

객토와 심토뒤집기 처리가 물푸레나무, 소나무, 잣나무 묘목의 초기 성장과 양분함량에 미치는 영향

안지영¹ · 박병배^{2*} · 변재경³ · 조민석⁴ · 김용석⁵ · 한시호² · 김세빈²

¹교토대학교 산림생물자원학과, ²충남대학교 산림환경자원학과, ³한국임업진흥원, ⁴국립산림과학원 산림생산기술연구소, ⁵국립산림과학원 산림수도보전과

The Short-term Effects of Soil Brought and Subsoil Inversion on Growth and Tissue Nutrient Concentrations of *Fraxinus rhynchophylla*, *Pinus densiflora*, and *Pinus koraiensis* Seedlings in a Nursery

Ji Young An¹, Byung Bae Park^{2*}, Jae Kyung Byun³, Min Seok Cho⁴,
Yong Suk Kim⁵, Si Ho Han² and Se Bin Kim²

¹Division of Forest and Biomaterials Science, Kyoto University, Kyoto 606-8501, Japan

²Department of Environment and Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

³Korea Forestry Promotion Institute, Seoul 157-841, Korea

⁴Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon 487-829, Korea

⁵Division of Forest Soil and Water Conservation, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

요약: 숲 조성을 위한 조림체계(silvicultural systems)에서 건전한 묘목 생산은 매우 중요한 단계이다. 이 연구의 목적은 포지의 토양 개량이 물푸레나무, 소나무, 잣나무 묘목의 성장과 양분함량에 미치는 영향을 구명하는 것이다. 장기간 사용된 국유 포지 위에 새로운 토양을 30 cm 높이로 쌓은 '객토', 굴삭기를 이용하여 기존 포지를 깊이 100 cm 까지 뒤집기 한 '심토뒤집기', 그리고 기존 포지 토양과 객토를 1:1로 혼합하여 30 cm 높이로 쌓은 '혼합' 처리를 3 반복 처리한 후 토양특성, 성장 및 양분변화를 분석하였다. 미사와 점토의 함량은 심토뒤집기 처리에서 가장 높았고 유기물, 질소, 인 함량은 객토 처리구에서 가장 낮았다. 물푸레나무의 생장은 객토 처리에서 유의하게 낮았고 다른 수종에서는 처리 간 차이가 없었다. 물푸레나무 묘목의 식물체 조직 양분 농도는 모두 뿌리에서만 유의한 차이가 있었고, 질소, 인, 칼륨 농도는 심토뒤집기 또는 객토 처리에서 가장 낮았다. 물푸레나무는 혼합 처리에서 흡수한 질소 량에 비해 생장이 더 증가하여 식물체 농도는 감소하고 양분 함량은 증가하는 '양분희석' 현상을 보였다. 이 연구는 기존 포지 토양과 객토를 1:1로 혼합한 방법이 경제적이면서도 악화된 포지 토양을 개량할 수 있음을 보여주고 있다.

Abstract: The production of high quality seedlings is a very important phase in silvicultural systems for successful reforestation or restoration. The purpose of this study was to quantitatively measure both growth performances and nutrient responses of *Fraxinus rhynchophylla*, *Pinus densiflora*, and *Pinus koraiensis* seedlings, which are commercially planted in Korea, according to the different types of soil improvement treatments. We applied soil brought (hereafter 'brought'), subsoil inversion (hereafter 'subsoil'), and mixture of brought soil with soil on nursery bed (hereafter 'mixing') in a permanent national nursery. Silt and clay contents were the highest at the subsoil treatment and organic material, soil nitrogen and phosphorus concentrations were the lowest at the brought treatment. The growth of *F. rhynchophylla* was the lowest at the subsoil treatment, but there were no significant differences among treatments. There were significant differences in only root nutrient concentrations of *F. rhynchophylla* among treatments: nitrogen, phosphorus, and potassium concentrations were the lowest at the subsoil or brought treatment. Mixing treatment increased N contents with deduction of N concentrations ('dilution') because of more dry weight increase compared with the amount of N uptake. This study suggested mix of brought soil with soil on a nursery bed in a permanently used nursery can economically be an effective technique to improve soil quality.

Key words: soil brought, soil improvement, subsoil, Yongmun Nursery Station, vector diagnosis

*Corresponding author
E-mail: bbpark@cnu.ac.kr

서 론

조립할 때 생존율을 높이고 초기 생장을 증가시키기 위해서는 건전한 묘목 생산이 반드시 필요하다. 특히 생육 환경이 열악한 척박지 조립이나 훼손지 복원을 위해서는 형질뿐만 아니라 생리적 특성도 우수한 묘목생산이 요구된다. 용기묘는 노지묘에 비해 생육환경에 대한 적응성이 높아 조립 성공률이 높지만, 우리나라는 아직 체계적인 용기묘 생산 및 관리기술이 확산되지 않아 전체 조립의 88~91%를 노지묘로 식재하고 있다(Korea Forest Research Institute, 2011).

고정된 묘포에서 여러 해 반복적으로 묘목을 생산할 경우 고온과 저온, 가뭄과 홍수와 같은 기상여건의 변동에 묘포 토양이 취약해질 수 있으므로 토양 환경의 저하와 병·충해가 발생하지 않도록 주의해야 한다. 특히, 토양의 물리·화학적 성은 단일 수종의 연속 생산, 증장비를 이용한 식재 및 굴취에 의한 토양 답압, 지하수의 장기간 관수에 의한 염류 집적, 속효성 화학비료의 무분별한 사용으로 쉽게 악화될 수 있다. 물론 양묘장에서 비료주기는 묘목 생장을 개선하고, 묘목의 내건성, 내한성, 내병성을 증가시켜(Carlson, 1981; Imo and Timmer, 1999; Quoreshi and Timmer, 2000), 조립할 때 묘목의 초기 생존율을 증가시킬 수도 있다(Jacobs and Timmer, 2005; Shin et al., 1999; Son et al., 1998; Timmer, 1996). 그러나 고정 포지에서 수종과 토양특성을 고려하지 않고 수행된 과도한 시비 관행은 토양의 이화학적 성질 악화, 토양 미생물 활동 저하, 발아율 및 생장 저하, 병·충해 발생과 포지 주변 토양 및 하천 오염의 원인이 되고 있다(Andersen and Hansen, 2000; Broschat, 1995).

농경에서는 토양 입자의 크기와 분포를 수직·수평적으로 개량 정비하기 위한 심토뒤집기와 부족한 미량원소를 공급하고 뿌리 발달을 촉진시키기 위한 객토 방법이 다양한 환경에서 이용되어 왔다(Jun et al., 2002). 임업분야에서는 한계농지와 같이 점토 함량이 높고 배수가 불량한 곳에 수목을 식재하기 위해 심경과 객토 방법이 제안되었고(Lee, 1997), 염류 집적이나 중금속 함량이 높은 간척지나 폐광지를 복원할 때 객토 방법이 이용되었다(Jeong et al., 2011; Kwon, 2009). 이는 토양의 물리·화학적 성질을 개량하여 뿌리 발달 향상, 토양 병·해충 감소, 토양 염류 정상화, 생산성 증대, 주변 토양으로 오염원 배출 감소의 효과가 있다.

고정 포지의 토양을 개량하기 위해서는 표토를 제거하거나 새로운 토양으로 객토하는 방법이 있을 수 있으나 아직까지 건전 묘목 생산을 위한 객토와 심토뒤집기 방법에 대한 연구 사례가 부족하여 현장에 적용할 토양 개량 방법 및 기준 정립이 불가능한 실정이다. 이 연구의 목적

은 장기간 묘목 생산으로 우량 묘목 생산비율이 낮은 산림청 용문양묘사업소 포지를 대상으로 하여, 객토와 심토뒤집기 처리가 경제림 육성 수종인 물푸레나무, 소나무, 잣나무 묘목의 초기 생장과 양분함량에 미치는 영향을 정량적으로 비교하는 것이다. 이 연구에서는 처리에 대한 묘목의 생장과 양분상태 간의 관계를 파악하는 양분벡터분석을 통해 식물체 양분농도와 양분함량, 생장 사이의 복잡한 상관관계를 주관적 편견 없이 해석함으로써 장기간 사용되어 토양 환경이 악화된 고정 묘포에서 활용할 수 있는 토양 개량 기술을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

재료 및 방법

1. 연구지역 및 연구대상 수종

이 연구는 2008년 경기도 양평에 위치한 산림청 용문양묘사업소(경기도 양평군 용문면 어수길 91)에서 이루어졌다. 이 지역의 1981년부터 2010년까지 연평균기온은 11.5°C, 연평균강수량은 1,438 mm이다(Korea Meteorological Administration, 2011).

물푸레나무와 소나무는 시험 전년도에 피종한 1년생 묘목을, 잣나무는 2년생 묘목을 이용하였으며, 각각 산림청 관할의 용문양묘사업소, 평창양묘사업소, 양구양묘장에서 생산되었다.

2. 실험 설계

시험지는 용문양묘사업소 내에서 장기간 묘목 생산에 이용된 포지를 깊게(45 cm) 경운한 후에 1 m × 20 m의 묘상을 동서로 배치하였다. 이 실험에서는 대조구를 포함하여 4가지 처리를 수행하였다(Table 1).

대조구로 쓰인 ‘무처리’, 기존 포지 위에 새로운 토양을 30 cm 높이로 쌓은 ‘객토’, 굴삭기를 이용하여 기존 포지를 깊이 100 cm 까지 뒤집기 한 ‘심토뒤집기’, 그리고 기존 포지 토양과 객토를 1:1로 고르게 혼합하여 30 cm 높이로 쌓은 ‘혼합’ 처리를 식재 2주 전인 4월 초순에 처리하였다.

포지와 포지 사이에는 130 cm 간격의 완충 지역을 두었다. 묘상 위에 1 m × 1 m 크기의 조사구를 만들고, 조사구 사이에는 100 cm 이상 거리를 두어 완충역할과 동시

Table 1. Summary of soil improvement treatments.

Treatments	Contents of applied soil improvement
Control	Non treatment
Brought	Piling up brought soil to 30 cm height on nursery top soil
Subsoil	Mixing top soil with subsoil to a depth of 100 cm
Mixing	Mixing top nursery soil with brought soil at a one to one ratio and piling up it to a height of 30 cm

에 작업료로 이용하였다.

처리된 토양에 이식할 묘목 선발을 위해 묘고와 근원경이 유사한 묘목들을 선정하여, 1 m × 1 m 처리구에 물푸레나무는 64본(묘목과 묘목 사이의 식재 거리 12.5 cm), 소나무는 90본(묘목과 묘목 사이의 식재 거리 11.1 cm), 잣나무는 100본(묘목과 묘목 사이의 식재 거리 10 cm)을 식재하였다. 모든 식재는 하루 안에 이루어졌고, 식재 후 충분히 관수하였다.

모든 처리는 3회 반복을 두어 포지에 무작위로 배치하였다(3수종 × 4토양처리 × 3반복 = 36시험구). 식재 후 4주 동안 3일 간격으로 관수하였고, 그 후 건조시에 충분히 관수하였다. 실험 기간 동안 잡초를 연 3회 제거하였다. 묘목의 초기 생장을 조사하기 위하여 식재 2주 후에 묘고와 근원경을 측정하였다. 근원경은 지상으로부터 1 cm 높이에서 측정하였으며, 측정된 자리에 흰 페인트로 표시하여 이후에도 같은 위치를 측정할 수 있도록 하였다.

3. 생장 측정

처리에 따른 생장반응을 측정하기 위해 처리 20주 후에 3수종 모두 묘고와 근원경을 측정하였다. 가장자리 효과를 제거하기 위하여 가장자리 2줄을 제외하고 안쪽에서 묘고와 근원경을 측정하였다. 바이오메스 생산량을 측정하기 위하여 물푸레나무를 대상으로 조사구 중심부에서 임의로 6본을 선정하여 뿌리가 상하지 않도록 굴취하였다. 굴취된 묘목은 흐르는 물로 3번 이상 씻어 뿌리 표면의 흙을 제거하였다. 씻은 묘목을 잎, 줄기, 뿌리로 나누어 65°C의 항온기에서 1주일간 건조시킨 후 부위별 건조량을 측정하였다.

4. 토양 및 식물체 양분 분석

2008년 4월 초순, 포지에 4가지 토양 개량 처리를 한 후, 토양의 물리성과 화학성을 분석하기 위해 무작위로 3지점을 선정하고 0-20 cm 깊이에서 토양 시료를 채취하였다. 토성은 30°C에서 hydrometer법을 사용하여 측정하였다. 유기물 함량은 Tyurin법으로 측정하였으며, 토양산도(pH)와 전기전도도(EC)는 10 g의 토양을 증류수에 1:5 비율로 희석하여 측정하였다. 전질소는 1 g의 토양시료를 Micro-Kjeldahl법으로 측정하였고, 유효인산(P₂O₅)은 Lancaster법을 이용하였다. 치환성 양이온 K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺은 1 N의 NH₄OAc을 이용해 추출한 뒤 Atomic Absorption Spectrometer(AA280FS, USA)를 사용해 측정하였다. 양이온치환능력(C.E.C)은 1 N의 HN₄OAc과 CH₃COOH용액으로 양이온을 추출한 후 Brown법으로 측정하였다.

물푸레나무 조직의 N, P, K 농도를 측정하기 위해 건조한 식물체를 부위별로 나누어 Wiley mill로 곱게 간 후, H₂SO₄와 HClO₄혼합용액을 이용하여 Block digester(BD-46, Lachat Ins., USA)방법으로 유기물을 분해하였다. 전

처리를 마친 시료는 Automated Ion Analyzer(Quik Chem AE, Lachat Ins., USA)를 이용해 식물체 N, P 농도를 측정하였고, Atomic Absorption Spectrometer(AA280FS, USA)를 이용해 식물체 K 농도를 측정하였다.

5. 양분벡터분석 (Vector diagnosis)

처리에 따른 물푸레나무의 생장과 양분변화를 설명하기 위해 수정된 양분벡터분석(Haase and Rose, 1995; Timmer, 1996)을 적용하였다. 양분벡터분석에 대한 해석은 다음과 같다. 식물체 양분농도가 식물 생장과 식물체 양분함량 증가만큼 증가하지 않을 때 ‘양분결핍’으로 판단한다(vector C). 적절한 양분농도에서 생장과 양분함량이 증가하는 동안 농도가 일정하게 유지되는 경우 ‘양분최적’으로 판단한다(vector B). 농도는 증가하지만 생장 변화가 없는 경우는 양분을 과다하게 소비하는 ‘양분과다’ 상태로 판단한다(vector D). 생장이 감소하는 경우는 양분에 의한 ‘과량집적’ 또는 ‘양분결핍’ 상태로 판단할 수 있다(E, F). ‘양분희석’(vector A)은 특정 원소의 결핍으로 인한 생장 제한이 다른 원소에 의해 해소될 때 나타나는 것으로 판단된다.

6. 통계분석

Duncan의 다중 비교 검정(Duncan's multiple comparison tests)을 이용하여 토양처리에 따른 토양특성과 식물체 양분 농도를 유의수준 5%에서 통계 분석(SAS 9.3)하였다. 묘고와 근원경, 건조량은 식재 초기 값을 고려한 공분산 분석(Covariate analysis)을 유의수준 5%에서 수행하였다.

결 과

1. 토양 특성

객토, 심토뒤집기, 혼합의 3가지 토양 개량 처리는 토양의 물리·화학성에 유의한 영향을 주었으며 이는 대조구를 포함한 4가지 처리에 있어서 유의미한 차이로 나타났다(Table 2). 객토처리에서 모래 함량이 가장 높았고 이는 심토뒤집기의 모래함량보다 10% 높은 값을 보였다(P < 0.001). 반면 심토뒤집기 처리에서는 미사(P = 0.004)와 점토(P < 0.001)의 비율이 다른 처리에 비해 유의하게 높았다.

토양 산성도는 심토뒤집기에서 가장 높았고 다른 처리구 사이에는 차이가 없었다(Table 2, P = 0.009). 객토처리 토양의 유기물 함량, 질소함량, 인함량 비율은 각각 18.6%, 41.7%, 6.9%로 대조인 무처리에 비해 유의하게 낮았고, 반면 심토뒤집기와 혼합 처리의 유기물 함량, 질소와 인 농도는 무처리보다 높고 객토처리보다 낮았다. 객토처리에서 칼륨을 제외하고 치환성양이온 농도는 모두 높았다.

Table 2. Soil characteristics after soil improvement treatments. Available P, C.E.C and EC represent $H_2PO_4^-$, cation exchange capacity, and electrical conductivity, respectively. Total N is the sum of organic N and inorganic N. Means with same letters are not significantly different among the treatments at $\alpha = 0.05$. Parentheses are standard errors (n = 3).

	Treatments			
	Control	Brought	Subsoil	Mixing
Texture				
Sand (%)	71.4 ^a (1.2)	74.6 ^a (0.4)	64.7 ^b (0.5)	72.8 ^a (1.7)
Silt (%)	19.9 ^{ab} (1.0)	17.7 ^b (0.3)	22.7 ^a (0.1)	19.4 ^b (0.7)
Clay (%)	8.8 ^b (0.2)	7.7 ^b (0.2)	12.6 ^a (0.5)	7.8 ^b (1.0)
Chemical properties				
pH	6.22 ^a (0.2)	6.03 ^a (0.0)	5.48 ^b (0.0)	6.06 ^a (0.1)
Organic matter (%)	1.72 ^a (0.0)	0.32 ^c (0.1)	1.41 ^{ab} (0.0)	1.12 ^b (0.1)
Total N (g·kg ⁻¹)	1.2 ^a (0.0)	0.5 ^b (0.1)	1.1 ^a (0.0)	1.0 ^a (0.1)
Available P (mg·kg ⁻¹)	328.9 ^a (9.1)	22.8 ^d (5.7)	132.8 ^c (11.2)	228.0 ^b (30.6)
Exchangeable K ⁺ (cmol _c ·kg ⁻¹)	0.55 ^a (0.0)	0.35 ^b (0.0)	0.39 ^b (0.0)	0.40 ^b (0.0)
Exchangeable Ca ²⁺ (cmol _c ·kg ⁻¹)	3.62 ^a (0.5)	4.62 ^a (0.1)	2.00 ^b (0.2)	4.21 ^a (0.5)
Exchangeable Mg ²⁺ (cmol _c ·kg ⁻¹)	0.47 ^c (0.1)	2.70 ^a (0.1)	0.57 ^c (0.0)	1.59 ^b (0.1)
Exchangeable Na ⁺ (cmol _c ·kg ⁻¹)	0.17 ^{bc} (0.0)	0.30 ^a (0.0)	0.15 ^c (0.0)	0.23 ^{ab} (0.0)
C.E.C (cmol _c ·kg ⁻¹)	11.37 ^a (0.4)	8.73 ^b (0.8)	11.81 ^a (0.4)	9.90 ^a (0.1)
EC (ds·m ⁻¹)	3.92 ^a (0.5)	2.03 ^b (0.2)	3.72 ^{ab} (0.5)	2.23 ^{ab} (0.3)

토양 전기전도도는 무처리와 심토뒤집기에서 높고 객토 처리에서 유의하게 낮았다($P=0.018$).

2. 묘고, 근원경, 바이오매스 생장

물푸레나무의 묘고($P=0.013$)와 근원경($P=0.007$)은 객토 처리에서 가장 낮고 다른 처리(대조구, 심토뒤집기, 혼합) 사이에는 유의한 차이가 없었다(Figure 1). 소나무의 묘고와 근원경은 처리에 따른 유의한 차이가 없었고 잣나무의 근원경은 혼합처리에서 가장 낮았다.

물푸레나무 묘목의 잎($P=0.434$), 줄기($P=0.175$), 뿌리($P=0.275$)의 건중량은 처리에 따른 통계적 차이는 없었으나 객토처리는 무처리보다 총건중량을 6.1% 감소시켰고, 혼합처리는 21.1% 증가시켰다(Figure 2). 그러나 객토 처리구의 뿌리 건중량은 무처리 및 심토뒤집기와 비슷하였고, 지상부에 대한 지하부의 건중량비(root to shoot

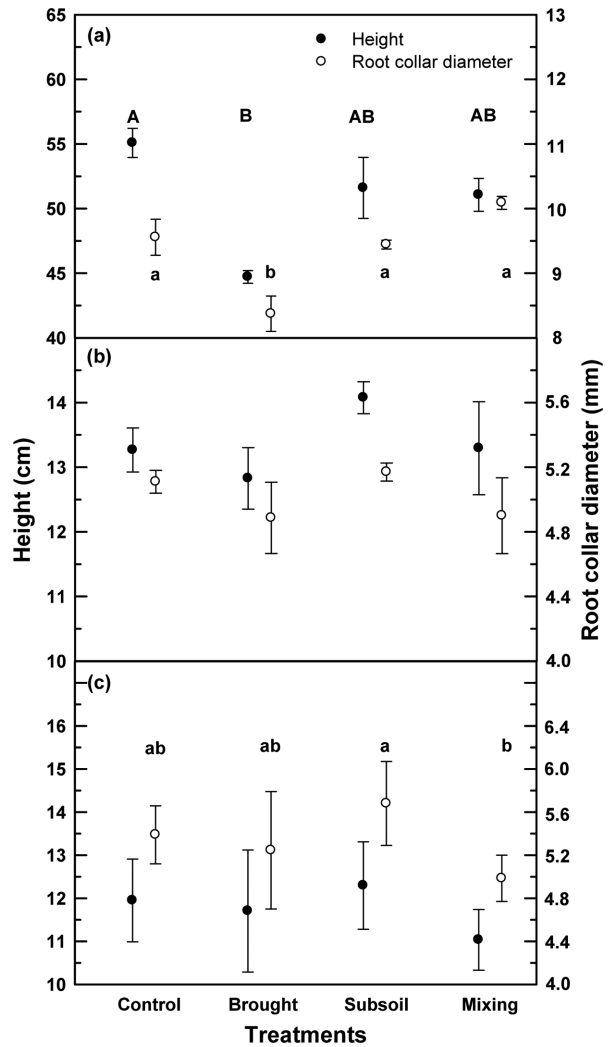


Figure 1. Shoot height (cm) and root collar diameter (mm) of (a) *Fraxinus rhynchophylla*, (b) *Pinus densiflora*, and (c) *Pinus koraiensis* at the different soil improvement treatments. Means with same letters are not significantly different among the treatments at $\alpha = 0.05$. Upper case letters denote differences by treatments for shoot height. Lower case letters denote differences by treatments for root collar diameter. Vertical bars show standard errors (n = 3).

ratio)는 1.56으로 무처리에 비해 13.9% 높았다.

3. 식물체 양분 해석

처리에 따른 물푸레나무 식물체 조직의 질소($P=0.035$), 인($P=0.001$), 칼륨($P=0.027$) 농도는 뿌리에서만 유의한 차이가 있었고, 줄기와 잎의 농도는 차이가 없었다(Table 3). 뿌리의 질소, 인, 칼륨 농도는 무처리에서 가장 높았고 심토뒤집기 또는 객토처리에서 가장 낮았다.

Figure 3는 물푸레나무의 질소 양분벡터분석 결과이다. 혼합 처리는 흡수한 질소량에 비해 생장이 더 증가하여 농도는 감소하고 양분 함량은 증가하는 ‘양분희석’ 현상을 보이며, 객토와 심토뒤집기 처리는 무처리와 생장이 비

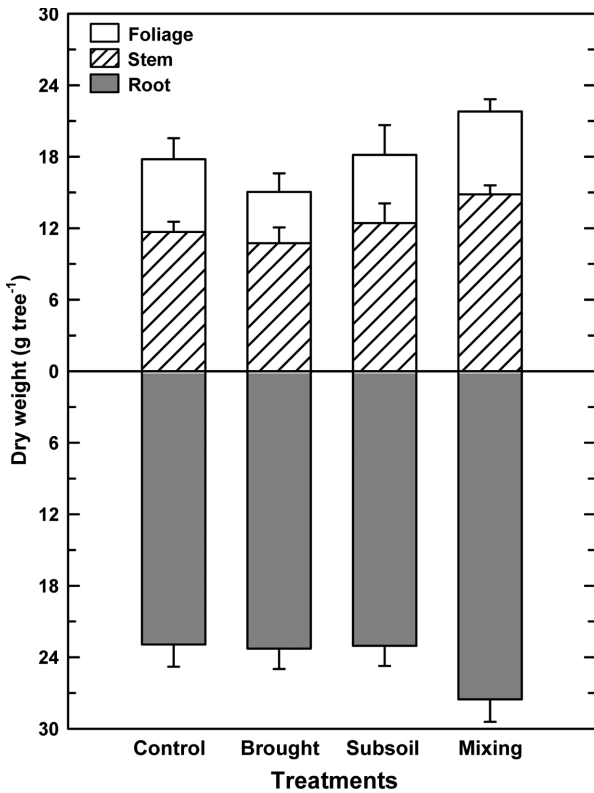


Figure 2. Foliage, stem, and root dry weight of *Fraxinus rhynchophylla* at the different soil improvement treatments. Vertical bars show standard errors (n = 3).

숫하거나 약간 낮으면서 농도와 양분 함량이 모두 감소하는 ‘양분결핍’ 경향을 보이고 있다.

고찰 및 결론

객토와 심토뒤집기 처리 모두 토양의 물리·화학적 성질에 유의한 영향을 주었다. 객토는 장기간 이용된 고정

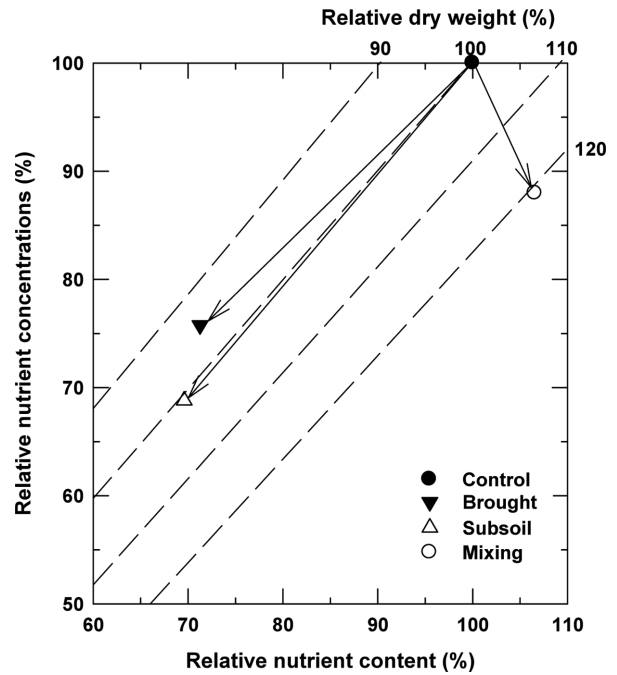


Figure 3. The relationship between concentrations, contents, and dry weight of *Fraxinus rhynchophylla* for nitrogen.

포지에서 악화된 토양의 물리·화학적 성질을 개선할 수 있는 방법으로 여겨지지만 그 방법을 어떻게 하느냐에 따라 효과는 달라질 수 있다(Jun et al., 2002; Korea Forest Research Institute, 2012). 연속적인 동일 수종 생산과 화학비료 과용에 의한 생산성 감소 및 병·충해가 발생하는 곳에는 기존에 이용되어온 객토와 다른 것을 이용해야 하며, 배수와 통기가 불량한 포지에는 모래 함량이 높은 객토를 사용하고 그 반대의 경우에는 미사와 점토질 함량이 높은 객토를 사용하여 그 효과를 높일 수 있다. 그러나 현장에서는 포지 주변에서 장기적 및 안정적으로 공급이 가능한 일정 토양을 동일한 객토로 사용하고 있고, 대부분 풍화

Table 3. Tissue nutrient concentrations (g·kg⁻¹) of *Fraxinus rhynchophylla* at the soil improvement treatments. Means with same letters are not significantly different among the treatments at $\alpha = 0.05$. Parentheses are standard errors (n = 3).

Elements	Treatments	Tissue		
		Foliage	Branch	Root
N	Control	14.28 (0.66)	5.01 (1.01)	7.40 ^a (0.66)
	Brought	13.72 (0.40)	4.55 (0.37)	5.02 ^{ab} (0.17)
	Subsoil	14.47 (0.90)	4.77 (0.29)	3.36 ^b (1.32)
	Mixing	13.85 (0.39)	5.09 (0.40)	5.96 ^{ab} (0.47)
P	Control	1.36 (0.07)	0.77 (0.03)	1.30 ^a (0.05)
	Brought	1.23 (0.07)	0.68 (0.04)	0.89 ^b (0.03)
	Subsoil	1.33 (0.05)	0.68 (0.02)	0.91 ^b (0.02)
	Mixing	1.34 (0.09)	0.81 (0.07)	1.12 ^{ab} (0.08)
K	Control	14.32 (0.83)	5.55 (0.38)	8.01 ^a (0.28)
	Brought	11.28 (0.84)	4.44 (0.32)	6.60 ^{ab} (0.37)
	Subsoil	12.26 (0.26)	4.38 (0.21)	6.12 ^b (0.29)
	Mixing	10.91 (1.10)	4.75 (0.58)	6.95 ^{ab} (0.44)

초기 단계로 양분함량이 적어 객토 후 초기에 묘목 생산성이 떨어지는 경우도 보고되고 있다(Unpublished data). 이 연구에서 사용된 포지의 모래 함량은 사질양토의 모래 함량(55%)에 비해 15% 정도 높아 모래 함량을 낮출 수 있는 객토로 해야 효과를 더욱 높일 수 있었다. 그러나 사용된 객토의 모래 함량은 포지 토양보다 4% 높아서 묘목에 건조피해와 양분부족(객토의 유기물 함량, 질소와 인의 함량이 포지 토양의 19%, 42%, 7% 임)의 원인이 될 수 있었으나 본 연구에서는 객토에 의한 부정적인 효과는 관찰되지 않았다(Table 2).

포지 주변에서 얻을 수 있는 객토가 한정적이고 현실적으로 선택이 어려워 객토를 적기에 이용할 수 없을 경우에는 토양 개량 방법으로 심토뒤집기를 고려할 수 있는데, 이는 장기적으로 사용되어온 포지에서 지속적인 관수에 의해 하부로 이동 집적된 토양입자(colloid)를 상부로 이동·혼합시켜 토양의 투수성과 통기성을 증대시킬 수 있는 기술이다. 이 연구에서도 심토뒤집기는 모래 함량을 9% 감소시키고 반면에 점토의 함량은 43% 증가시키는 효과가 있었다(Table 2). 심토뒤집기 처리 토양의 유기물 함량과 인의 함량은 기존 포지 토양에 비해 낮았지만 객토 처리보다는 매우 높은 값을 나타내어 객토의 부족한 양분을 보충할 수 있는 방법으로 여겨진다.

이 연구에서 적용한 기존 포지 토양과 객토를 반씩 섞은 처리는 30 cm 높이를 객토하는 것보다는 경제적인 뿐만 아니라 객토 과정에서 발생할 수 있는 증장비에 의한 답압을 감소시킬 수 있고 객토의 부족한 양분함량을 보전시켜 포지 토양의 물리·화학적 성질을 가장 잘 개선할 수 있는 방법으로 분석되었다.

처리에 따른 토양 개량 효과가 공시 수종의 성장에는 유의한 효과를 주지 못했는데, 이것은 개량 효과가 묘목에 영향을 미쳐 성장으로 나타나기에 20주간의 처리기간은 충분한 시간이 아니었거나, 이 처리가 공시 수종에 영향을 주기에는 작은 변화이었을 수 있다. 그러나 처리에 따른 묘고와 직경, 바이오매스의 변화가 통계적으로 유의하지는 않았지만 묘목 품질을 종합적으로 나타내는 품질지수(Dickson's quality index)를 다음과 같이 계산하였을 때 (Bayala et al., 2009; Deans et al., 1989), 'Quality Index(QI) = SD/(HD + SR)' (SD는 묘목의 건중량 (g)이며, HD는 묘고 (cm) 대 근원경 (mm) 비율, SR은 지상부 건중량 (g) 대 뿌리 건중량 (g) 비율), 무처리구인 대조구의 품질지수는 9.8, 객토는 10.6, 심토뒤집기는 10.7, 혼합은 12.5로 나타났다. 이에 따라 혼합 처리는 대조에 비해 묘목 품질지수를 27% 증가시켰다고 할 수 있다. QI가 복합적인 인자를 계산식에 적용함으로써, 묘고나 근원경과 같은 하나의 형태적인 측정인자보다 묘목 품질을 정량화하는 우수한 방법으로 여겨지기 때문에(Bayala et al., 2009), QI 값에 근거하여 혼합처리에서

생산된 묘목이 가장 높은 산지 적응력을 보일 것으로 판단할 수 있다. 그러나 뿌리의 길이 생장에 의해 바이오매스가 증가할 경우 산지 이식과정에서 긴 뿌리는 단근되어 뿌리양이 줄기 때문에 단순 뿌리 바이오매스 증가가 산지 적응력을 높인다고 판단하기는 힘들 것이다. 따라서 처리에 따른 뿌리의 형태적인 변화도 고려되어야 할 것이다.

농도와 생장을 따로 분석한 대부분의 기존 연구에서는 흡수량에 대한 생장 비율의 변화를 분석하지 못하여 식물체 내에서 발생하는 '양분희석' 또는 '과량집적'과 같은 현상을 해석할 수 없었다. 그러나 이 연구에서 활용한 양분벡터분석은 건중량의 변화, 식물체 양분 농도의 변화, 식물체가 흡수한 양분양 변화를 한 지면에서 분석함으로써 식물체의 양분변화를 정확히 파악하였다. 이 연구에서 양분 농도의 단순 비교에서는 유의한 의미를 찾지 못했지만, 양분벡터분석을 통해, 혼합 처리에서 자란 묘목의 경우 양분 흡수량보다 생장량이 증가함으로써 식물체의 양분이 감소하는 현상을 관찰할 수 있었다.

고정 포지의 토양 악화를 방지하기 위해서는 화학비료의 사용을 줄이고 유기질 비료의 이용을 증가시켜야 한다. 또한 연작 대신에 다양한 수종을 대상으로 윤작을 수행하거나, 안식년 기간 동안 콩과 같은 녹비 식물 재배를 통해 토양의 질을 향상시킬 수 있을 것이다. 이는 토양의 비옥도를 증가시킬 수 있을 뿐만 아니라 유기질이나 무기질 비료의 사용을 줄여 경제성을 높이고 주변 환경 오염을 줄일 수 있을 것이다. 객토나 심토뒤집기는 악화된 토양을 개량하기 위해 실행할 수 있는 방법으로 제안될 수 있으나, 무엇보다 중요한 것은 토양 악화가 일어나기 전에 예방할 수 있도록 장기적인 관점에서 지속가능한 토양생산성을 유지해나가는 것이다. 그러기 위해서는 전국 고정묘포 포지의 지속가능한 토양 이용이 가능하도록 보다 정교하고 체계적인 양묘생산체계를 수립하고 정기적인 토양 모니터링을 통해 수종과 토양 조건에 맞는 적절한 기술이 적용되어야 한다.

감사의 글

포지를 만들고, 묘목 식재와 관리를 해주신 박성윤, 이채현, 그리고 용문양묘사업소 직원께 감사드립니다. 이명종 교수님과 손요환교수님께서는 본 연구의 시험설계에 많은 도움을 주셨다. 본 연구는 산림청 '산림과학기술개발사업(과제번호 : S211414L010100)'과 충남대학교 차체연구비 지원을 받아 일부 수행되었습니다.

References

Andersen, L. and Hansen, C.W. 2000. Leaching of nitrogen

- from container plants grown under controlled fertigation regimes. *Journal of Environmental Horticulture* 18: 8-12.
- Bayala, J., Dianda, M., Wilson, J., Ouédraogo, S., and Sanon, K. 2009. Predicting field performance of five irrigated tree species using seedling quality assessment in Burkina Faso, West Africa. *New Forests* 38: 309-322.
- Broschat T.K. 1995. Nitrate, phosphate, and potassium leaching from container-grown plants fertilized by several methods. *HortScience* 30: 74-77.
- Carlson, W.C. 1981. Effects of controlled-release fertilizers on the shoot and root development of outplanted western hemlock (*Tsuga heterophylla* Raf. Sarg.) seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 11: 752-757.
- Deans, J.D., Mason, W.L., Cannell, M.G.R., Sharpe, A.L., and Sheppard, L.J. 1989. Growing regimes for bare-root stock of Sitka spruce, Douglas fir and Scots pine. I. Morphology at the end of the nursery phase. *Forestry Supplement* 62: 53-60.
- Haase, D.L. and Rose, R. 1995. Vector analysis and its use for interpreting plant nutrient shifts in response to silvicultural treatments. *Forest Science* 41: 54-66.
- Imo, M. and Timmer, V.R. 1999. Vector competition analysis of black spruce seedling responses to nutrient loading and vegetation control. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 474-486.
- Jacobs, D.F. and Timmer, V.R. 2005. Fertilizer-induced changes in rhizosphere electrical conductivity: relation to forest tree seedling root system growth and function. *New Forests* 30: 147-166.
- Jeong, Y.H., Lee, I.K., Seo, K.W., Lim, J.H., Kim, J.H. and Shin, M.H. 2011. Soil surface fixation by direct sowing of *Zoyisia japonica* with soil improvement on the dredged soil slope. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 14(4): 1-10.
- Jun, H.S., Park, W.C. and Jung, J.S. 2002. Effects of soil addition and subsoil plowing on the change of soil chemical properties and the reduction of root-knot nematode in continuous cropping field of oriental melon (*Cucumis melo* L.). *Korean Journal of Environmental Agriculture* 21(1): 1-6.
- Korea Forest Research Institute. 2011. Strategic plan of production and supply of qualified seedlings in Korea. In *Seminar Proceeding*. Korea Forest Research Institute. pp. 89.
- Korea Forest Research Institute. 2012. *Handbook of Forest Science and Technology*. pp. 1664.
- Korea Meteorological Administration. 2011. *Climatological Normals of Korea*. pp. 678.
- Kwon, H.H. 2009. A study on field application of stabilization and subsoil plowing method in heavy metal contaminated farmland near abandoned mines. Master's thesis of Kangwon National University. pp. 68.
- Kwon, T.Y., Jung, K.C., Sim, Y.G., Choi, B.S., and Park, S.D. 1998. Cultural and chemical control of root-knot nematodes, *Meloidogyne* sp. on oriental melon in plastic film house. *RDA Journal of Crop Protection*. 46: 96-101.
- Lee, D.K. 1997. Studies on the development of value-added income sources using marginal agricultural land for villagers in mountainous rural areas. Ministry of agriculture and Forestry. pp. 241.
- Quoreshi, M. and Timmer, V.R. 2000. Early outplanting performance of nutrient-loaded containerized black spruce seedlings inoculated with *Laccaria bicolor*: A bioassay study. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 744-752.
- Shin, J.A., Son, Y., Hong, S.G., and Kim, Y.K. 1999. Effect of N and P fertilization on nutrient use efficiency of *Pinus densiflora*, *Larix leptolepis*, and *Betula platyphylla* var. *japonica* seedlings. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 18(4): 304-309.
- Son, Y., Kim, Z.S., Hwang, J.H., and Park J.S. 1998. Fertilization effects on growth, foliar nutrients and extract concentrations in ginkgo seedlings. *Journal of Korean Forest Society* 87(1): 98-105.
- Timmer, V.R. 1996. Exponential nutrient loading: a new fertilization technique to improve seedling performance on competitive sites. *New Forests* 13: 275-295.