.21b (0.03)	0.09a (0.01)

Table 2. Continued.

Species	Fertilization treatment		Foliage		Shoot		Root	
			K	Na	K	Na	K	Na
B. platypylla var. *japonica*	Fertilizer ratio (N : P : K)	3 : 4 : 1	0.87ab (0.08)	0.01b (0.00)	0.59ab (0.21)	0.04b (0.02)	0.68b (0.02)	0.22a (0.02)
		6 : 4 : 1	0.88ab (0.06)	0.01b (0.00)	0.51ab (0.03)	0.05b (0.01)	0.59b (0.06)	0.22a (0.01)
		3 : 8 : 1	0.53b (0.04)	0.01b (0.01)	0.67ab (0.02)	0.10a (0.01)	0.60b (0.20)	0.17a (0.04)
		3 : 4 : 2	1.03a (0.08)	0.01b (0.01)	0.39b (0.01)	0.17a (0.02)	0.52b (0.13)	0.16a (0.03)
		2 : 2 : 1	1.12a (0.12)	0.07ab (0.00)	0.73a (0.02)	0.02b (0.01)	0.87a (0.12)	0.15a (0.01)
	Control		1.41a (0.32)	0.11a (0.01)	0.26c (0.03)	0.15a (0.02)	0.84a (0.21)	0.15a (0.03)

Species	Fertilization treatment		Foliage		Shoot		Root	
			Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
P. densiflora	Fertilizer ratio (N : P : K)	3 : 4 : 1	0.94a (0.05)	0.27a (0.05)	0.89b (0.04)	0.33a (0.03)	0.71a (0.03)	0.35a (0.02)
		6 : 4 : 1	1.15a (0.12)	0.27a (0.03)	0.85b (0.06)	0.30a (0.01)	0.69a (0.10)	0.28ab (0.02)
		3 : 8 : 1	1.04a (0.08)	0.32a (0.02)	1.06b (0.09)	0.33a (0.00)	0.78a (0.07)	0.26ab (0.01)
		3 : 4 : 2	1.06a (0.07)	0.30a (0.02)	1.11ab (0.06)	0.28a (0.02)	0.80a (0.07)	0.25ab (0.03)
		2 : 2 : 1	1.04a (0.06)	0.28a (0.04)	1.09ab (0.13)	0.26a (0.02)	0.84a (0.29)	0.21b (0.03)
	Control		1.11a (0.08)	0.23a (0.02)	1.34a (0.16)	0.26a (0.02)	0.91a (0.09)	0.24ab (0.02)
L. leptolepis	Fertilizer ratio (N : P : K)	3 : 4 : 1	1.00ab (0.13)	0.56a (0.03)	0.63ab (0.07)	0.15a (0.03)	1.17a (0.03)	0.24a (0.02)
		6 : 4 : 1	1.29a (0.07)	0.55a (0.03)	0.65ab (0.07)	0.14a (0.02)	1.30a (0.07)	0.22a (0.01)
		3 : 8 : 1	1.06ab (0.04)	0.57a (0.01)	0.81a (0.05)	0.18a (0.02)	1.28a (0.02)	0.24a (0.01)
		3 : 4 : 2	0.82b (0.06)	0.42b (0.02)	0.55b (0.08)	0.15a (0.01)	1.18a (0.02)	0.24a (0.00)
		2 : 2 : 1	0.90ab (0.16)	0.49ab (0.03)	0.56b (0.16)	0.15a (0.03)	1.01a (0.12)	0.20a (0.03)
	Control		0.93ab (0.22)	0.44b (0.04)	0.55b (0.02)	0.14a (0.01)	0.60b (0.23)	0.20a (0.02)

Table 2. Continued.

Species	Fertilization treatment		Foliage Ca	Foliage Mg	Shoot Ca	Shoot Mg	Root Ca	Root Mg
Q. acutissima	Fertilizer ratio (N : P : K)	3 : 4 : 1	1.97ab (0.22)	0.38a (0.05)	1.28a (0.13)	0.24a (0.01)	0.94a (0.04)	0.16b (0.01)
		6 : 4 : 1	2.37a (0.20)	0.38a (0.04)	1.15a (0.08)	0.25a (0.01)	0.91a (0.12)	0.21a (0.02)
		3 : 8 : 1	1.27b (0.09)	0.35a (0.02)	1.05a (0.09)	0.21a (0.02)	0.92a (0.06)	0.23a (0.02)
		3 : 4 : 2	1.67ab (0.32)	0.31a (0.02)	1.42a (0.59)	0.21a (0.04)	1.08a (0.41)	0.22a (0.12)
		2 : 2 : 1	1.51ab (0.22)	0.41a (0.05)	1.50a (0.22)	0.19a (0.02)	0.66b (0.09)	0.15b (0.00)
	Control		1.26b (0.16)	0.32a (0.04)	1.23a (0.22)	0.19a (0.06)	0.96a (0.03)	0.18b (0.01)
B. platypylla var. *japonica*	Fertilizer ratio (N : P : K)	3 : 4 : 1	1.00ab (0.20)	0.56a (0.09)	0.65b (0.31)	0.15a (0.08)	1.17bc (0.02)	0.24a (0.01)
		6 : 4 : 1	1.29ab (0.21)	0.55a (0.01)	0.56c (0.00)	0.14a (0.01)	1.30a (0.04)	0.22a (0.02)
		3 : 8 : 1	1.06ab (0.07)	0.57a (0.05)	0.55c (0.09)	0.18a (0.01)	1.28a (0.09)	0.24a (0.04)
		3 : 4 : 2	0.82b (0.09)	0.46ab (0.05)	0.55c (0.09)	0.15a (0.05)	1.18bc (0.21)	0.24a (0.02)
		2 : 2 : 1	0.90b (0.19)	0.49a (0.02)	0.63b (0.06)	0.15a (0.02)	1.01c (0.08)	0.20a (0.01)
	Control		1.46a (0.08)	0.42b (0.07)	0.81a (0.12)	0.14a (0.03)	0.37d (0.11)	0.20a (0.03)

2. 비료의 종류와 양분 농도

2.1 질소와 인

일반적으로 잎, 줄기 뿌리 내 질소와 인의 농도는 산림용 고형 복합비료나 UF 복합비료의 처리구에서 대조구에 비하여 높은 것으로 나타나고 있다 (Table 3). 또한 소나무를 제외한 다른 수종에서는 산림용 고형 복합비료나 UF 복합비료의 시비량이 증가할수록 대부분의 묘목 부위에서 질소와 인의 농도가 증가하는 현상이 나타났다. 시비량 증가에 따른 양분 농도 증가는 다른 연구에서도 일반적으로 관찰되는 결과이다[8,11,19]. 소나무 경우 시비량을 증가시켜도 묘목 내 질소와 인의 농도는 변화하지 않았는데, 이는 표준 시비량이 묘목에 필요한 적정 양분 수준일 가능성과 관련이 있는 것으로 보인다. 또한 소나무에서 속효성 비료를 사용하는 경우 시비량을 증가시키면 묘목 내 질소와 인의 농도도 증가되지만 (앞의 "비료의 성분별 양분 농도" 참조), 산림용 고형 복합비료나 UF 복합비료와 같은 완효성 비료를 사용하면 양분 흡수가 서서히 일어나, 양분 농도 증가 효과가 지연되어 나타날 수도 있는 것으로 판단된다. 상수리나무에 UF 복합비료를 처

리한 경우 줄기와 잎에서 인의 농도가 2배 처리구에 비하여 3배 처리구에서 낮게 나타나 시비 처리 양이 과다하여 오히려 양분이 과소비되기 때문인 것으로 보인다[9,20]. 한편 대부분의 경우 동일한 양을 사용한 경우 산림용 고형 복합비료와 UF 복합비료 처리간에 묘목 내 부위별 질소와 인의 농도 차이는 없는 것으로 나타나 비료의 종류에 따른 양분 농도 변화 효과는 없는 것으로 보인다. 질소와 인의 농도는 잎>뿌리>줄기의 순으로 나타나지만, 소나무에서는 뿌리 내 인의 농도가 잎에서보다 높은 것으로 나타나고 있다 (Table 3).

Table 3. Nitrogen and P concentrations (%) of seedling components following fertilization with different fertilizer types and quantities. One standard error of the means is in parentheses. Values with the same letters do not differ among different treatments within a seedling component in a species

Species	Fertilization treatment		Foliage N	Foliage P	Shoot N	Shoot P	Root N	Root P
P. densiflora	Solid combination fertilizer	standard	0.749b (0.134)	0.127a (0.001)	0.211ab (0.052)	0.108a (0.005)	0.742a (0.078)	0.289a (0.009)
		double	1.163a (0.041)	0.139a (0.006)	0.309a (0.038)	0.105a (0.005)	0.809a (0.106)	0.289a (0.008)
		triple	1.341a (0.067)	0.155a (0.009)	0.370a (0.067)	0.114a (0.022)	0.918a (0.041)	0.269a (0.015)
	UF combination fertilizer	standard	1.059ab (0.106)	0.140a (0.012)	0.382a (0.025)	0.120a (0.007)	0.669ab (0.108)	0.270a (0.017)
		double	1.106a (0.022)	0.129a (0.001)	0.346a (0.040)	0.125a (0.002)	0.804a (0.062)	0.308a (0.039)
		triple	1.147a (0.177)	0.142a (0.017)	0.335a (0.117)	0.078ab (0.016)	0.775a (0.048)	0.338a (0.027)
	Control		0.241c (0.087)	0.053b (0.006)	0.091b (0.037)	0.068a (0.011)	0.397b (0.167)	0.107b (0.011)
L. leptolepis	Solid combination fertilizer	standard	0.574bc (0.085)	0.228ab (0.049)	0.150c (0.040)	0.130a (0.008)	0.579b (0.099)	0.156b (0.035)
		double	0.998ab (0.065)	0.211ab (0.013)	0.164c (0.025)	0.113ab (0.008)	0.893a (0.040)	0.188b (0.016)
		triple	1.318a (0.215)	0.329a (0.098)	0.403ab (0.070)	0.131a (0.002)	0.912a (0.056)	0.178b (0.007)
	UF combination fertilizer	standard	0.740b (0.081)	0.342a (0.028)	0.128c (0.062)	0.110b (0.005)	0.433b (0.109)	0.155b (0.015)
		double	0.774b (0.272)	0.328a (0.046)	0.323b (0.077)	0.117b (0.007)	0.827a (0.039)	0.270a (0.015)
		triple	1.028ab (0.103)	0.303a (0.027)	0.488a (0.033)	0.129a (0.002)	0.942a (0.029)	0.262a (0.035)
	Control		0.257c (0.034)	0.075c (0.004)	0.043d (0.019)	0.058c (0.003)	0.142c (0.028)	0.055b (0.006)

Table 3. Continued.

Species	Fertilization treatment		Foliage		Shoot		Root	
			N	P	N	P	N	P
Q. acutissima	Solid combination fertilizer	standard	1.132b (0.088)	0.233b (0.017)	0.128ab (0.068)	0.106b (0.006)	0.457bc (0.066)	0.139c (0.011)
		double	1.569a (0.093)	0.261b (0.038)	0.157ab (0.016)	0.132a (0.005)	0.713ab (0.123)	0.185b (0.011)
		triple	1.554a (0.184)	0.217b (0.021)	0.258a (0.033)	0.141a (0.010)	0.862a (0.099)	0.251a (0.012)
	UF combination fertilizer	standard	1.304ab (0.038)	0.249b (0.025)	0.193ab (0.017)	0.150a (0.015)	0.442bc (0.074)	0.172bc (0.008)
		double	1.316ab (0.056)	0.342a (0.020)	0.135ab (0.054)	0.138a (0.016)	0.672ab (0.083)	0.231a (0.028)
		triple	1.522a (0.047)	0.239b (0.011)	0.261a (0.040)	0.096bc (0.034)	0.804a (0.103)	0.238a (0.010)
	Control		0.524c (0.158)	0.107c (0.025)	0.078c (0.038)	0.056c (0.015)	0.213d (0.023)	0.065d (0.008)
B. platypylla var. *japonica*	Solid combination fertilizer	standard	1.282bc (0.024)	0.383ab (0.033)	0.058c (0.033)	0.081a (0.001)	0.560bc (0.092)	0.163c (0.010)
		double	1.570ab (0.171)	0.475a (0.045)	0.134bc (0.046)	0.077a (0.009)	0.818ab (0.031)	0.178bc (0.003)
		triple	1.636ab (0.030)	0.419a (0.052)	0.316a (0.036)	0.078a (0.004)	0.936a (0.110)	0.216ab (0.018)
	UF combination fertilizer	standard	1.115bc (0.168)	0.486a (0.073)	0.183b (0.0051)	0.073a (0.004)	0.874ab (0.212)	0.219ab (0.023)
		double	1.975a (0.235)	0.531a (0.076)	0.138bc (0.104)	0.082a (0.005)	0.856ab (0.035)	0.200ab (0.010)
		triple	1.638ab (0.168)	0.497a (0.059)	0.256a (0.036)	0.068a (0.011)	1.093a (0.082)	0.232a (0.010)
	Control		0.822c (0.208)	0.241b (0.018)	0.077c (0.035)	0.080a (0.013)	0.252d (0.068)	0.083d (0.016)

2.2 칼륨, 나트륨, 칼슘, 마그네슘의 농도

소나무에서는 시비 처리의 효과가 칼륨에서 나타나 줄기를 제외하고 잎과 뿌리에서 시비처리구가 대조구에 비하여 높은 농도를 보이고 있다 (Table 4). 특히 칼륨의 농도는 잎과 뿌리의 경우 고형복합비료 3배 처리구가 가장 높고, 줄기에서는 UF복합비료와 고형복합비료 3배 처리구가 다른 처리구보다 높은 농도를 나타내었다. 나트륨의 농도는 잎과 줄기에서 고형복합비료 또는 UF 복합비료 3배 처리구가 다른 처리구와 대조구에 비하여 낮은 값을 나타내었다. 칼슘의 농도는 비료의 종류와 관계없이 부위별로 시비량 증가에 따른 농도 변화가 일정한 경향을 보이지 않았고, 마그네슘은 모든 부위에서 시비처리 효과가 나타나지 않았다 (Table 4).

낙엽송에서 칼륨의 농도는 잎의 경우 고형 복합비료와 UF 복합비료의 양을 증가시킬수록 감소하는 것으로 나타났으나, 줄기와 뿌리에서는 일정한 경향을 보이지 않았다. 나트륨의 농도는 잎에서 고형복합비료와 UF 복합비료 3배 처리구에서 가장 높게 나타났다. 칼슘의 농도는 잎에서 UF 복합비료 3배 처리구에서 1.66%로 가장 높게 나타났다. 마그네슘 농도는 잎에서 고형복합비료와 UF 복합비료 표준구가 각각 0.51%와 0.48%로 가장 높게 나타났다 (Table 4).

상수리나무에서 칼륨의 농도는 뿌리에서만 시비처리구가 대조구에 비하여 높게 나타났고 나머지 부위에서는 효과가 명확하지 않았다.

Table 4. Potassium, Na, Ca, and Mg concentrations (%) following fertilization with different fertilizer types and quantities. One standard error of the means is in parentheses. Values with the same letters do not differ among different treatments within a seedling component in a species

Species	Fertilization treatment		Foliage		Shoot		Root	
			K	Na	K	Na	K	Na
P. densiflora	Solid combination fertilizer	standard	0.91b (0.09)	0.26a (0.02)	0.54b (0.05)	0.16a (0.01)	0.78b (0.06)	0.01b (0.00)
		double	0.93b (0.10)	0.25a (0.09)	0.61b (0.06)	0.17a (0.02)	1.03b (0.00)	0.01b (0.00)
		triple	1.33a (0.04)	0.21a (0.03)	0.90a (0.23)	0.01c (0.00)	1.35a (0.14)	0.26a (0.03)
	UF combination fertilizer	standard	0.74b (0.32)	0.26a (0.03)	0.56b (0.24)	0.11b (0.05)	0.88b (0.08)	0.02b (0.00)
		double	0.85b (0.05)	0.25a (0.04)	0.80a (0.07)	0.14b (0.01)	0.97b (0.25)	0.01b (0.01)
		triple	0.95b (0.06)	0.13b (0.02)	1.09a (0.02)	0.01c (0.00)	1.13b (0.56)	0.24a (0.06)
	Control		0.62c (0.15)	0.21a (0.04)	0.56b (0.10)	0.09b (0.01)	0.48c (0.13)	0.02b (0.01)
L. leptolepis	Solid combination fertilizer	standard	1.19a (0.21)	0.05b (0.01)	0.69a (0.21)	0.01b (0.01)	0.63b (0.10)	0.02b (0.01)
		double	0.85b (0.02)	0.01b (0.01)	0.58b (0.09)	0.11a (0.01)	1.13a (0.33)	0.10a (0.02)
		triple	0.67b (0.04)	0.20a (0.02)	1.12a (0.02)	0.03b (0.01)	0.72ab (0.02)	0.03b (0.01)
	UF combination fertilizer	standard	1.20a (0.07)	0.04b (0.01)	0.84a (0.06)	0.07a (0.01)	0.76ab (0.05)	0.01b (0.00)
		double	0.73b (0.06)	0.01b (0.01)	0.84a (0.06)	0.15a (0.04)	1.26a (0.34)	0.16a (0.04)
		triple	0.48c (0.11)	0.19a (0.01)	0.53b (0.06)	0.07a (0.02)	0.65ab (0.12)	0.10a (0.06)
	Control		0.83b (0.06)	0.07b (0.03)	0.39b (0.05)	0.01b (0.01)	0.73ab (0.04)	0.15a (0.01)

Table 4. *Continued.*

Species	Fertilization treatment		Foliage K	Foliage Na	Shoot K	Shoot Na	Root K	Root Na
Q. acutissima	Solid combination fertilizer	standard	1.16b (0.15)	0.97a (0.05)	0.63a (0.03)	0.11a (0.01)	0.36a (0.07)	0.10a (0.01)
		double	1.24ab (0.20)	0.18b (0.01)	0.41a (0.04)	0.10a (0.01)	0.38a (0.10)	0.10a (0.01)
		triple	1.33ab (0.11)	0.10b (0.01)	0.40a (0.03)	0.10a (0.01)	0.51a (0.07)	0.09a (0.01)
	UF combination fertilizer	standard	1.21ab (0.10)	0.10b (0.01)	0.55a (0.01)	0.10a (0.01)	0.37a (0.01)	0.09a (0.02)
		double	1.57a (0.17)	0.11b (0.01)	0.48a (0.09)	0.09a (0.02)	0.41a (0.06)	0.12a (0.01)
		triple	1.26ab (0.18)	0.10b (0.00)	0.42a (0.10)	0.07b (0.02)	0.39a (0.09)	0.08a (0.02)
	Control		0.75c (0.16)	0.10b (0.02)	0.17b (0.02)	0.07b (0.01)	0.21b (0.03)	0.09a (0.01)
B. platypylla var. *japonica*	Solid combination fertilizer	standard	0.15c (0.07)	0.18a (0.01)	0.44bc (0.01)	0.21a (0.02)	0.92ab (0.03)	0.22a (0.02)
		double	0.53bc (0.10)	0.13a (0.01)	0.89b (0.03)	0.18ab (0.01)	1.38a (0.20)	0.21a (0.02)
		triple	0.85b (0.04)	0.18a (0.01)	1.32a (0.06)	0.19ab (0.04)	0.46c (0.02)	0.15b (0.01)
	UF combination fertilizer	standard	1.30a (0.24)	0.19a (0.02)	0.48bc (0.05)	0.20a (0.06)	1.09ab (0.50)	0.18ab (0.02)
		double	0.47bc (0.05)	0.14a (0.00)	0.72b (0.08)	0.15b (0.04)	1.15ab (0.08)	0.16b (0.01)
		triple	0.99b (0.04)	0.16a (0.01)	0.65b (0.10)	0.14b (0.02)	0.52bc (0.02)	0.16b (0.02)
	Control		1.41a (0.32)	0.11a (0.01)	0.26c (0.03)	0.15b (0.02)	0.84ab (0.21)	0.15b (0.03)

Species	Fertilization treatment		Foliage Ca	Foliage Mg	Shoot Ca	Shoot Mg	Root Ca	Root Mg
P. densiflora	Solid combination fertilizer	standard	0.77b (0.06)	0.21a (0.01)	1.00a (0.13)	0.30a (0.01)	0.63b (0.01)	0.24a (0.02)
		double	0.81ab (0.21)	0.35a (0.04)	0.80b (0.07)	0.26a (0.03)	0.80a (0.02)	0.27a (0.02)
		triple	0.73b (0.04)	0.23a (0.03)	0.76b (0.04)	0.17a (0.03)	0.86a (0.02)	0.26a (0.02)
	UF combination fertilizer	standard	0.88a (0.25)	0.22a (0.03)	1.09a (0.07)	0.31a (0.02)	0.65b (0.03)	0.25a (0.03)
		double	0.79b (0.06)	0.36a (0.03)	0.90b (0.09)	0.25a (0.02)	0.82a (0.04)	0.23a (0.01)
		triple	0.71b (0.09)	0.22a (0.06)	1.10a (0.11)	0.22a (0.02)	0.91a (0.09)	0.30a (0.04)
	Control		1.11a (0.08)	0.23a (0.02)	1.34a (0.16)	0.26a (0.02)	0.91a (0.09)	0.24a (0.02)

Table 4. Continued.

Species	Fertilization treatment		Foliage Ca	Foliage Mg	Shoot Ca	Shoot Mg	Root Ca	Root Mg
L. leptolepis	Solid combination fertilizer	standard	0.87b	0.51a	0.42c	0.17b	0.61b	0.25a
			(0.10)	(0.09)	(0.03)	(0.01)	(0.06)	(0.03)
		double	0.60c	0.17b	1.24b	0.22ab	0.94ab	0.43a
			(0.03)	(0.04)	(0.05)	(0.02)	(0.02)	(0.04)
		triple	1.14b	0.28b	0.72b	0.42a	1.20a	0.16b
			(0.15)	(0.04)	(0.06)	(0.02)	(0.14)	(0.02)
	UF combination fertilizer	standard	1.04b	0.48a	0.73b	0.20b	0.78ab	0.26a
			(0.08)	(0.03)	(0.04)	(0.01)	(0.07)	(0.03)
		double	0.43c	0.19b	1.50a	0.23ab	1.07a	0.44a
			(0.11)	(0.04)	(0.12)	(0.02)	(0.24)	(0.04)
		triple	1.66a	0.22b	0.93b	0.46a	1.28a	0.13b
			(0.61)	(0.03)	(0.08)	(0.03)	(0.18)	(0.02)
	Control		0.93b	0.44a	0.55c	0.14b	0.60b	0.20a
			(0.22)	(0.04)	(0.02)	(0.01)	(0.23)	(0.02)
Q. acutissima	Solid combination fertilizer	standard	2.06a	0.25b	1.81a	0.24a	0.95a	0.23a
			(0.63)	(0.04)	(0.24)	(0.01)	(0.09)	(0.00)
		double	1.58ab	0.38ab	1.29b	0.23a	1.12a	0.21a
			(0.25)	(0.07)	(0.27)	(0.02)	(0.02)	(0.02)
		triple	1.53ab	0.36ab	0.96b	0.25a	1.06a	0.27a
			(0.41)	(0.04)	(0.31)	(0.02)	(0.04)	(0.03)
	UF combination fertilizer	standard	2.13a	0.33ab	1.38b	0.26a	0.98a	0.26a
			(0.18)	(0.02)	(0.09)	(0.03)	(0.04)	(0.01)
		double	2.35a	0.41a	1.19b	0.30a	1.15a	0.25a
			(1.23)	(0.09)	(0.31)	(0.07)	(0.07)	(0.01)
		triple	1.84ab	0.30ab	1.20b	0.23a	1.03a	0.23a
			(0.34)	(0.02)	(0.08)	(0.01)	(0.03)	(0.02)
	Control		1.26b	0.32ab	1.23b	0.19a	0.96a	0.18b
			(0.16)	(0.04)	(0.22)	(0.06)	(0.03)	(0.01)
B. platypylla var. *japonica*	Solid combination fertilizer	standard	1.29b	0.58a	0.78b	0.13b	0.54b	0.43a
			(0.23)	(0.06)	(0.08)	(0.01)	(0.04)	(0.04)
		double	0.59c	0.13b	0.79b	0.30ab	1.40a	0.58a
			(0.08)	(0.02)	(0.11)	(0.03)	(0.07)	(0.06)
		triple	0.70c	0.29b	1.23ab	0.50a	0.68b	0.13b
			(0.08)	(0.02)	(0.09)	(0.05)	(0.03)	(0.02)
	UF combination fertilizer	standard	2.07a	0.59a	0.88b	0.17b	0.87ab	0.13b
			(0.21)	(0.06)	(0.13)	(0.02)	(0.02)	(0.01)
		double	1.05b	0.10b	0.94b	0.32ab	1.55a	0.54a
			(0.23)	(0.04)	(0.09)	(0.03)	(0.20)	(0.06)
		triple	0.67c	0.33a	1.67a	0.51a	0.82ab	0.14b
			(0.04)	(0.02)	(0.21)	(0.08)	(0.06)	(0.02)
	Control		1.46b	0.42a	0.81b	0.14b	0.37b	0.20b
			(0.08)	(0.07)	(0.12)	(0.03)	(0.11)	(0.03)

나트륨은 잎과 줄기에서 고형복합비료 표준구가 각각 0.97%와 1.81%로 대조구나 다른 처리구에 비하여 가장 높게 나타났으며, 뿌리에서는 처리구간 차이가 없었다. 칼슘과 마그네슘의 농도는 모든 부위에서 시비 처리 후 일정한 변화 경향을 보이지 않았다 (Table 4).

자작나무에서 칼륨의 농도는 잎에서 UF 복합비료 표준구가 대조구와 같은 것을 제외하고 나머지 처리구는 오히려 대조구에 비하여 낮게 나타났고, 줄기와 뿌리에서는 시비 처리 효과가 나타나지 않았다. 나트륨의 농도는 잎과 뿌리에서 처리구와 대조구간 차이가 없었다. 칼슘의 농도는 잎에서 고형복합비료와 UF 복합비료의 처리량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였고, 마그네슘도 이와 유사한 현상을 보였다 (Table 4).

인 용 문 헌

1. 박재형, 이경준. 2001. 질소와 인 시비가 Open-Top Chamber 내에서 오존에 노출시킨 소나무 (*Pinus densiflora*) 묘목의 생장, 탄수화물 농도와 광합성에 미치는 영향. 한국임학회지 90 : 306-313.
2. 손요환, 김진수, 황재홍, 박정수. 1998. 은행나무 묘목에 대한 시비가 생장 및 엽내 양분과 유용 추출물 농도에 미치는 영향. 한국임학회지 87(1) : 98-105.
3. 손요환, 황재우, 이도형, 김종성, 양수영. 2001. 질소 시비와 간벌이 잣나무 당년생 침엽과 소지의 생장 및 양분에 미치는 영향. 한국임학회지 90 : 38-35.
4. 신정아, 손요환, 홍성각, 김영걸. 1999. 질소와 인 시비가 소나무, 일본잎갈나무, 자작나무 묘목의 양분이용효율에 미치는 영향. 한국환경농학회지 18(4) : 304-309.
5. 이경준 2001. 수목생리학. 서울대학교출판부. pp. 182-187.
6. 진현오, 이명종, 신영오, 김정제, 전상근. 1994. 삼림토양학. 향문사. pp. 271.
7. 황정옥, 손요환, 이명종, 변재경, 정진현, 이천용. 2003. 비료의 성분 및 종류와 묘목과의 관계 연구 I. 생체량, SLA, 및 엽록소 함량에 미치는 영향. 임산에너지 22(2) : 44-53.
8. Binkley, D. 1986. Forest Nutrition Management. Wiley. pp. 290.
9. Binkley, D., F. W. Smith and Y. Son. 1995. Nutrient supply and declines in leaf area and production in lodgepole pine. Can. J. For. Res. 25 : 621-628.
10. Binkley, D. and P. Högberg. 1997. Does atmospheric deposition of acidity and nitrogen threaten Swedish forests? For. Ecol. Mgmt. 92 : 119-152.
11. Li, B., H. L. Allen and S. E. McKeand. 1991. Nitrogen and family effects on biomass allocation of loblolly pine seedlings. For. Sci. 37 (1) : 271-283.
12. Malik. V. and V. R. Timmer. 1998. Biomass partitioning and nitrogen retranslocation in black spruce seedlings on competitive mixedwood sites : a bioassay study. Can. J. For. Res. 28 : 206-215.
13. Munson. A. D. and P. Y. Bermer. 1993. Comparing natural planted black spruce seedling II. Nutrition uptake and efficiency of use. Can. J. For. Res. 23 : 2435-2442.
14. Nilsson, L. O. and K. Wiklund. 1992. Influence of nutrient and water stress on Norway spruce production in south Sweden-the role of air pollutants. Plant Soil 147 : 251-265.
15. Nohrstedt, H. Ö., U. Sikström, and E. Ring. 1993. Experiments with vitality fertilization in Norway spruce stands in southern Sweden. The Forestry Research Institute of Sweden, Report 2 : 1-38.
16. Pettersson, F. 1994. Predictive functions for impact of nitrogen fertilization on growth

over 5 years. The Forestry Research Institute of Sweden, Report 3 : 1-56.

17. SAS. 1988. SAS/STAT User's Guide. 6.03ed. SAS Institute Inc., Cary, NC.

18. Sikström, U., H. O. Nohrstedt, F. Pettersson, and S. Jacobson. 1998. Stem-growth response of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* to nitrogen fertilization as related to needle nitrogen concentration. Trees 12 : 208-214.

19. Sung. S. S., C. C. Black, T. L. Kormanik, S. J. Zarnoch, P. P. Kormanik, and P. A. Counce. 1997. Fall nitrogen fertilization and the biology of *Pinus teada* seedling development. Can. J. For. Res. 27 : 1406-1412.

20. van den Driessche. R and D. Ponsford. 1995. Nitrogen induced potassium deficiency in white spruce (*Picea glauca*) and Engelmann spruce (*Picea engelmannii*) seedlings. Can. J. For. Res. 25 : 1445-1454.