

비료의 성분 및 종류와 묘목과의 관계 연구 I. 생체량, SLA 및 엽록소 함량에 미치는 영향

황정옥², 손요환^{2*}, 이명종³, 변재경⁴, 정진현⁴, 이천용⁴

Studies on relationship between composition and type of fertilizer and seedling

I. Influence on biomass, specific leaf area and chlorophyll content

Hwang, Jung Ok², Yowhan Son^{2*}, Myoung Jong Yi³,
Jae Kyung Byoun⁴, Jin Hyoun Jung⁴, and Chun Young Lee⁴

요약

다양한 환경에 적용 가능한 산림용 비료를 개발하고 토양조건에 따라 성분비를 달리하는 주문형 배합비료 개발을 위하여 본 실험을 수행하였다. 소나무, 낙엽송, 상수리나무, 자작나무 등의 1-1년생 묘목을 대상으로 질소, 인, 칼륨의 함량비가 다른 복합비료와 다른 양의 산림용 고품 복합비료 및 UF 복합비료를 시비하고, 묘목의 생체량, 단위 건중량 당 엽면적(SLA)과 엽 내 엽록소 함량 등을 측정하였다. 시비 후 묘목의 잎, 줄기, 뿌리의 생체량은 각 시비처리구간 차이가 없었다. 산림용 고품 복합비료와 UF 복합비료의 2배 처리구에서는 생체량이 증가하였으나 3배 처리구의 경우 오히려 감소하였다. SLA (cm²/g)는 소나무 6:4:1 (N:P:K) 처리구와 낙엽송 3:4:1 처리구에서 각각 59.2와 110.0 등으로 다른 처리구보다 높은 반면, 상수리나무와 자작나무는 오히려 대조구가 각각 207.5와 202.0 등으로 다른 처리구보다 높았다. 시비 후 엽록소 함량 (mg/g FW)은 소나무와 낙엽송에서 질소의 비가 2배 높은 6:4:1 처리구에서 각각 0.222와 0.127 등으로써 3:4:1 시비 처리구의 0.211과 0.082 등보다 높게 나타나, 질소 시비가 엽록소 함량에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

1. 접수 2003년 6월 24일 Received on June 24th, 2003.

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. 임업연구원 임지보전과 (Division of Forest Soil Conservation, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea)

ABSTRACT

This study was conducted to develop new fertilizers which can be applied to various environmental conditions. Fertilizers with different levels of nitrogen, phosphorus and potassium, and different types and amount of combined fertilizers were used on 1-1 seedlings of *Pinus densiflora*, *Larix leptolepis*, *Quercus acutissima*, and *Betula platyphylla* var. *japonica*. Biomass, specific leaf area (SLA) and chlorophyll content of foliage were measured. Biomass of foliage, shoot, and root showed no differences among fertilization treatments. Biomass of double treatments of solid-combination fertilizer and UF combination fertilizer increased whereas those of triple treatments decreased. SLA (cm²/g) of *P. densiflora* for the 6:4:1 treatment and *L. leptolepis* for the 3:4:1 treatment showed the highest with 59.2 and 110.0, respectively, but those of *Q. acutissima* and *B. platyphylla* var. *japonica* for the control showed the higher than other treatments with 207.5 and 202.0, respectively. Chlorophyll contents (mg/g) in the foliage of *P. densiflora* and *L. leptolepis* fertilized with the 6:4:1 treatment were 0.222 and 0.127, respectively, and these contents were higher than those of the 3:4:1 treatment with 0.211 and 0.082, respectively. These results suggested that the increased nitrogen fertilization had an effect on increase of chlorophyll contents.

Key words: *Betula platyphylla* var. *japonica*, biomass, chlorophyll, fertilization, *Pinus densiflora*, *Larix leptolepis*, *Quercus acutissima*, seedling, specific leaf area

서론

식물의 성장에는 여러 가지 양분이 관계되며, 필수 원소가 부족한 경우 결핍 증상과 아울러 성장 감소 현상이 나타난다. 질소는 아미노산과 단백질, 그리고 엽록소의 주요 구성 성분으로 다른 원소보다 결핍되기 쉬우며, 결핍시 성숙잎의 황화와 같은 외형적 증상이 자주 나타난다. 또한 질소가 결핍된 식물은 지상부 생장이 저조하여 T/R율이 낮아지는데 반하여, 질소가 과다하면 잎이 짙은 녹색을 띠며, 지상부가 왕성하게 자라서 T/R율이 높아진다⁵⁾. 인은 에너지를 생산하고 전달하는 과정에 관여하며 광합성과 호흡 작용에서 당류와 결합하여 여러 가지 신진대사를 주도한다. 그런데 인이 결핍되면 왜성화로 묘목의 생장이 둔화되며 소나무의 경우에는 엽색이 자주색으로 변화된다¹⁷⁾. 칼륨은 광합성과 호흡작용에 관여하

는 효소의 활성화 역할을 하며 전분과 단백질 합성 효소를 활성화한다. 그리고 칼륨은 체내에서 이동이 용이하기 때문에 성숙잎에서 결핍증이 먼저 나타나는데, 잎에 검은 반점이 생기며 잎 가장자리에 황화 증상이 일반적이다.

질소 시비를 통한 임목 생육 증가는 많은 연구 결과를 통해 확인된 바 있다⁸⁾¹²⁾. Bailian 등¹⁰⁾은 *Pinus teada* L. 묘목의 줄기, 잎, 뿌리 생체량 분배와 생장에 질소가 중요한 영향을 미친다고 보고하였으며, 질소의 유효도는 수목 내부에서의 생체량 분배에 영향을 미치는 중요한 환경적 요인으로 간주되고 있다¹⁴⁾. Malik 등¹⁶⁾과 Sung 등²⁰⁾은 질소를 시비하면 묘목의 고사율이 감소하고 묘목 성장 저하나 양분 불균형 없이 묘목의 질소 농도와 생체량이 증가한다고 하였다. 또한 Comerford 등¹⁵⁾은 인 시비가 F층, 인 농도, 양이온 등의 양을 증가시킨다고 하였으며, 한편 인이 부족한 토양의 임

목은 활착률이 낮고 고사율이 높은 것으로 확인된 바 있다¹⁾.

국외의 경우 필요에 따라 질소 혹은 인 등의 한 가지 비료 공급만을 하는 경우가 많으나 우리나라는 질소, 인, 칼륨의 3요소를 배합한 혼합비료를 주로 사용한다. 시비량은 수종, 임목 크기, 토양 종류 등에 따라 다르며 포트 시험과 산지시험을 통하여 비료의 적정량을 계산하는 것이 일반적이다⁶⁾. 현재 우리나라에서 유일하게 사용되고 있는 산림형 고품복합비료는 질소, 인, 칼륨의 비율이 3:4:1로 10% 정도의 peat나 zeolite가 혼합되어 있다⁷⁾. 그러나 1977년도에 개발된 산림용 고품복합비료는 단 1종으로 다양한 입지조건 및 대상수종에 대한 고려없이 사용되고 있는 실정이다. 따라서 임목의 생산성 향상을 위해서 입지 조건 및 수종에 대한 선택적 비료 개발이 필요한 것으로 판단된다.

본 연구는 다양한 환경에 적용 가능한 산림용 신비종을 개발하고, 토양 조건에 따라 성분비를 달리하는 주문형 배합비료 개발을 위한 기초 자료를 얻기 위하여 다양한 시비 수준 및 비료의 종류와 묘목과의 관계를 구명할 목적으로 수행되었다. 연구 대상 수종으로는 우리나라에서 가장 널리 식재되고 있는 소나무 (*Pinus densiflora* S. et Z), 낙엽송 (*Larix leptolepis* Gorden), 자작나무 (*Betula platyphylloides* var. *japonica*), 상수리나무 (*Quercus acutissima* Carruthers) 등으로 하였다.

재료 및 방법

1. 시비실험

2002년 3월 30일부터 2002년 10월 4일까지 5개월 동안 강원대학교 산림과학대학 묘포장에서 전술한 4개 수종의 1-1년생 묘목을 포트(위 직경 35cm, 아래 직경 20cm, 높이 35cm)에 심어 시비실험을 수행하였다.

비료는 질소의 경우 요소, 인은 용과린, 칼륨은 염화칼륨 형태로 N:P:K 성분비를 각각

3:4:1 (N:3.6g, P:4.8g, K:1.2g, 총 9.6g), 6:4:1 (N:7.2g, P:4.8g, K:1.2g, 총 13.2g), 3:8:1 (N:3.6g, P:9.2g, K:1.2g, 총 14g), 3:4:2 (N:3.6g, P:4.8g, K:2.4g, 총 10.8g), 2:2:1 (N:2.4g, P:2.4g, K:1.2g, 총 6g) 등으로 하였다. 유묘가 포트에 완전히 활착된 후인 6월 4일과 7월 25일에 위와 같은 시비량을 절반씩 나누어 두 차례 시비하였고, 처리당 수종별로 각각 15반복을 두었다. 또한 현재 사용되는 산림사업용 비료인 고품복합비료와 UF (Urea Fromaldehyde) 복합비료 (완효성 비료-N:12g, P:16g, K:4g, B:0.3g, 유기물:10%)의 시비효과를 알아보기 위하여 각각 표준구 (15g/본), 2배 처리구 (30g/본), 3배 처리구 (45g/본)로 비료의 양을 달리하여 수종별 10본의 묘목에 시비실험을 수행하였다.

2. 생체량 측정

2003년 10월 4일 수종과 처리별로 3본씩의 묘목을 수확하였다. 묘목은 뿌리 부위가 손상되지 않도록 조심스럽게 굴취하여 지상부와 지하부로 분리하고 지하부를 흐르는 물에 씻어 뿌리의 흙을 제거하였다. 지상부는 다시 줄기와 잎으로 분리하였다. 분리된 잎, 줄기, 뿌리 등을 75℃의 건조기에서 항량이 될 때까지 건조시켜 0.01g 단위까지 건량을 측정하였다.

3. SLA 및 엽록소 함량 측정

채취한 잎 시료 가운데 활엽수는 50개 내외의 잎을 선별하여 Win Folia 5.1a (Regent Instruments Inc. Canada)로, 침엽수는 100개의 침엽을 선별하여 WinNeedle 4.4a (Regent Instruments Inc. Canada)를 이용하여 엽면적을 측정하였다. 엽면적을 측정한 시료는 건조 후 생체량을 측정하였다. 엽 생체량 당 엽면적의 비로 SLA를 산출하였다. 엽록소는 Beer's law⁹⁾의 방법에 따라 각 잎 시료의 생중량 1g을 액체 질소와 막자사발을 이용하여 분쇄한 뒤, 80% acetone을 이용하여 추출하였다. 추출액을 4℃에서 2시간동안 냉장보관 후 상등액

을 spectrophotometer (Hitachi, U-1100)를 이용하여 663nm와 645nm의 파장에서 흡광도를 측정하고, 엽록소 a와 b 및 총 엽록소 함량 등을 구하였다.

4. 통계분석

시비처리별 묘목의 생체량, SLA, 엽록소량 등의 차이를 GLM (General Linear Model)을 이용하여 검정하였고, 통계적으로 유의성이 인정된 평균치 간의 검정은 Duncan multiple range test를 이용하였다. 또한 SLA 및 엽록소 함량과 생체량 사이의 상관관계를 회귀식을 이용하여 분석하였다. 모든 자료는 SAS을 사용하여 통계 처리하였다¹⁸⁾.

결과 및 고찰

1. 생체량

1) 시비수준별 생체량

묘목 전체 생체량은 소나무와 상수리나무에서 모든 시비처리구가 대조구에 비해 높았으나 ($p < 0.05$), 시비처리구간 차이는 유의하지 않았다. 낙엽송은 3:8:1 처리구에서 총 생체량이 97.8g으로 가장 높았다. 자작나무는 3:4:1 처리구에서 총생체량이 151.9g이었으나 질소의 양을 두배로 높인 6:4:1 처리구에서는 163.6g으로 총생체량이 더 많았다 (Fig. 1). 이와 같은 질소 시비량 증가에 따른 생체량 증가 결과는 다른 연구 결과와 유사한 것이다⁴⁾¹⁹⁾²⁰⁾.

임목 부위별 (뿌리, 줄기, 잎) 생체량은 4개 수종 모두에서 대조구와 차이를 나타냈으나, 시비 수준간의 차이는 뚜렷하지 않았다. 낙엽송 3:4:1 처리구에서의 생체량은 줄기 25.8g, 뿌리 23.2g, 잎 20.8g 등이었고, 인의 양을 두 배로 증가시킨 3:8:1 처리구에서는 줄기 36.2g, 뿌리 28.0g, 잎 33.5g 등으로 3:4:1 처리보다 높게 나타났다. 한편 자작나무 생체량의 경우 줄기는 3:4:1 처리구에서 57.8g이었으나, 질소의 양을 두 배로 한 6:4:1 처리구는 62.6g으로 더

높게 나타났다 (Fig. 1). 낙엽송은 인의 시비량에, 자작나무의 줄기 부위는 질소의 시비량에 영향을 많이 받는 것으로 보인다.

임목 부위별 생체량의 경우 상수리나무와 자작나무는 모든 처리구에서 뿌리의 생체량이 가장 많아서, Sung 등²⁰⁾의 연구 결과 나타난 잎, 줄기, 뿌리 등의 순서와는 다르게 나타났다. 이는 활엽수와 침엽수의 생육 특성 차이, 수종간 광합성 산물의 부위별 분배 특성 차이, 양분 부족으로 인한 뿌리 발달 등의 이유로 나타날 수 있다. 침엽수는 질소의 양을 두 배로 한 6:4:1 처리구와 인의 양을 두 배로 한 3:8:1 처리구에서 잎의 생체량이 뿌리의 생체량보다 많게 나타났다. 따라서 침엽수의 경우 잎 생체량은 질소와 인의 양에 영향을 받는 것으로 볼 수 있다. 그리고 뿌리 생체량이 침엽수보다 활엽수에서 더 많아 활엽수의 양분 요구량이 많은 것으로 볼 수 있다.

2) 비료 종류별 생체량

묘목의 전체 생체량은 모든 수종에서 시비 처리구가 대조구보다 높았으나, 각 처리구간 차이의 유의성은 없었다 (Fig. 2). 소나무와 낙엽송은 UF복합비료 2배 처리구에서 전체 생체량이 각각 99.63g, 126.9g 등으로 가장 높았으나, 다른 처리구와 유의한 차이는 없었다. 소나무에서는 T/R를 또한 UF복합비료 2배 처리구가 1.8로 가장 높았으나, 낙엽송의 T/R률은 UF복합비료 2배 처리구의 3.21 다음으로 높았다. 상수리나무와 자작나무의 전체 생체량은 고품복합비료 2배 처리구에서 각각 162.7g과 277.8g 등으로 가장 높았다.

상수리나무는 고품복합비료 3배 처리구, UF복합비료 표준 처리구에서 잎의 생체량이 줄기보다 많았으나 나머지 처리구에서는 반대 경향이 나타났다. 묘목 전체 생체량의 경우 상수리나무에서는 고품복합비료 3배 처리구 > 2배 처리구 > 표준 처리구의 순으로 시비량이 많을수록 생체량이 증가하였으나, 다른 수종의

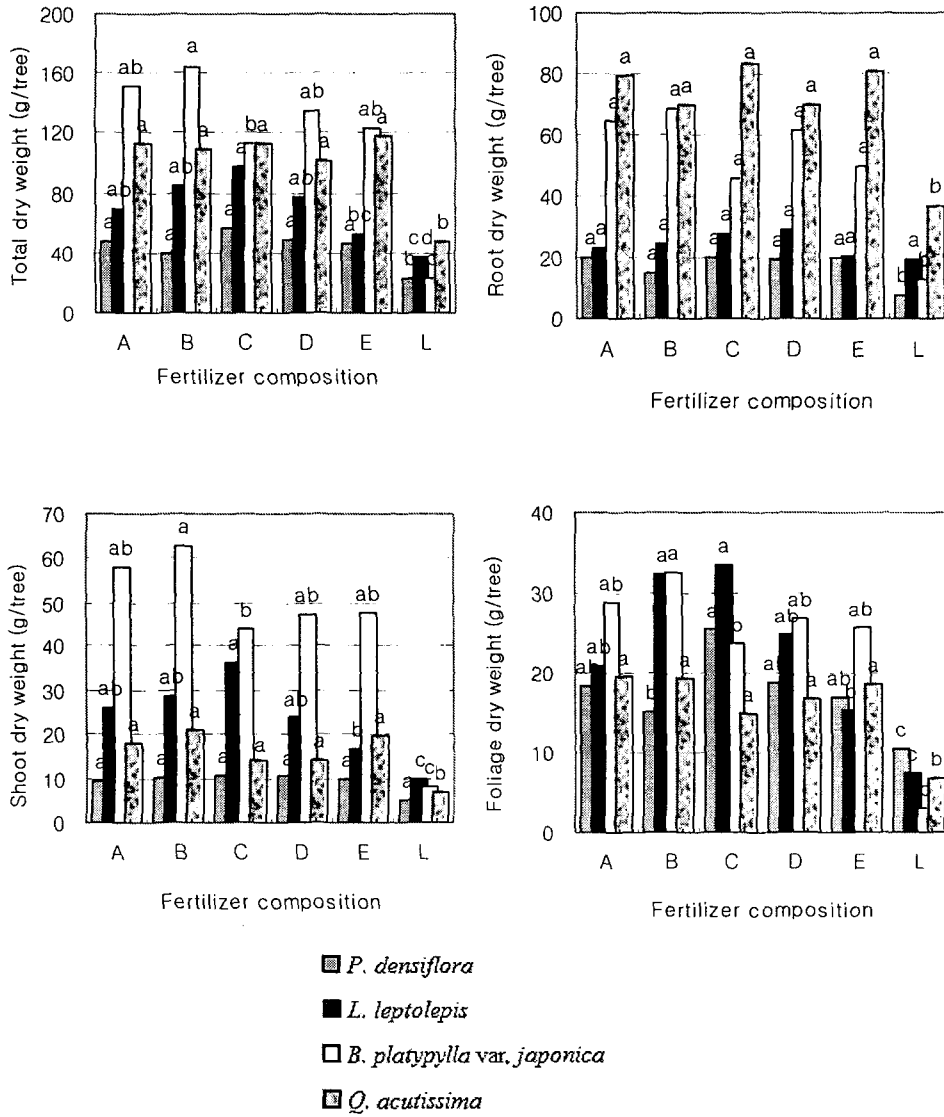


Figure 1. Seedling dry weight following fertilization treatments with different fertilizer composition ratios. Dry weights with the same small letters do not differ among treatments within a species.

A - N:P:K=3:4:1 B - N:P:K=6:4:1 C - N:P:K=3:8:1
 D - N:P:K=3:4:2 E - N:P:K=2:2:1 L - control

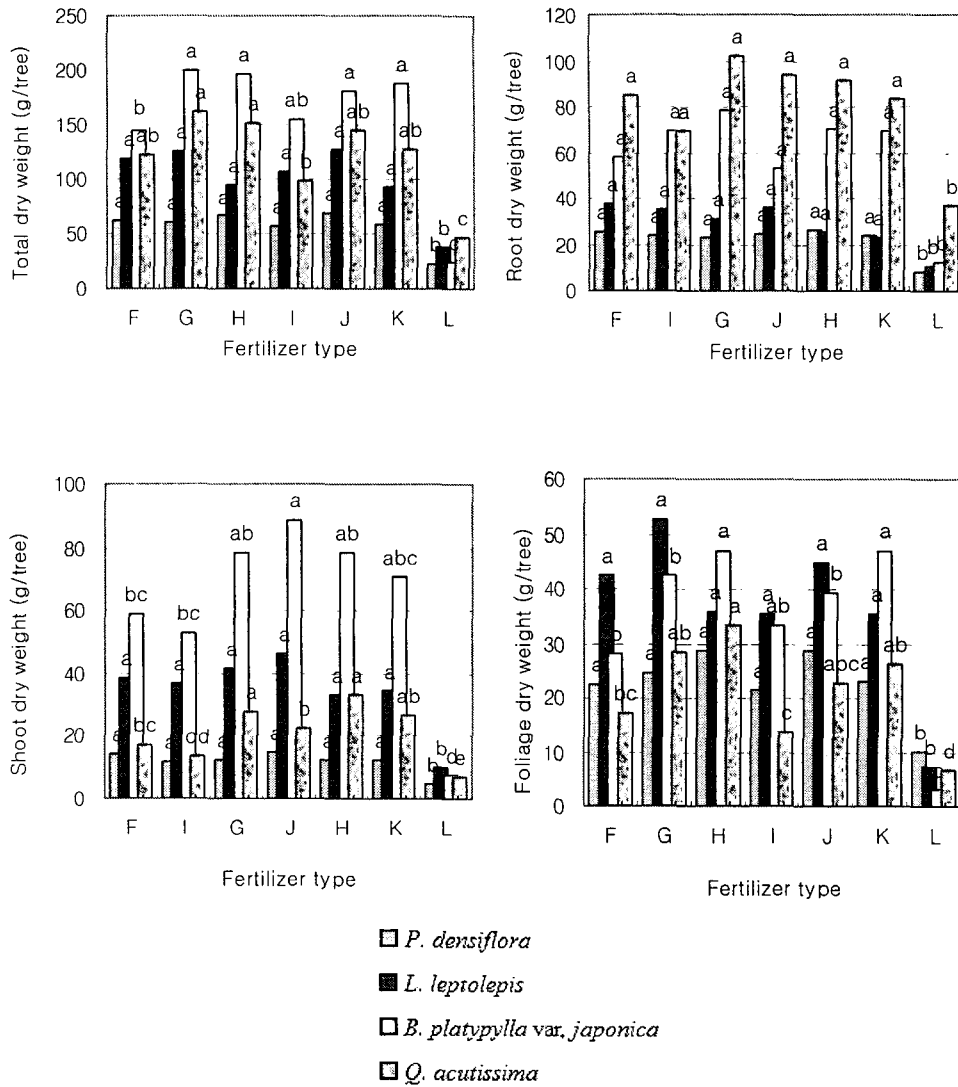


Figure 2. Seedling dry weight following fertilization treatments with different fertilizer types. Dry weights with the same small letters do not differ among treatments within a species.

F - solid combination fertilizer ×1
 H - solid combination fertilizer ×3
 J - UF combination fertilizer ×2
 L - Control

G - solid combination fertilizer ×2
 I - UF combination fertilizer ×1
 K - UF combination fertilizer ×3

경우 2배 처리구보다 오히려 3배 처리구에서 생체량이 적었다. 또한 UF복합비료는 낙엽송을 제외한 다른 수종에서 생체량이 2배 처리구 > 3배 처리구 > 표준 처리구 순으로 나타났다. 따라서 고품복합비료와 UF 복합비료 모두에서 일반적으로 2배 처리구가 묘목 전체 생체량을 가장 많이 하는 것으로 볼 수 있다. 또한 양분의 시비량이 임목 요구량보다 많을 때 오히려 생체량이나 생장이 감소한다는 결과와 유사한 것으로 나타나고 있다^{13) 21)}.

2. SLA 변화

잎의 단위 중량 당 엽면적 (SLA, cm²/g)은 상수리나무와 자작나무의 경우 대조구에서 각

각 207.5와 202.0 등으로 가장 높고, 나머지 처리구 간에는 차이가 없었다 (Table 1). 이는 두 수종에서 시비 후 잎의 단위 면적 당 생체량이 증가한데서 기인한 것으로 보인다³⁾. 그러나 소나무와 낙엽송의 경우 대조구를 포함한 모든 처리구에서 SLA의 차이를 보이지 않았다. 따라서 본 연구 결과 4개 수종 묘목을 대상으로 한 시비는 SLA변화에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 볼 수 있다. 모든 수종 및 시비 처리구의 SLA은 묘목 전체 생체량이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었으나, 상관관계 분석을 한 결과 SLA와 묘목 전체 생체량 및 SLA와 묘목의 잎의 생체량 사이에는 통계적으로 유의한 상관관계가 나타나지 않았다.

Table 1. Specific leaf area (cm²/g) following fertilization treatments. Values with the same small letters do not differ among different fertilizer composition ratios. Values with the same large letters do not differ among different fertilizer types.

		Fertilization treatment	<i>P. densiflora</i>	<i>L. leptolepis</i>	<i>Q. acutissima</i>	<i>B. platyphylla</i> var. <i>japonica</i>
Fertilizer composition	N:P:K	3:4:1	50.6a (2.43)	110.0a (23.0)	129.5b (18.3)	149.5ab (7.2)
		6:4:1	59.2a (6.14)	95.4a (9.36)	119.3b (5.6)	151.2ab (1.8)
		3:8:1	52.7a (1.78)	84.9a (9.20)	114.0b (9.8)	159.4ab (4.4)
		3:4:2	57.7a (1.20)	100.8a (4.60)	128.2b (5.4)	136.8b (5.7)
		2:2:1	41.6a (14.5)	103.2a (18.5)	120.0b (6.7)	153.4ab (10.0)
		Fertilizer type	Solid combination fertilizer	×1	52.2A (6.43)	73.1A (5.83)
×2	50.5A (1.78)			109.0A (16.6)	129.9B (10.3)	159.7AB (9.7)
×3	52.8A (2.62)			103.6A (5.03)	125.9B (4.9)	162.8AB (6.8)
UF combination fertilizer	×1		49.0A (2.15)	90.7A (5.74)	118.9B (4.8)	149.5AB (8.1)
	×2		47.4A (5.58)	91.9A (5.03)	119.5B (10.1)	153.7AB (9.4)
	×3		50.2A (0.40)	104.6A (4.10)	124.3B (4.6)	142.5B (2.4)
Control			56.9aA (2.45)	80.2aA (10.7)	207.5aA (50.5)	202.0aA (48.8)

3. 엽록소 함량

Table 2에 있는 총 엽록소 함량 (mg/g FW) 을 표시하였다. 총엽록소 함량은 소나무와 낙엽송의 경우 6:4:1 처리구에서 각각 0.222와 0.127 등으로 가장 높게 나타났다. 질소 시비가 엽록소 함량에 영향을 미친 것으로 볼 수 있다2). 그러나 상수리나무와 자작나무에서는 오히려 3:4:1 처리구에서 총엽록소 함량이 각각 0.12와 0.086 등으로 높아 다소 상반된 결과를 보이고 있다. 총엽록소 함량은 소나무의 경우 고행복합비료 3배 처리구에서, 낙엽송은

UF복합비료 처리구에서, 그리고 자작나무와 상수리나무에서는 고행복합비료 3배 처리구에서 가장 높게 나타났으나, 처리구간의 차이가 통계적으로 유의하지 않았다. SLA에서와 마찬가지로 묘목 전체 생체량과 총엽록소 함량 사이 및 잎의 생체량과 총엽록소 함량과는 생체량이 많을수록 총엽록소 함량이 증가하는 경향을 보였으나, 통계적으로 유의한 상관관계는 나타나지 않았다.

연구 결과 시비 후 4개 수종 묘목의 생체량, SLA 및 엽록소 함량 등은 큰 변화가 없는 것

Table 2. Total chlorophyll content (mg/g FW) following fertilization treatments. Values with the same small letters do not differ among different fertilizer composition ratios. Values with the same large letters do not differ among different fertilizer types.

Fertilization treatment		<i>P. densiflora</i>	<i>L. leptolepis</i>	<i>Q. acutissima</i>	<i>B. platyphylla</i> var. <i>japonica</i> .	
Fertilizer composition	N:P:K 3:4:1	0.211a* (0.024)	0.082abc (0.023)	0.12a (0.03)	0.086a (0.014)	
	6:4:1	0.222a (0.043)	0.127ab (0.027)	0.08ab (0.01)	0.084a (0.007)	
	3:8:1	0.211a (0.033)	0.089abc (0.013)	0.09a (0.02)	0.080a (0.012)	
	3:4:2	0.154ab (0.004)	0.063bc (0.012)	0.09a (0.01)	0.073a (0.007)	
	2:2:1	0.193a (0.022)	0.074abc (0.015)	0.06b (0.01)	0.085a (0.000)	
Fertilizer type	Solid combination fertilizer	×1	0.181A (0.024)	0.102AB (0.043)	0.09A (0.01)	0.073A (0.003)
		×2	0.163AB (0.029)	0.067AB (0.004)	0.09A (0.01)	0.083A (0.012)
		×3	0.226A (0.042)	0.067AB (0.013)	0.12A (0.01)	0.092A (0.014)
	UF combination fertilizer	×1	0.141AB (0.007)	0.080ABC (0.010)	0.08AB (0.01)	0.059A (0.013)
		×2	0.192A (0.017)	0.142A (0.038)	0.08AB (0.01)	0.087A (0.012)
		×3	0.143AB (0.019)	0.107BC (0.029)	0.08AB (0.01)	0.091A (0.017)
Control		0.089Bb (0.015)	0.033Cc (0.002)	0.06bB (0.01)	0.068Aa (0.011)	

으로 보인다. 일반적으로 시비 후 묘목에 흡수된 양분 증가로 SLA이나 엽록소 함량이 변화되기까지는 상당한 시간이 필요할 것이나, 본 연구에서는 시비 후 짧은 시간 경과 후에 결과를 분석하여 시비 효과가 명확하게 나타나지 않았을 가능성도 있다. 따라서 시비 후 장기간 묘목의 성장과 제반 생리적인 변화를 지속적으로 연구할 필요가 있는 것으로 사료된다.

인용 문헌

1. 마상규. 1979. 비료목 성장에 미치는 인산 비료의 비료효과. 한국임학회지 45:26-36.
2. 박재형, 이경준. 2001. 질소와 인 시비가 Open-Top Chamber 내에서 오존에 노출시킨 소나무 (*Pinus densiflora*) 묘목의 성장, 탄수화물 농도와 광합성에 미치는 영향. 한국임학회지 90(3):306-313.
3. 손요환, 김진수, 황재홍, 박정수. 1998. 은행나무 묘목에 대한 시비가 성장 및 엽내 양분과 유용 추출물 농도에 미치는 영향. 한국임학회지 87(1):98-105.
4. 신정아, 손요환, 홍성각, 김영걸. 1999. 질소와 인 시비가 소나무, 일본잎갈나무, 자작나무 묘목의 양분이용 효율에 미치는 영향. 한국환경농학회지 18(4):304-309.
5. 이경준. 2001. 수목생리학. 서울대학교출판부. p.182-187.
6. 이원규, 주진순, 김석권. 1982. 참나무류 무육시험. 임시 시험연구보고서 p. 329-383.
7. 이원규, 차순형. 1983. 잣나무, 일본잎갈나무 및 현사시 유령림 시비효과시험. 임업시험연구보고서 30:131-152.
8. 이천용, 박봉우. 1988. 산지 시비에 관한 고찰. 한국임학회지 77(1):109-115.
9. 최관순 외 14명. 1997. 작물재배생리의 이론과 실험. 농촌진흥청. p. 612-613.
10. Bailian, L., 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.
11. Bhandal, I.S., and C.P. Malik. 1988. Potassium estimation, uptake, and its role in the physiology and metabolism of flowering plants. Inter. Rev. Cyto. 110:205-254.
12. Binkley, D. 1986. Forest Nutrition Management. Wiley pp. 290.
13. 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.
14. Brix, H. 1983. Effects of thinning and nitrogen fertilization on growth of Douglas-fir: relative contribution of foliage quantity and efficiency. Can. J. For. Res. 13:167-175.
15. Comerford, N.B., M. Mcleod and M. Skinner. 2002. Phosphorus form and bioavailability in the pine rotation following fertilization-P fertilization influences P form and potential bioavailability to pine in the subsequent rotation-. For. Ecol. Mgmt. 169:203-211.
16. Malik. V. and U.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.
17. Morrison, I.K. 1974. Mineral nutrition of conifers with special reference to nutrient status interpretation: A review of literature. Can. For. Serv. 1343:74
18. SAS. 1988. SAS/STAT User's Guide. 6.03 ed. SAS Institute Inc., Cary, NC.
19. Son, Y., J.W. Hwang., Z.S. Kim., W.K. Lee., J.S. Kim. 2001. Allometry and biomass of Korean pine (*Pinus koraiensis*)

- in central Korea. Biore. Tech. 78:251-255.
20. Sung, S.S., C.C. Blank, T.L. Kormanik, S.J. Zarnoch, P.P. Kormanik, and P.A. Counce. 1997. Fall nitrogen fertilization and the biology of *Pinus taeda* seedling development. Can. J. For. Res. 27:1406-1412.
21. 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.