

중국 건조지역에서 시비와 보수제 처리에 의한 신강포플러의 생장 및 묘목의 양분 함량 변화

경지현¹ · 손요환^{1*} · 노남진¹ · 이명종² · 이천용³ · 윤호중³

¹고려대학교 환경생태공학부, ²강원대학교 산림자원학부,

³국립산림과학원 임지보전과

Changes in Growth and Nutrient Contents of *Populus alba* var. *pyramidalis* treated with Fertilizers and Absorbents in an Arid Region of China

Ji Hyun Kyung¹, Yowhan Son^{1*}, Nam Jin Noh¹, Myong Jong Yi²,
Chun Yong Lee³ and Ho Joong Youn³

¹Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea,

²Division of Forest Resource, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea,

³Division of Forest Soil Conservation, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

요 약: 중국 건조지역에서 임목 성장을 촉진시키기 위한 토양 개선 방안을 모색하기 위하여 내몽골 자치구 내 Dengkou지역에 묘포장과 방풍림을 조성한 다음 신강포플러(*Populus alba* var. *pyramidalis*) 묘목을 식재하고, 시비(질소, 인) 및 보수제(인공보수제; K-SAM, 자연보수제; Yuho(*Artemisia ordosica*))를 처리하였다. 처리 후 1년 6개월이 지난 다음 묘고, 흉고직경, 생체량, 그리고 묘목 내 질소와 인의 농도 등을 측정하였다. 묘포장과 방풍림 내 토양은 사양토와 식양토로 분류되었고, pH는 8.78과 8.51로 약알칼리성을 띠었으며, 전질소 농도는 각각 0.06%와 0.08%로 나타났다. 묘포장과 방풍림에서 일반적으로 질소(N) 처리 후 무처리나 다른 처리보다 묘고 및 흉고직경 생장이 증가되었으며, 특히 방풍림의 경우 인공 및 자연보수제 처리 후 생장이 증가되었다. 묘포장에서 질소와 인(N+P) 복합 시비 후 지상부와 지하부를 합한 총 생체량이 증가되었다. 질소나 인의 시비가 묘목 내 이들 양분 농도에 미치는 영향은 묘포장에서 뚜렷하지 않았으나, 방풍림에서는 질소 시비 후 잎 내 질소 농도가 크게 증가하여 토양 내 질소가 결핍된 상태를 보였다. 건조지역에서 신강포플러 묘목의 초기 성장에 질소가 가장 큰 영향을 미치며, 인공보수제인 K-SAM과 자연보수제인 Yuho도 묘목의 성장을 증가시켜 이들을 향후 토양 조건 개선에 활용할 수 있을 것으로 보인다.

Abstract: To investigate soil management practices for increasing tree growth in arid regions of China, Xinjiang poplar (*Populus alba* var. *pyramidalis*) seedlings were planted in a nursery and windbreak and were treated with fertilizers (nitrogen and phosphorus) and absorbents (artificial; K-SAM and natural: Yuho (*Artemisia ordosica*)) at Dengkou in Inner Mongolia. Seedling height, diameter at breast height (DBH), biomass, and nitrogen (N) and phosphorus (P) concentrations were measured 1.5 years after the treatments. Soil texture was sandy loam for nursery and clay loam for windbreak, soil pH was 8.78 for nursery and 8.51 for windbreak, and total soil N concentration was 0.06% for nursery and 0.08% for windbreak. In general, seedling height and DBH increased in the N fertilizer treatment compared to control or other treatments both in nursery and windbreak. Also seedling growth increased after the treatments of artificial and natural absorbents in windbreak. Total above- and belowground biomass increased after the N+P treatment. Foliage N and P concentrations following N and/or P treatments were same in the nursery, however, they significantly increased in the windbreak indicating N deficiency. It appeared that N was a limiting factor for early growth of Xinjiang poplar seedlings and artificial and natural absorbents (K-SAM and Yuho) would be useful to increase seedling growth in the arid region.

Key words : biomass, K-SAM, nitrogen, phosphorus, *Populus alba* var. *pyramidalis*, seedling growth, Yuho

*Corresponding author
E-mail: yson@korea.ac.kr

서 론

사막화현상은 자연환경을 변화시키고 경제, 사회적으로 지속 가능한 개발을 저해하는 주요인이 되며, 해당 국가 뿐만 아니라 주변 국가에도 영향을 주어 전지구적인 문제로 인식되고 있다(Woo *et al.*, 2000; 朱震達, 1997). 사막화현상이 일어나고 있는 지역에서는 이를 방지하기 위하여 모래 이동을 막고 지역 특성에 맞는 식물을 선발하여 식재하는 방법에 관한 조사나 연구가 진행되고 있다(朱俊風와 朱震達, 1999). 사막지역에서 식물 중 위성류, 비술나무, 포플러류 등이 주로 연구되고 있으며, 특히 포플러류는 중국의 신장성 전역과 내몽골 서부에 주로 분포하고 내건성, 내한성, 내염성 등을 가져 사막지역에 적합한 수종으로 알려져 있다(Woo *et al.*, 2001). 한편 사막지역에서는 토양의 수분은 물론 양분도 매우 부족한 상태에 있어 식물 생장을 위하여 적절한 토양 관리가 필요한 상태이다(Turner와 Lambert, 1986). 그런데 온대지역에서 임목 시비를 통한 성장 증가는 잘 알려져 있으나(이천용과 박봉우, 1988; Binkley, 1986), 사막지역과 같은 건조한 곳에서의 시비 혹은 토양 개량제를 통한 식물의 활착 및 성장 변화에 대하여는 연구된 바가 매우 적다. 특히 중국 내몽골 사막화지역은 바람에 의한 건조와 특수한 토양의 물리, 화학적 성질에 기인하는 양분 및 수분 부족으로 다른 지역의 식물 생육 환경과 크게 다르므로 특별히 체계화된 식생 조성 방법이 적용되어야 한다. 본 연구는 건조지역에서 식생을 조성하기 위한 적절한 토양 관리 방법을 모색하기 위하여 중국 내몽골 자치구 내 Dengkou지역에서 신강포플러 묘목을 묘포장과 방풍림 조성지에 식재하고 질소, 인 등의 시비와 인공 및 자연보수제를 처리하고 이러한 처리가 묘목의 성장과 묘목 내 양분 변화에 미치는 영향을 파악하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 시험지 조성 및 시비와 보수제 처리

본 연구를 위하여 중국 내몽골 자치구 Dengkou지역 내 사막임업실험센터 제 1시험장(40° 27' N, 106° 41'E, 고도 1,040m)에 시험지를 조성하였다. 이 시험지에 2003년 4월 신강포플러(*Populus alba* var. *pyramidalis*) 1-0년생 삼목묘로 묘포장을 조성하고 1-1년생 삼목묘로 방풍림을 조성하였다. 신강포플러는 중국 서북부지역의 하천, 선상지, 호소 부근에 분포하며, 내건성, 내풍성, 내사성, 내한성, 내서성, 내염성 및 내습성을 갖고 있어 사막지역에 강한 수종이라 할 수 있다(Woo *et al.*, 2001). 이 수종은 생체량과 엽 생산량이 많은 속성수로 연료용으로 사용되나, 목질이 단단하지 못한 단점이 있는 것으로 알려져 있다(정영호,

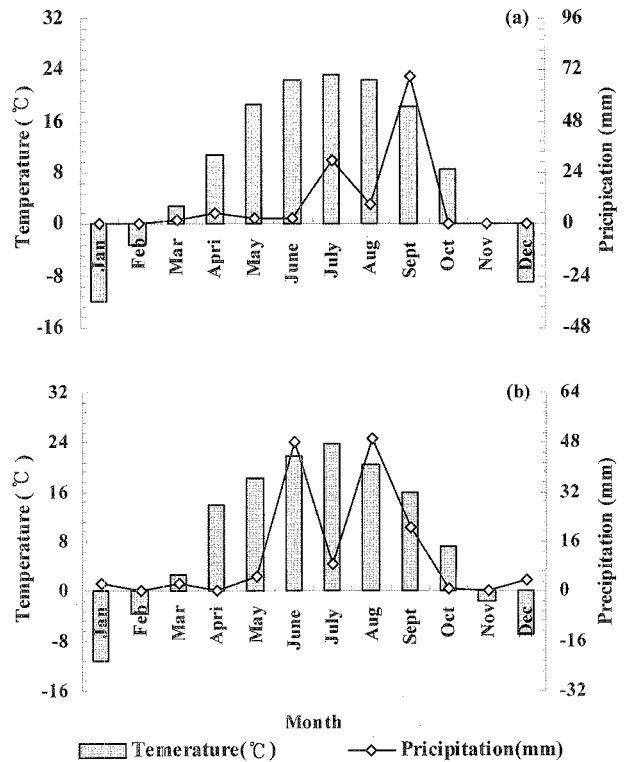


Figure 1. Seasonal changes of monthly temperature (°C) and precipitation (mm) of 2003 (a) and 2004 (b) in Dengkou.

1991). 최근에는 신강포플러를 이용하여 축산 폐수, 토양 오염 물질, 매립지의 침출수 등을 제거하는 연구(Madejon *et al.*, 2004; Tsakou *et al.*, 2003) 및 사막화지역과 사막화가 우려되는 지역을 안정화하고 회복시키기 위한 연구가 시도되고 있다. 시험지의 강우량과 기온의 계절적 변화는 Figure 1에 나타나 있다. 2004년의 경우 연간 최저 기온은 -29.6°C, 최고 기온은 39°C로 연중 기온차가 심하다. 또한 2003년과 2004년의 연평균 기온과 강우량은 각각 8.6°C와 121 mm, 그리고 8.4°C와 141 mm로 매우 건조하다.

시험지에서의 묘목 식재와 처리 및 토양 성질에 관한 상세한 설명은 경지현 등(2004)의 논문에 보고된 바 있으나 간단히 설명하면 다음과 같다. 묘포장에서는 비교적 관수가 가능하므로 양분 관리 위주로 실험을 수행하기 위하여 무처리구를 포함하여 질소(N), 질소와 인(N+P), 인(P) 등의 시비 처리구를 각각 3반복씩 설치하였다. 각 처리구 사이에 완충대를 설정하였고, 묘목간 거리는 40 cm로 하여 각 처리구 안에 144본씩의 묘목을 식재하였다. 2003년 시비 후 성장 변화를 분석한 결과 시비량이 부족한 것으로 판단되어(경지현 등, 2004), 2004년에는 전년보다 시비량을 2배로 늘려 처리하였다. 즉 m² 당 N 처리구에서는 요소(CO(NH₂)₂)를 60g, P 처리구에는 과린산석회(Ca(H₂PO₄)₂)를 120g, N+P 처리구에는 요소와 과린산석회를 각각 60g과 120g을 섞어 2004년 5월에 처리하였다.

방풍림에서는 토양이 건조하고 토양 내 양분이 부족할 것으로 판단하여 질소 비료와 인공 및 자연보수제를 단독 혹은 혼용하여 N 처리구, 인공보수제(Super Absorbent Polymer, Kolon Chemical Co., Ltd, K-SAM) 처리구, 자연보수제(*Artemisia ordosica* Krasch., 油蒿, Yuho) 처리구, N+K-SAM 처리구, N+Yuho 처리구, 무처리구 등 6종류의 처리구를 3반복씩 설정하였다. 각 처리구에는 묘목간 거리를 1m로 하여 40분씩의 묘목을 식재하였다. 각 처리구의 비료나 보수제의 양도 2003년보다 2배로 늘려 질소의 경우는 120 g/m²의 요소를, Yuho는 묘목 1본당 건중량으로 400g을, 그리고 K-SAM은 묘목 1본당 100g을 토양과 충분히 혼합시켜 2004년 5월에 처리하였다.

2. 토양 분석

2003년도에 채취하여 측정된 토양 성질 이외의 추가 자료를 얻기 위하여 2004년 9월 묘포장과 방풍림의 모든 처리구 임의의 1개 지점에서 지표로부터 30 cm의 깊이까지의 토양 시료를 채취하였다. 토양 시료는 밀봉 후 실험실로 운반하여 토양 분석법(농업과학기술원, 2000)에 따라 분석하였다. 토성 분석을 실시하고, Munsell Soil Color Charts로 토색을 측정하였으며, 토양과 증류수를 섞어 토양 pH를 측정하였다. 토양에 황산과 CuSO₄, K₂SO₄를 첨가하여 Kjeldahl 분해한 후, Automated Ion Analyzer(Quik Chem AE, Lachat Inc., USA)를 이용하여 전질소(TN)의 농도를 측정하였다. 그리고 토양을 NH₄OAC로 용탈시키고 ICP-AES(Inductively Coupled Plasma, ULTIMA 2C, Horiba Jobin Yvon, Japan)로 치환성 양이온(Ca, K, Mg, Na)의 농도를 측정하였다. 한편 유기탄소와 유효인산의 농도는 각각 Walkey-Black법과 Bray No.1법으로 측정하였다.

3. 식물체 분석

전년도와 당년도의 처리 효과를 구분하기 위하여 2004년 시비 및 토양 처리 후인 5월과 당년도 생장이 완료되는 9월에 묘포장과 방풍림 내 처리구별로 모든 묘목을 대상으로 묘고 및 흉고직경을 측정하였다. 특히 9월의 경우 묘포장에서 각 처리구별로 5본의 묘목을 뿌리까지 굴취하여 잎, 줄기, 뿌리 등의 부위별로 분류하고 생체량을 측정하였다. 또한 동일한 시기에 묘포장과 방풍림 시험지에서 처리구별로 3본의 묘목을 선정하여 줄기의 상, 중, 하부에서 매 묘목 당 약 50개의 잎 시료를 골고루 채취하였다. 모든 시료는 분쇄하고 Kjeldahl 분해한 다음 Automated Ion Analyzer로 전질소와 총인의 농도를 측정하였다.

4. 통계분석

묘포장과 방풍림의 처리구별 묘목의 묘고와 흉고직경,

생체량 등의 차이를 분산분석을 이용하여 검정하였고, 통계적으로 유의성이 인정된 평균치 간의 차이는 Duncan multiple range test로 검정하였다. 통계분석은 SAS (Statistical Analysis System) v.8.2를 사용하였으며, 유의성 여부의 판단 기준은 p=0.05였다(SAS, 2003).

결과 및 고찰

1. 토양 성질

묘포장과 방풍림 토양의 일부 물리, 화학적 성질은 Table 1에 제시되어 있다. 토성의 경우 묘포장은 사양토, 방풍림은 식양토로 나타나 내몽골의 Horqin 사지에서 모래 함량이 89-94%인 것과 비교하여 점토와 미사의 비중이 높아 일반적인 사막지역 토성과는 차이가 있었다(Su *et al.*, 2005). 토색은 묘포장에서 10YR 5/3, 방풍림에서 10YR 6/4로 다른 사막지와 유사하게 밝은 색을 보였다(우보명, 2001; Barney, 1976). 묘포장과 방풍림의 pH는 각각 8.78, 8.51로 약알칼리성을 나타내었는데, 이는 Horqin 사지와 통료시 및 중국 내 다른 사막지대에서 측정된 수치와 매우 유사한 것이다(국립산림과학원, 2001; Gao와 Zhou, 1993; Zhang *et al.*, 2004; 丁國棟, 2002). 한편, 유기탄소의 농도는 묘포장에서 0.78%, 방풍림에서 0.96%로 나타나, Shapotou에 위치한 Tengger 사지의 평균 0.7%와 유사하지만(Duan *et al.*, 2004), 식생이 발달한 일반 토양에서의 농도와 비교하면 매우 낮은 수준이다. 전질소의 농도는 묘포장과 방풍림에서 각각 0.06%와 0.08%로 보통 식물의 생장에 필요한 0.1% 이상의 농도에 미치지 못하였다(CCICCD, 1999; 丁國棟, 2002).

2. 묘고 및 직경생장

2004년 5월과 9월에 측정된 묘포장 내 묘목의 묘고와

Table 1. Soil characteristics of the experiment sites in Dengkou.

	Nursery	Windbreak
Sand (%)	53.42	22.92
Clay (%)	27.78	33.04
Silt (%)	18.79	44.03
Soil texture	Sandy loam	Clay loam
Soil color	10YR 5/3	10YR 6/4
pH (1:5 H ₂ O)	8.78	8.51
Organic carbon (%)	0.78	0.96
Total N (%)	0.06	0.08
Available P (mg/kg)	11.20	5.01
Exchangeable cations (cmol/kg)		
Ca ²⁺	19.238	19.421
K ⁺	0.448	0.474
Mg ²⁺	4.446	5.791
Na ⁺	0.803	1.428

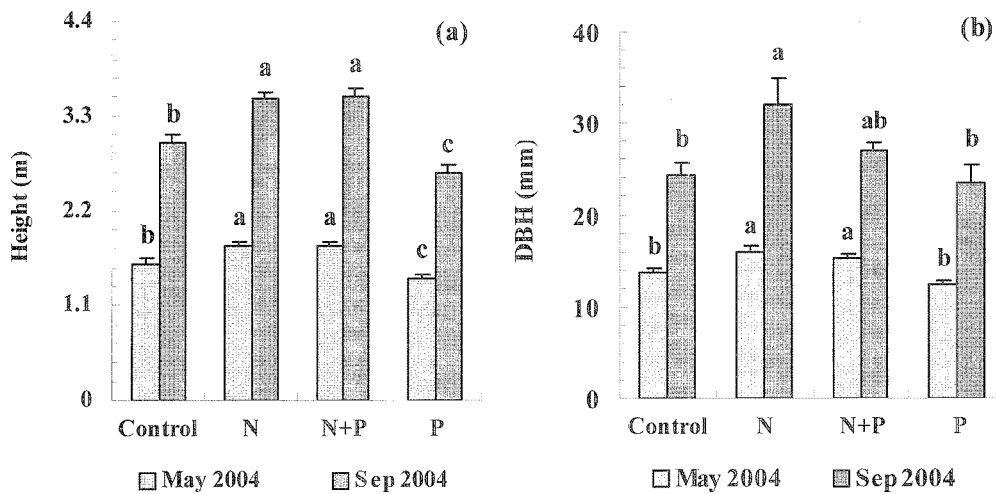


Figure 2. Effect of fertilization treatments on seedling height (a) and diameter at breast height (b) growth in the nursery. Same letters indicate no significant differences among treatments ($p>0.05$). Vertical lines are standard errors of means. (n=206 for control, n=216 for N, n=189 for N+P, and n=197 for P in May 2004; n=198 for control, n=206 for N, n=184 for N+P, and n=186 for P in September 2004)

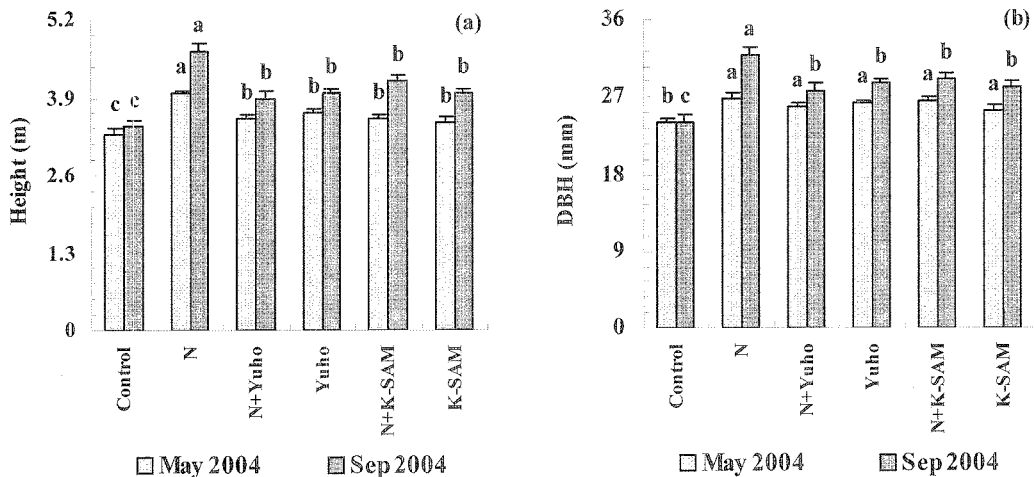


Figure 3. Effect of fertilizer and absorbents on seedling height (a) and diameter at breast height (b) growth in the windbreak. Same letters indicate no significant differences among treatments ($p>0.05$). Vertical lines are standard errors of means. (n=120)

홍고직경은 Figure 2에 나타나 있다. 5월에 측정된 묘고의 경우는 N 처리구에서 1.8m, N+P 처리구에서 1.8m로 이들간의 차이는 없으나, 무처리구(1.6m)와 P 처리구(1.4m) 보다는 큰 것으로 나타났다. 또한 9월에 측정된 묘고는 N 처리구에서 3.5m, N+P 처리구에서 3.5m로 무처리구(3.0m)와 P처리구(2.6m)보다 높게 나타났다. 이러한 결과는 처리구별로 전년도와 당년도의 시비 처리 효과가 묘고에서는 동일한 경향을 보여주는 것이다. 즉 5월과 9월 모두에서 묘고의 순위는 N 처리구 = N+P 처리구 > 무처리구 > P 처리구 등으로써 질소의 단독 혹은 인과의 혼합 시비가 묘고를 증가시켰다. 그러나 처리구간의 차이는 5월 보다 9월에 더 크게 나타나 당년도 시비 처리 효과가 더 큰 것으로 보인다. 홍고직경의 경우 2004년 5월에 측정된 결과는 N 처리구(15.9 mm)와 N+P 처리구(15.3 mm)가 P 처리구나 무처리구보다 높게 나타났고, 9월에 측정된 결

과는 N 처리구(32 mm), N+P 처리구(27.1 mm), 무처리구(24.3 mm), P 처리구(23.5 mm) 등의 순으로 나타났다. 이러한 결과는 묘고에서의 유사한 경향으로 질소의 단독 혹은 인과의 혼합 시비 처리가 직경 생장을 증가시키나 인의 단독 시비는 홍고직경 생장에 영향을 미치지 않는 것이다. 일반적으로 질소와 인은 식물의 필수 영양원으로서 임목의 생장을 제한하는 인자로 알려져 있으며, 여러 수종에서 질소와 인의 시비 후 생장이 증가됨이 보고된 바 있다(손요환 등, 1998; 유중훈, 1988; Brinkman과 Boerner, 1994; Johnson *et al.*, 1998; Mead와 Pritchett, 1975; Park, 1997; Raison *et al.*, 1990). 본 연구에서 인의 단독 시비가 묘목의 생장에 영향을 주지 않는 것은 토양 산도별 인의 유효도 차이와 관련이 있는 것으로 인 시비 효과를 높이기 위해서는 적절한 토양 산도 조절이 필요한 것으로 사료된다(Barney, 1976).

방풍림에서 모든 시비 및 토양개량제 처리는 무처리구에 비하여 묘고와 흉고직경 생장을 통계적으로 유의한 수준에서 증가시켰다(Figure 3). 시비 혹은 보수제 처리에 의하여 양분과 수분 조건이 개선됨으로써 임목의 생장이 증가된 결과이다(Hunt, 1989; van den Driessche, 1988; Walker와 Hunt, 1992; Walker와 Lane, 1997). 2004년 5월에 측정된 묘고의 경우 N 처리구(4.0m), Yuho 처리구(3.7m), N+K-SAM 처리구(3.6m), N+Yuho 처리구(3.5m), K-SAM 처리구(3.5m), 그리고 무처리구(3.3m) 등의 순으로 나타나 N 처리구에서 가장 높았다. 또한 9월에 측정된 묘목의 평균 묘고는 N 처리구(4.7m) > N+K-SAM 처리구(4.2m)=K-SAM 처리구(4.0m)=Yuho 처리구(4.0m)=N+Yuho 처리구(3.9m) > 무처리구(3.4m) 등의 순으로 5월과 유사하게 N 처리구의 생장이 가장 높았다. 그리고 처리구별 차이도 9월에 더 커서 당년도 처리 효과가 큰 것으로 나타났다. 한편, 2004년 5월에 측정된 묘목의 흉고직경은 N 처리구를 포함한 모든 처리구간에 차이는 없으나 무처리구보다 높은 생장을 보였다. 9월에 측정된 흉고직경은 N 처리구(31.9 mm)에서 가장 높고, 나머지 처리구간에는 차이가 없으나 무처리구보다는 높은 것으로 나타났다(Figure 3). 이러한 결과로 미루어 신강포플러 묘목의 초기 생장에는 질소 양분이 가장 큰 영향을 미치며, Yuho나 K-

SAM 같은 보수제도 생장을 증가시키는 것으로 볼 수 있다.

3. 생체량

묘포장의 각 처리구별 묘목 부위의 생체량이 Figure 4에 나타나 있다. 부위에 따라 약간의 차이가 있으나 일반적으로 N+P 처리구에서 가장 높은 생체량을 보이며, P 처리구에서 가장 낮은 경향을 보였다. 부위별 생체량은 줄기 > 뿌리 > 잎 등의 순으로 다른 포플러류의 생장 초기 단계에서 나타나는 순서와 동일한 경향을 보였다(Lodhiyal과 Lodhiyal, 1997; Puri *et al.*, 2002; Raizada와 Shrivastava, 1989). 묘목의 총생체량은 N+P 처리구에서 781.5g/본으로 질소나 인의 단독 처리구 및 무처리구에 비하여 가장 높았다. 뿌리 생체량의 경우 N+P 처리구에서 가장 높은 값을 보였지만, 다른 처리구와 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 이러한 결과는 질소 시비가 주로 지상부의 생장에 영향을 미치는데서 기인한 것으로 볼 수 있다(황정옥, 2003). 시비가 신강포플러의 생체량에 미치는 영향은 질소가 인과 함께 시용될 때 가장 크며 인 단독 시비는 전혀 영향을 미치는 않는 것으로 볼 수 있다. 신강포플러는 질소 시비에 따라 생체량이 증가하며 생장 증가로 인한 양분의 희석 효과가 뚜렷한 수종으로 볼 수 있으며, 이러한 현상은 다른 연구 결과와 유사한 것이다(신정아 등, 1999;

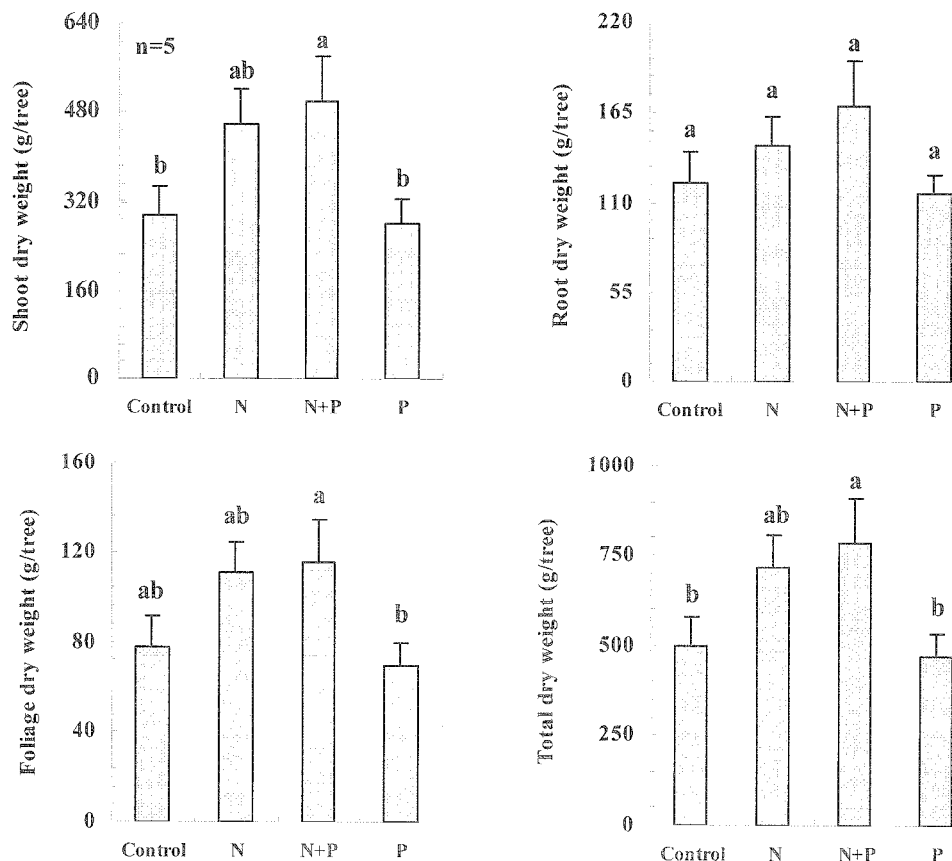


Figure 4. Seedling dry weight following fertilization treatments in the nursery. Same letters indicate no significant differences among treatments ($p>0.05$). Vertical lines are standard errors of means. (n=15)

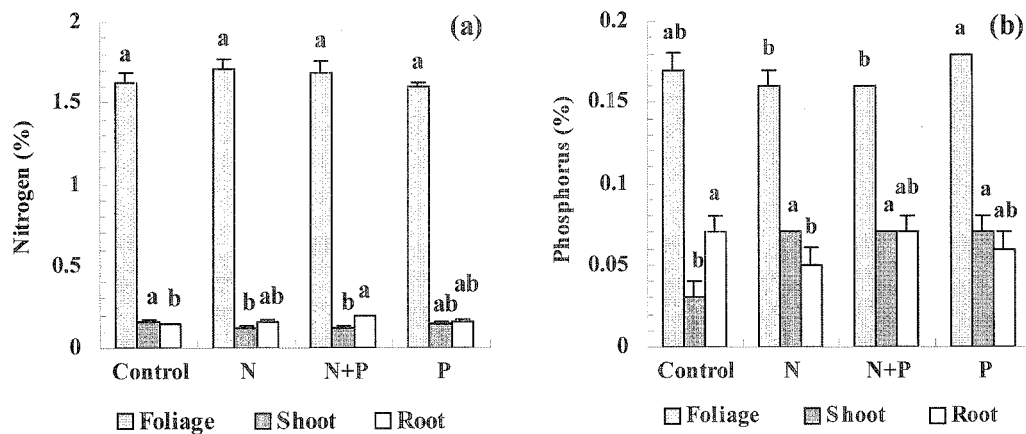


Figure 5. Effects of fertilization treatments on seedling components N (a) and P (b) concentrations in the nursery. Same letters indicate no significant differences among treatments ($p>0.05$). Vertical lines are standard errors of means. (n=9)

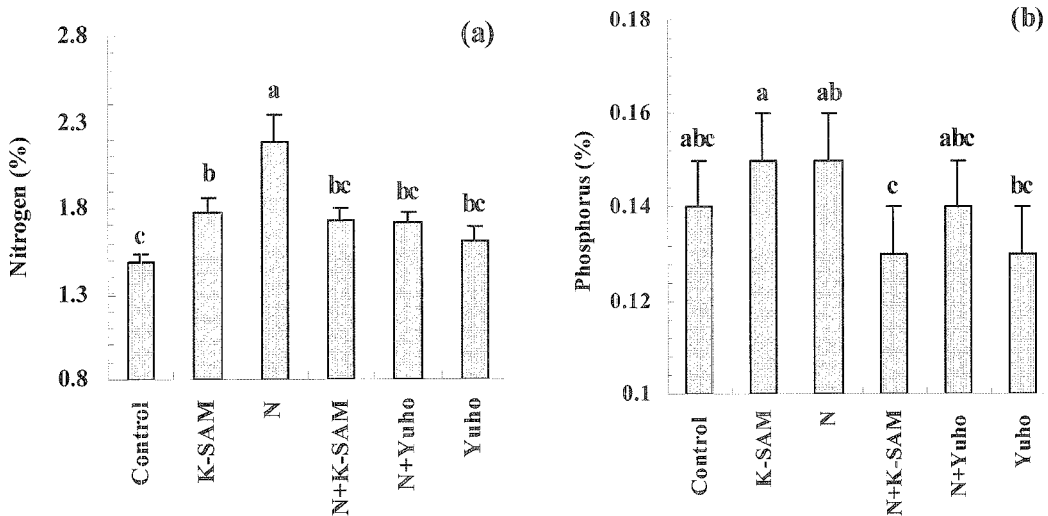


Figure 6. Effect of fertilization and absorbents on foliar N (a) and P (b) concentrations in the windbreak. Same letters indicate no significant differences among treatments ($p>0.05$). Vertical lines are standard errors of means. (n=9)

Sung *et al.*, 1997; Son *et al.*, 2001).

4. 임목 내 질소와 인 농도

묘포장 내 묘목의 잎에서 질소 농도가 처리구별로 차이가 없는 경우를 제외하고 다른 부위에서는 질소와 인 농도가 처리구별로 유의한 차이를 나타내었다(Figure 5). 잎 내 질소 농도는 N 처리구(1.71%), N+P 처리구(1.69%), 무 처리구(1.63%), P 처리구(1.60%) 등이고, 줄기나 뿌리에 비하여 높았다(Bailian *et al.*, 1991; Malik와 Timmer, 1998). 뿌리에서 N+P 시비 처리 후 질소 농도가 증가한 것 이외 다른 부위에서는 질소의 단독 혹은 인과의 혼합 시비가 질소 농도에 변화를 주지 않았다. 이는 시비 후 수고와 흉고직경 및 생체량이 증가되어 수체 내 질소 양분이 희석된 결과로 볼 수 있다. 한편 인 농도는 잎의 경우 P 처리구에서 다른 시비 처리구보다 높게 나타났고, 줄기나 뿌리에서는 인이 포함된 시비 처리가 인의 농도 변화에 영향을 주지 않은 것으로 나타났(Figure 5). 인의 시비 후 묘고 및 흉고직경 성장이나 생체량은 물론이고 인의 농도

에 변화가 없는 것은 묘포장 토양에 인이 결핍되지 않으며 오히려 인의 과다소비현상이 일어나고 있는 것으로 볼 수 있다(Malik와 Timmer, 1998; Seith *et al.*, 1996; Timmer와 Armstrong, 1987). 또한 질소와 인 이외의 다른 원소가 묘목 성장에 제한 요인이 되고 있을 가능성도 있다(Seith *et al.*, 1996).

방풍림 묘목 잎 내 질소와 인의 농도는 각 처리구간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(Figure 6). 질소 농도는 N 처리구(2.18%)에서 가장 높고, N+K-SAM과 N+Yuhoo 등은 보수제 처리구와 차이가 없으나 무처리구에 비하여는 높게 나타났다. 이러한 결과는 질소 시비 후 묘고 및 흉고직경 성장 및 잎 내 질소 농도가 증가되어 방풍림 토양이 질소 부족 상태에 있음을 보이는 것이다(Fogal *et al.*, 1999). 잎에서의 인 농도는 처리구별로 차이가 있으나 질소 혹은 보수제의 추가에 따른 일정한 변화 경향을 보이지 않았다. 본 연구 결과 건조지역에서 신강포플러 묘목의 초기 성장에 질소가 가장 큰 영향을 미치며, 인공보수제인 K-SAM과 자연보수제인 Yuhoo도 묘목의 성장을 증

가시키는 것으로 나타나 이들을 향후 토양 조건 개선에 활용할 수 있을 것으로 보인다.

사 사

본 논문은 환경부 차세대 핵심환경기술개발사업(사막화 방지를 위한 수목 선발, 목초지 조성기술)의 지원으로 이루어진 연구 결과의 일부이며, 연락처자는 2006년도에 고려대학교의 연구년제도를 활용하였다.

인용문헌

1. 경지현, 손요환, 이명중, 이천용, 윤호중. 2004. 중국 내몽골 사막지역에서 시비와 토양개량제가 신강포플러의 생장 및 양분에 미치는 영향: I. 처리 당년의 효과. 임산에너지 23(2): 9-20.
2. 국립산림과학원. 2001. 대 중국 사방조림 지원 사업 현장 정밀조사 결과보고(내몽골 자치구 통료시). 국립산림과학원.
3. 농업과학기술원. 2000. 토양화학분석법.
4. 손요환, 김진수, 황재홍, 박정수. 1998. 은행나무 묘목에 대한 시비가 생장 및 엽 내 양분과 유용 추출물 농도에 미치는 영향. 한국임학회지 87(1): 98-105.
5. 신정아, 손요환, 홍성각, 김영걸. 1999. 질소와 인 시비가 소나무, 일본잎갈나무, 자작나무 묘목의 양분이용효율에 미치는 영향. 한국환경농학회지 18(4): 304-309.
6. 우보명. 2001. 중국의 사막화 확산에 대한 대응책. 한중사막화 방지 국제 학술 심포지엄. 국립산림과학원.
7. 이천용, 박봉우. 1988. 산지 시비에 관한 고찰. 한국임학회지 77(1): 109-115.
8. 유중훈. 1988. 질소시비의 수준차이에 따른 은행나무 생장에 관한 연구. 성균관대학교 석사학위논문. pp. 34.
9. 정영호. 1991. 식물대백과: 현화식물편. 아카데미서적.
10. 황정옥. 2003. 시비 처리가 묘목의 생장 및 양분에 미치는 영향. 고려대학교 석사학위논문. pp. 42.
11. 丁國棟. 2002. 砂漠化概論. 中國林業出版社. pp. 50.
12. 朱震達. 1997. 治沙工程學. 中國環境科學出版社. pp. 380.
13. 朱俊風, 朱震達. 1999. 中國沙漠化防治. pp. 495.
14. Bailian, L., Allen, H.L. and Mckeand, S.E. 1991. Nitrogen and family effects on biomass allocation of loblolly pine seedlings. Forest Science 37(1): 271-283.
15. Barney, C.W. 1976. Forest Tree Planting in Arid Zones. Academic Press. pp. 504.
16. Binkley, D. 1986. Forest Nutrition Management. Wiley pp. 290.
17. Brinkman, J.A. and Boerner, R.E.J. 1994. Nitrogen fertilization effects on foliar nutrient dynamics and autumnal resorption in maidenhair tree (*Ginkgo biloba* L.). Journal of Plant Nutrition 17: 433-443.
18. CCICCD. 1999. Traditional Knowledge and Practical Techniques for Combating Desertification in China. China Environmental Science Press.
19. Duan, Z.H., Xiao, H.L., Li, X.R. Dong, Z.B., and Wang, G. 2004. Evolution of soil properties on stabilized sands in the Tengger Desert, China. Geomorphology 59: 237-246.
20. Fogal, W.H., Larocque, G.R., Loushanski, S.M., Schooley, H.O., Anderson, M.L., Edwards, M.L., Coleman, S.J., and Wolynetz, M.S. 1999. Nutritional and sexual responses of jack pine to ammonium nitrate and gibberellins. Forest Science 45(1): 136-153.
21. Gao, S. and Zhou, S. 1993. The Desertification Control in China. The Beijing Science and Technology Press.
22. Johnson, J.E., Bollig, J.J., and Rathfon, R.A. 1998. Above-ground biomass and nutrient distribution of released and fertilized yellow-poplar trees. Forest Ecology and Management 105: 231-240.
23. Hunt, G.A. 1989. Effect of controlled-release fertilizers on growth and mycorrhizae in container-grown Engelmann spruce. Western Journal of Applied Forestry 4: 129-131.
24. Lodhiyal, L.S. and Lodhiyal, N. 1997. Variation in biomass and net primary productivity in short rotation high density central Himalayan poplar plantations. Forest Ecology and Management 98: 167-179.
25. Madejon, P., Maranon, T., Murillo, J.M., and Robinson, B. 2004. White poplar (*Populus alba*) as a biomonitor of trace elements in contaminated riparian forests. Environmental Pollution 132: 145-155.
26. Malik, V. and Timmer, U.R. 1998. Biomass partitioning and nitrogen retranslocation in black spruce seedlings on competitive mixedwood sites: a bioassay study. Canadian Journal of Forest Research 28: 206-215.
27. Mead, D.J. and Pritchett, W.L. 1975. Fertilizer movement in slash pine ecosystem. I. Uptake of nitrogen and phosphorus and nitrogen movement in the soil. Plant and Soil 43: 451-466.
28. Park, G.S. 1997. Effects of fertilization and clone on aboveground and soil carbon storages in a willow (*Salix* spp.) bioenergy plantation. Journal of Korean Forest Society 86(2): 177-185.
29. Puri, S., Swamy, S.L., and Jaiswal, A.K. 2002. Evaluation of *Populus deltoides* clones under nursery, field and agrisilviculture system in sub humid tropics of central India. New Forests 23: 45-61.
30. Raison, R.J., Khanna, P.K., Connell, M.J., and Falkiner, R.A. 1990. Effects of water availability and fertilization on nitrogen cycling in a stand of *Pinus radiata*. Forest Ecology and Management 30: 31-43.
31. Raizada, A. and Shrivastava, M.M. 1989. Biomass yield and biomass equations for *Populus deltoides* marsh, India. Journal of Forestry 12: 56-61.
32. SAS. 2003. SAS/STAT User's Guide. V8.2 edition. SAS Institute Inc.
33. Seith, B., George, E., Marschner, H. Wallenda, T. Schaefer-

- fer, 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 and Soil* 184: 291-298.
34. Son, Y., Hwang, J.W., Kim, Z.S., Lee, W.K. and Kim, J.S. 2001. Allometry and biomass of Korean pine (*Pinus koraiensis*) in central Korea. *Bioresource Technology* 78: 251-255.
35. Su, Y.Z., Li, Y.L., Cui, J.Y., and Zhao, W.Z. 2005. Influence of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, northern China. *CATENA* 59: 267-278.
36. Sung, S.S., Blank, C.C., Kormanik, T.L., Zarnoch, S.J. Kormanik, P.P., and Counce, P.A. 1997. Fall nitrogen fertilization and the biology of *Pinus taeda* seedling development. *Canadian Journal of Forest Research* 27: 1406-1412.
37. Timmer, V.R. and Armstrong, G. 1987. Diagnosing nutritional status of containerized tree seedling: comparative plant analysis. *Soil Science Society of America Journal* 51: 1082-1086.
38. Tsakou, A., Roulia, M., and Christodoulakis, N.S. 2003. Growth parameters and heavy metal accumulation in poplar tree cultures (*Populus euramericana*) utilizing water and sludge from a sewage treatment plant. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 71: 330-337.
39. Turner, J. and Lambert, M.J. 1986. Fate of applied nutrients in a long-term superphosphate trial in *Pinus radiata*. *Plant and Soil* 93: 373-382.
40. van den Driessche, R. 1988. Nursery growth of conifer seedlings using fertilizers of different solubilities and application time, and their forest growth. *Canadian Journal of Forest Research* 18: 172-180.
41. Walker, R.F. and Hunt, C.D. 1992. Controlled release fertilizer effects on growth and foliar nutrient concentration of container grown Jeffrey pine and singleleaf pinyon. *Western Journal of Applied Forestry* 12: 113-117.
42. Walker, R.F. and Lane, L.M. 1997. Containerized Jeffrey pine growth and nutrient uptake in response to mycorrhizal inoculation and controlled release fertilization. *Western Journal of Applied Forestry* 12: 33-40.
43. Woo, B.M., Lee, K.J., Jeon, G.S., Kim, K.H., Choi, H.T., Lee, S.H., Lee, B.K., Kim, S.Y., Lee, S.H., and Jeon, J.I. 2000. Studies on the desertification and sand industry development (II): analysis of silvicultural techniques and effects of landscape-eco shelterbelt establishment. *Journal of the Korea Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology* 3(3): 81-99.
44. Woo, B.M., Lee, K.J., Choi, H.T., Lee, S.H., Park, J.W., Wang, L., Zhang, K., and Sun, B. 2001. Studies on the desertification combating and sand industry development (III): revegetation and soil conservation technology in desertification-affected sandy land. *Journal of Korean Forest Society* 90(1): 90-104.
45. Zhang, T.H., Zhao, H.L., Li, S.G., Li, F.R., Shirato, Y., Ohkuro, T., and Taniyama, I. 2004. A comparison of different measures for stabilizing moving sand dunes in the Horqin Sandy Land of Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Environments* 58: 203-214.