

## 중국 내몽골 사막지역에서 시비와 토양개량재가 신강포플러의 성장 및 양분에 미치는 영향

### I. 처리 당년의 효과<sup>1</sup>

경지현<sup>2</sup> · 손요환<sup>2</sup> · 이명종<sup>3</sup> · 이천용<sup>4</sup> · 윤호중<sup>4</sup>

### Effects of Fertilization and Soil Amendments on Growth and Nutrients of *Populus alba* var. *pyramidalis* in a Sandy Land of Inner Mongolia, China

#### I. Current Year Results<sup>1</sup>

Ji Hyun Kyung<sup>2</sup>, Yowhan Son<sup>2</sup>, Myong Jong Yi<sup>3</sup>, Chun Yong Lee<sup>4</sup>,  
and Ho Joong Youn<sup>4</sup>

#### 요 약

중국 내몽골자치구 Dengkou 지역 내 양묘장과 방풍림에 신강포플러(*Populus alba* var. *pyramidalis*)를 식재하고, 시비 및 보습제 처리를 한 다음 6개월이 경과한 후 성장을 조사 하고, 토양과 엽 내 질소와 인의 농도를 측정하였다. 토양 수분함량 (중량 %)은 양묘장과 방풍림에서 일반 사막화지에 비하여 10% 정도 높았다. 묘포장과 방풍림의 신강포플러는 전반적으로 질소 (N) 처리구 및 질소+인 (N+P) 처리구가 다른 처리구에 비해 수고 및 근원직경 생장이 좋은 것으로 나타났다. 또한 양분 농도에서는 N+P 처리구와 N 처리구에서 전질소 농도가 가장 높은 것으로 나타났다. 인 농도는 시비 처리구간 차이가 없었으나, 묘포장의 경우 오히려 무처리구가 다른 처리구보다 높게 나타났다. Yuhu 처리구에서는 다른 처리구보다 전질소와 인의 농도는 높게 나타나지 않았으나, 신강포플러 생장은 촉진시켰다. 초기 신강포플러 성장에 가장 큰 영향을 주는 성분이 질소인 것으로 나타났으며, 인은 성장에 큰 영향을 미치지 못하였다. 그러나 본 연구는 시비 및 토양 처리 후 당년에 조사한 결과이므로 이러한 처리가 신강포플러의 성장 및 양분 농도에 미치는 영향을 보다 더 장기적으로 지속할 필요가 있는 것으로 판단된다.

1. 접수 2004년 12월 10일 Received on Dec. 10, 2004.

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

## ABSTRACT

Growth and nutrients of Xinjiang poplar (*Populus alba* var. *pyramidalis*) seedlings treated with fertilizers and soil amendments were examined in nursery and windbreak at Dengkou after 6 months of treatments in Inner Mongolia, China. Soil water content was 10% higher than that at most soils in desert. Height and diameter growth and foliar nitrogen (N) concentration were higher at N and nitrogen plus phosphorus (N+P) fertilizer treatments than other treatments. However, there were no differences in foliar P concentration among treatments in windbreak and foliar P concentration was higher at control than at other treatments in nursery. Yuh treatment increased height and diameter growth. Nitrogen appeared an influencing factor for early growth of Xinjiang poplar, and P had a minor affect on growth. More long-time studies were needed to elucidate the effects of fertilizers and soil amendments on growth and nutrients of Xinjiang poplar.

**Keywords :** *Populus alba* var. *pyramidalis*, N, P, growth, fertilizer

## 서론

최근 우리나라에서는 황사로 인하여 많은 피해를 입게 됨에 따라 그 발생 근원지인 중국과 몽골의 사막화 확산에 대하여 관심을 갖고 있다. 황사는 매년 1월부터 4월 사이에 모래와 진흙이 섞여진 황토 (loess) 지대에 강한 바람이 일면 모래폭풍이 발생하게 되는데 그 원인이 있다. 모래폭풍 내 굵은 입자는 발생 지역 부근에 떨어지고 직경  $3\mu\text{m}$ 내외의 작은 입자는 대기로 이동하여 황사가 된다. 그런데 지구상의 건조와 가뭄현상에 의해 토지의 사막화 현상은 점점 더 심화되고 있으며, 지역 환경 및 사회경제적 개발과 지역주민의 생존에 심각한 피해를 주고 있다<sup>(13,29)</sup>.

사막화는 선진국이나 개발도상국의 구별없이 지구적 규모로 넓어지고 있다. 1991년 UNEP의 보고서에서는 사막화의 영향을 받고 있는 토지의 면적은 약 36백만 $\text{km}^2$ 라고 보고하였는데, 이는 세계의 경작 가능한 건조 지역 52백만 $\text{km}^2$ 의 약 70%이며, 육지 전체면적의 약 25%에 해당한다<sup>(26)</sup>. 중국은 지구상에서 사막화 토지 면적이 가장 넓은 나라로서 실제 사

막화가 진행되고 있는 토지 면적은 861,000 $\text{km}^2$ 로써 총 면적의 9%를 차지하고 있는 것으로 보고되고 있으며, 건조지역 (Arid)과 반건조지역 (Semi-arid), 건조 반습윤지역 (Dry sub-arid)은 664,000 $\text{km}^2$ 에 달하는 것으로 나타났다<sup>(21)</sup>. 더욱이 자연적인 원인 및 인위적인 교란에 의하여 중국의 사막화 토지 면적은 연평균 2,460 $\text{km}^2$ 의 속도로 증가, 확대되어가고 있다. 특히, 북부지역은 척박한 환경으로 사막화 현상은 심각한 상태이며, 전체 면적의 34%가 사막지역이다.<sup>(30)</sup> 중국에서는 약 4억 명이 사막화에 의한 영향을 받고 있으며, 연간 직접 경제 손실량은 약 65억달러에 달하는 것으로 추정되고 있다<sup>(10)</sup>. 중국의 사막화 문제는 한 나라에 국한된 환경과 생존권 문제를 넘어선 지구 환경 보전 문제로 다루어져야 할 것이며, 특히 한반도에 심각한 악영향을 미치고 있으므로 사막지의 녹화 이용 방법 및 기술에 대한 연구가 필요하다<sup>(5)</sup>. 따라서 현재 사막화 지역 또는 사막화의 위협이 있는 지역을 회복시켜 안정화하기 위한 토양개량, 관개, 녹화 등에 관한 여러 가지 기술개발 연구가 시도되고 있다. 그런데 각 지역 특성에 맞는 수종을 선

발하여 조림기술을 개발하고, 사구 고정을 목적으로 사막지에 조림하여 토사 유실을 막는 방법 등에 관한 일부 조사와 연구가 수행되고 있지만<sup>(33)</sup>, 지금까지 우리나라의 사막화방지 연구<sup>(7,27)</sup>는 매우 빈약한 실정이다. 본 연구는 중국의 사막화를 방지하기 위한 식생 조성을 목적으로 내몽골 자치구 내 Dengkou지역에서 신강포플리를 식재하고 시비와 토양개량 처리에 따른 임목의 성장과 잎의 양분 상태 변화를 파악하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험지 조성 및 시비와 토양처리

본 연구를 위하여 중국 내몽골 자치구 내 Dengkou지역 사막임업실험센터 제 1시험장 (40°27' N, 106°41' E, 고도 1,040m)에 3ha의 시험지를 설정하였다 (Figure 1). 연구 대상지의 연간 최저 기온은 -29.6℃, 최고 기온은 39℃이며, 연평균 강우량은 144mm로 연중 기온차가 심하고, 매우 건조하여 사막지의 특성을 갖추고 있다. 2003년 4월 묘포장과 방풍림

조성지를 설정하고 내건성과 내염성이 높은 것으로 알려진 신강포플리(*Populus alba* var. *pyramidalis*) 1-0년생 삼목묘를 묘포장에 식재하고 1-1년생 묘목으로 방풍림을 조성하였다.

묘포장에는 20m × 30m의 방형구를 설치하고 그 안에 5m × 5m의 소형방형구 12개를 설치하였다 (Figure 2, 3). 소형방형구에는 묘목간의 거리가 40cm가 되게 144본의 삼목묘를 식재하였으며, 소형방형구간에는 5m × 5m의 완충대를 두었다. 묘목의 성장을 촉진시키기 위하여 질소 (N), 질소와 인 (N+P), 그리고 인 (P)의 시비처리를 하였는데, 시비처리 당 3개의 소형방형구를 반복으로 사용하였다 (총 소형방형구는 대조구를 포함하여 12개). 질소시비는 요소를 1m<sup>2</sup> 당 30g, 인 시비는 과린산석회를 1m<sup>2</sup>당 60g으로 하고, 질소와 인 시비는 요소와 과린산석회를 각각 1m<sup>2</sup>당 30g과 60g을 섞어 사용하였다.

방풍림은 묘포장과 인접한 곳에 24m × 60m (1,440m<sup>2</sup>)의 방형구를 설치하고, 그 안에 4m × 10m의 소형방형구 12개를 다시 설치하였다 (Figure 4, 5). 소형 방형구에는 묘목간의 거리가 1m가 되게 40본의 묘목을 식재하였으며,

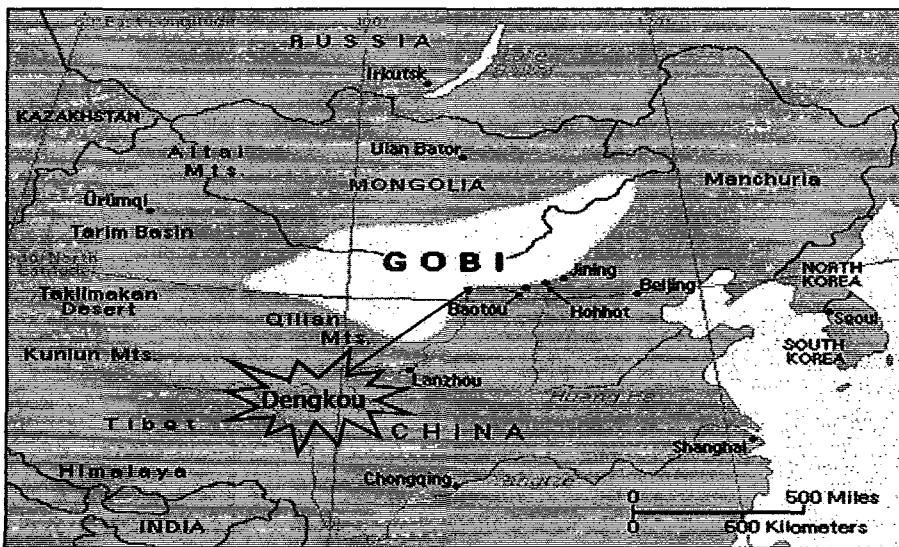


Figure 1. Location map of the experiment site.

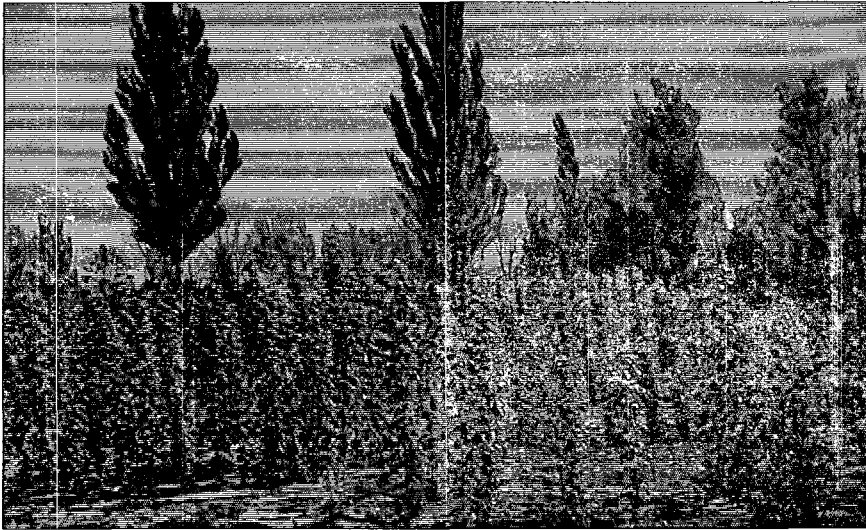
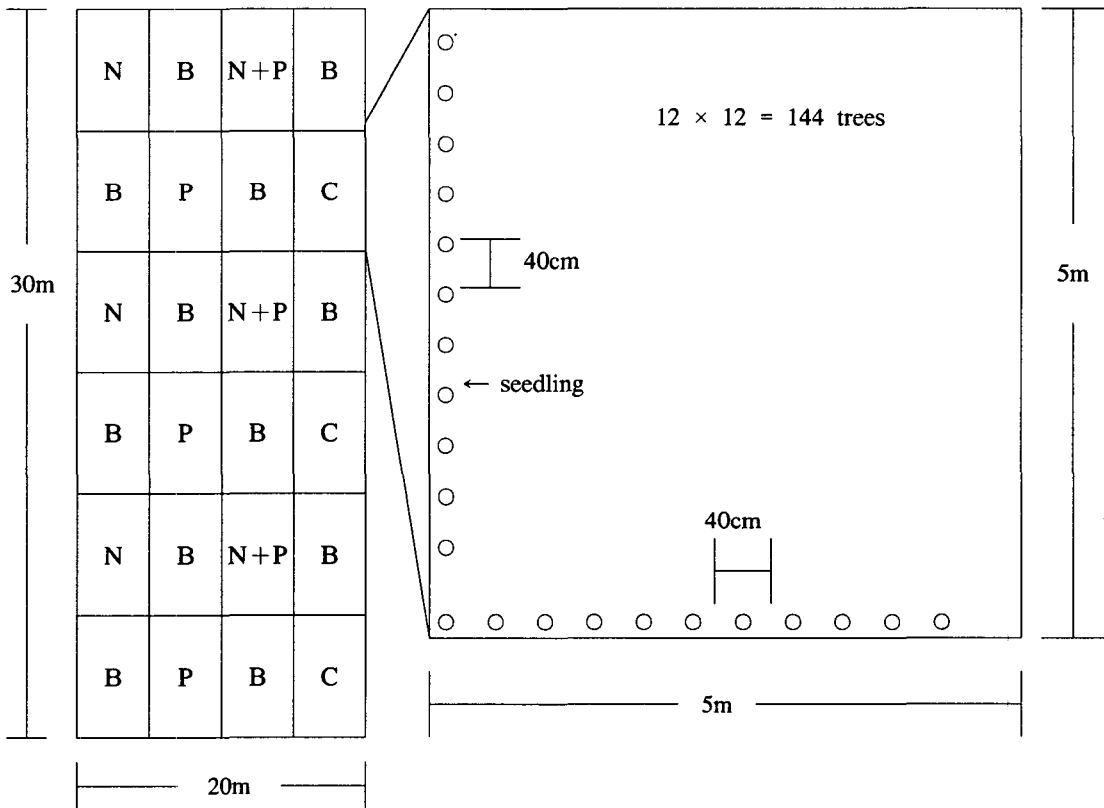


Figure 2. Nursery experiment site in Dengkou.



\* N = Urea only    \* P = Superphosphate    \* N + P = Urea plus superphosphate  
 \* C = Control    \* B = Buffer zone

Figure 3. Experiment layout for nursery in Dengkou.



Figure 4. Windbreak experiment site in Dengkou.

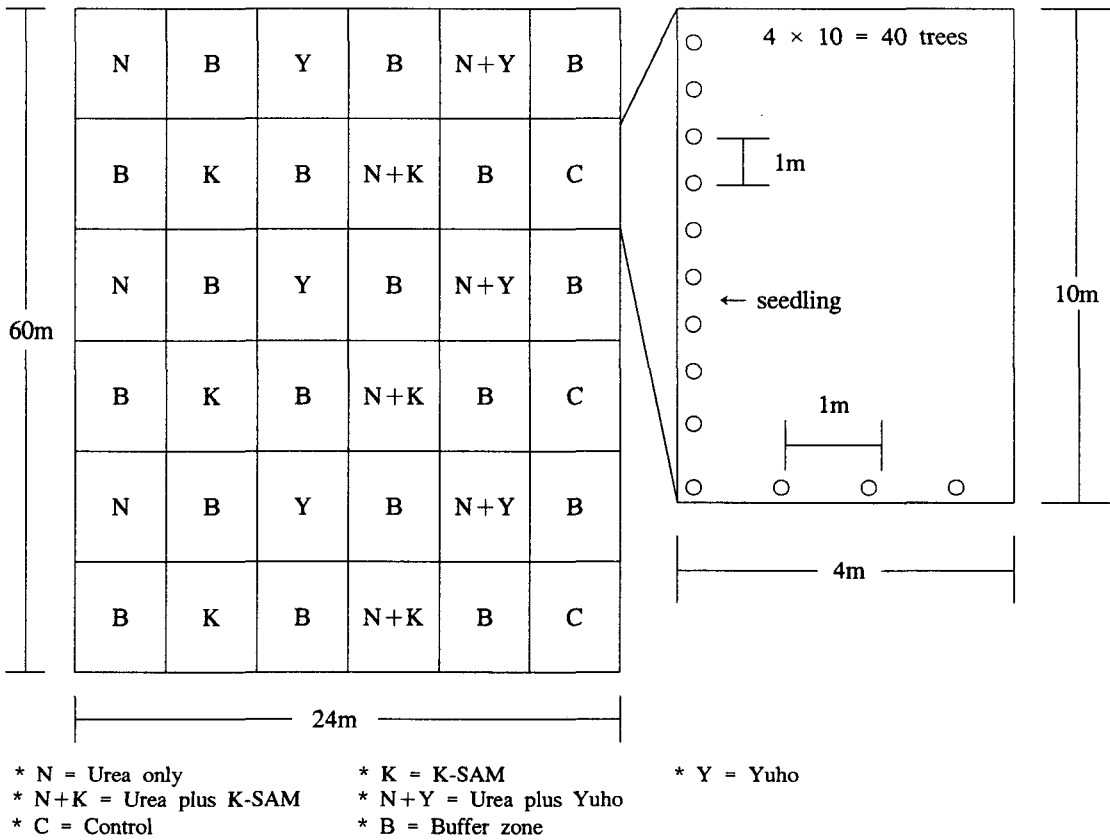


Figure 5. Experiment layout for windbreak in Dengkou.

소형방형구간에는 4m × 10m의 완충대를 설치하였다. 방풍림 내 묘목의 성장을 촉진시키기 위하여 N, Yuho (油蒿, *Artemisia ordosica* Krasch.) 첨가, N+Yuho 첨가 등의 처리를 하였는데, 매 처리당 3개의 소형방형구를 반복으로 사용하였다 (총 소형방형구는 대조구 포함 12개). 사막화 지역의 토양 특성인 보수성과 공극률이 낮은 점을 감안하여 토양의 물리성 개량 재료로서 사막지역에서 널리 분포하는 다년생 초본류인 Yuho (油蒿)를 사용하였다. 질소는 요소를 1m<sup>2</sup>당 60g씩 묘목 식재 후 토양 표면에 골고루 뿌려서 살포하였다. Yuho 첨가는 양분 공급 및 유기물로 인한 보습 효과를 목적으로 묘목당 건중량 200g씩 주로 잎을 토양과 섞어 처리하였다. N+Yuho 첨가는 요소와 Yuho를 각각 1m<sup>2</sup>당 60g 및 묘목 1본당 200g씩 처리하였다.

## 2. 시료 채취 및 분석

연구대상지는 경사가 전혀 없는 평지로서 토양이 균일한 것으로 판단되어 2003년 10월 묘포장과 방풍림 조성지에서 각각 임의의 3개 소로부터 깊이 30cm까지 토양을 채취하여 분석에 사용하였다. 토양의 물리성 항목으로는 수분 함유율, 가비중, 토양 3상, 공극율, 최대용수량 등을 측정하였다. 또한 토양과 증류수를 1:5의 비율로 섞어 pH를 측정하였고,<sup>(2)</sup> 토양에 황산과 CuSO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 촉매제를 첨가하여 Lachat BD-46로 Kjeldahl 분해한 후, Automated Ion Analyzer (Quik Chem AE, Lachat Inc., USA)로 전질소와 총인의 농도를 측정하였다. 그리고 치환성 양이온 (K, Ca, Na, Mg)은 풍건 토양 5g을 pH 7.0으로 맞춘 1N NH<sub>4</sub>OAC로 용탈시킨 다음 ICP-AES (Inductively Coupled Plasma, ULTIMA 2C, Horiba Jobin Yvon, Japan)를 사용하여 측정하였다.<sup>(2)</sup>

2003년 10월 15일과 16일에 묘포장과 방풍

림 조성지내 모든 묘목을 대상으로 근원직경 또는 흉고직경과 수고를 측정하였다. 또한 매 처리구별 3개 묘목으로부터 1본당 20개가량의 잎을 채취하였다. 채취한 잎 시료는 건조 후 분쇄하여 황산과 과산화수소를 첨가하여 Lachat BD-46로 Kjeldahl 분해한 다음 Automated Ion Analyzer (Quik Chem AE, Lachat Inc., USA)로 질소와 인의 농도를 측정하였다.

## 3. 통계분석

묘목의 직경 및 수고, 잎 내 질소와 인의 농도를 묘포장과 방풍림으로 구분하여 시비와 토양처리 효과 차이는 분산분석으로 검정하였다. 처리구간의 차이가 통계적으로 유의한 경우 Duncan multiple range test를 사용하였으며, 모든 통계처리는 SAS를 사용하였다.<sup>(22)</sup>

## 결과 및 고찰

### 1. 토양 성질

묘포장과 방풍림의 전질소는 0.01-0.06%의 범위로 보통 식물의 성장에 필요한 0.1% 이상의 농도에 크게 미치지 못하였다<sup>(12,32)</sup>. 또한 총인의 농도는 0.02-0.05%로 식물 성장에 부족하며 일반 토양의 평균 0.3%보다 낮게 분석되었지만,<sup>(8)</sup> 전질소와의 비율 면에서는 비교적 높았다. 한편 염기성 양이온의 농도는 칼륨은 0.02-0.03%, Ca는 0.25%, Na는 0.23%, Mg는 0.03% 등으로 나타났다. 칼륨은 다른 양분원소에 비해 높게 나타나 일반적으로 내건성에 관여하는 원소는 충분한 것으로 측정되었다. 한편 토양의 pH는 묘포장과 방풍림에서 각각 8.28과 8.94로 내몽골 Horqin 사지의 범위와 유사한 것으로 나타났다.<sup>(28)</sup>

가비중은 묘포장과 방풍림에서 각각 1.42-1.51g/cm<sup>3</sup>와 1.42-1.46g/cm<sup>3</sup>의 범위로 김춘식<sup>(1)</sup>과

Su<sup>(24)</sup> 등이 조사한 내몽골 Horqin 사지의 범위와 비슷하였으며, 일반적으로 중국 사막지의 토양에서 관찰되는 1.36-1.62g/cm<sup>3</sup>의 범위와도 유사하였다<sup>(11)</sup>. 이러한 가비중은 일반적으로 임목 생장이 양호한 지역에서 나타나는 1.0g/cm<sup>3</sup>에 비해 매우 높았으며, 식물 생장에 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 토양 수분함량(중량%)은 묘포장과 방풍림에서 각각 16.2-17.9%와 13.7-14.1%의 범위로 관수시설을 갖추고 있는 연구대상지가 일반 사막화지에서 관찰되는 10% 내외보다 다소 높았다<sup>(1)</sup>. 하지만 이 범위는 우리나라 일반 산림토양에서 나타나는 범위보다 낮은 수준이며, 최대 용수량(중량%)도 일반 산림토양과 해안사토<sup>(31)</sup>에 비해 낮은 것으로 나타나 양묘장이 24.4-28.2%, 방풍림이 22.3-28.7%의 범위를 보였다. 토양 3상 중 액상은 묘포장과 방풍림에서 각각 23.9-25.3%와 19.7-20.1%로 사막지의 5-16%의 범위보다 다소 높았다. 그리고 고상은 묘포장과 방풍림에서 각각 53.5-56.9%와 53.6-54.9%로 나타났다. 그러나 공극율은 묘포장이 43.1-46.5% 방풍림이 45.1-46.4%로 차이가 없었다.

## 2. 직경 및 수고생장

묘포장의 묘목 근원경과 묘고는 처리구간에 차이가 유의한 것으로 나타났다 (Figure 6). 처리구별 평균 근원경은 N+P 처리구에서 12.5mm, N 처리구에서 12.4mm, 무처리구에서 10.9mm, 그리고 P 처리구에서 10.3mm 등의 순으로 측정되었으며, N과 N+P 처리구가 무처리구보다 높게 나타났다. 그러나 P 처리구는 무처리구와 차이를 보이지 않아 질소가 직경 생장을 증가시켰으나, 인은 직경 생장에 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 한편 묘고는 N 처리구에서 1.7m, N+P 처리구에서 1.6m, 무처리에서 1.4m 그리고 P 처리구에서 1.3m 등의 순으로 측정되었다. 평균 근원경과 유사하게 N 처리구와 N+P 처리구에서 묘고 생장

이 좋은 것으로 나타났으나, P 처리구의 경우는 무처리구와 유의적인 차이를 보이지 않았다. 질소와 인은 필수 영양원소로 임목의 생장을 제한하는 인자로 알려져 있으며, 많은 수종에서 질소와 인의 시비 후 생장이 증가됨이 보고되었다<sup>(6,9,16)</sup>. 그러나 본 연구에서 질소 시비가 묘목의 생장을 증가시켰으나 인의 시비 처리 효과는 없는 것으로 나타났다.

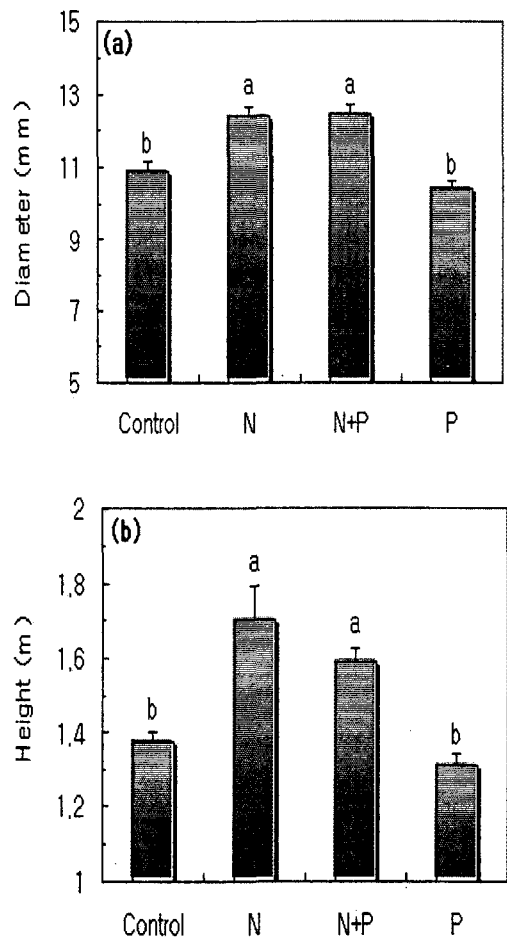
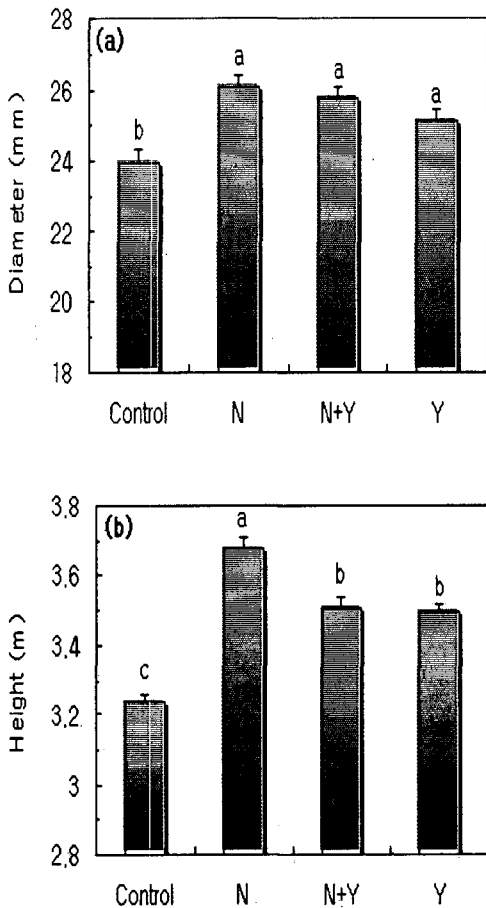


Figure 6. Effect of fertilization treatments on seedling diameter (a) and height (b) growth in the nursery. Same letters indicate no significant difference ( $p>0.05$ ). Vertical lines are one standard errors of means.

방풍림에서 흉고직경과 수고는 무처리구에 비하여 모든 처리구에서 높은 것으로 나타났다 (Figure 7). 묘목의 평균 흉고직경은 N 처리구에서 26.1mm, N+Yuhu 처리구는 25.7mm, Yuhu 처리구는 25.1mm 그리고 무처리구는 24.0mm 등의 순으로 측정되었다. 무처리구에 비해 다른 처리구들의 직경 생장은 좋은 것으로 나타났지만, N 처리구, N+Yuhu 처리구, 그

리고 Yuhu 처리구간에는 유의적인 차이가 없었다. 또한 묘목의 평균 수고는 N 처리구 (3.7m)에서 수고 생장이 가장 좋았으며, Yuhu 처리구 (3.5m)와 N+Yuhu 처리구 (3.5m), 그리고 무처리구 (3.2m)간에도 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 토양 보습성과 양분 공급을 목적으로 처리한 Yuhu가 직경 및 수고 생장에 영향을 미쳤으며, 질소 또한 생장을 촉진시킨 것으로 나타났다.

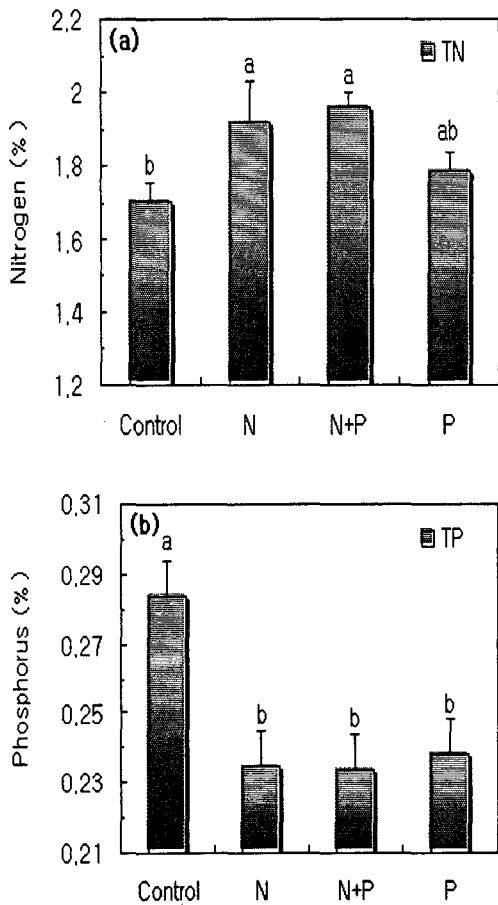


**Figure 7.** Effect of fertilization and soil treatments on seedling diameter (a) and height (b) growth in the windbreak. Same letters indicate no significant difference ( $p > 0.05$ ). Vertical lines are one standard errors of means.

### 3. 양분 농도

시비처리 후 묘포장 묘목의 잎 내 전질소와 인의 농도는 각 처리구별 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다 (Figure 8). 평균 전질소 농도는 N+P 처리구에서 1.96%, N 처리구에서 1.92%, P 처리구에서 1.79% 그리고 무처리구에서 1.7% 등의 순으로 측정되었다. N+P 처리구에서 전질소 농도가 가장 높은 것으로 나타났으며, 무처리구를 제외한 다른 처리구간에는 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다 ( $p < 0.05$ ). 그러나 P 처리구가 N 처리구와 N+P 처리구보다 상대적으로 낮은 수치를 나타내 인 처리에 따른 전질소 함량이 증가하지 않았다. 한편 총인의 농도는 무처리구 (0.28%)에서 가장 높은 수치를 나타냈으며, P 처리구 (0.24%)와 N 처리구 (0.23%), 그리고 N+P 처리구 (0.23%) 간에는 차이가 없는 것으로 측정되었다. 시비처리 결과 묘목 내 질소 농도는 질소 단독 처리와 질소와 인 복합 처리에서 무처리구나 인 단독 처리에서보다 높게 나타났다<sup>(4)</sup>. 그러나 인을 시비한 처리구는 직경 및 수고 생장과 질소와 인의 농도 증가가 없어 시비효과가 아직 나타나지 않았거나 인의 과다소비현상이 일어나고 있는 것으로 보인다<sup>(17,23,25)</sup>. 한편 본 연구에서는 묘목 내 잎의 질소와 인 농도만을 분석하였기 때문에 질소와 인 이외의 다른 원소가 묘목 생장에 제한 요인이 되고 있을 가능성도 배제할 수 없다<sup>(23)</sup>.

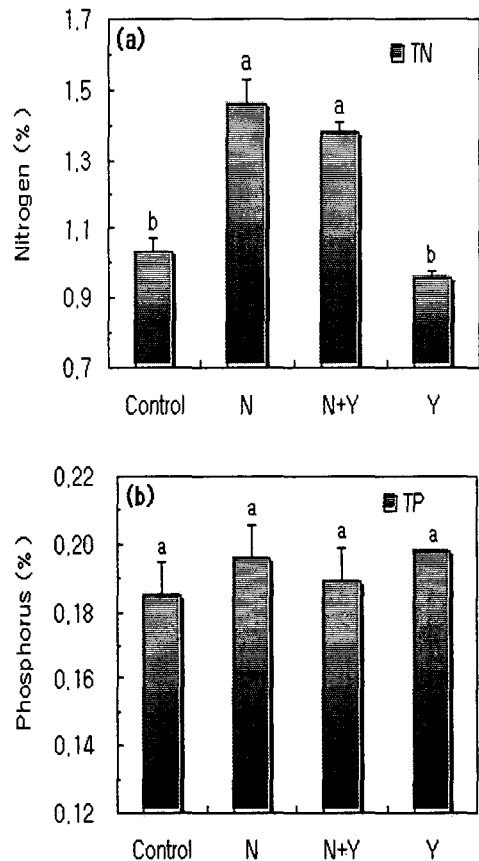




**Figure 8.** Effects of fertilization treatments on foliar N (a) and P (b) concentrations in the nursery. Same letters indicate no significant difference ( $p>0.05$ ). Vertical lines are one standard errors of means.

방풍림 묘목의 각 처리구간 전질소 농도는 유의적인 차이를 보였으나 총인의 농도는 처리구별 차이가 없는 것으로 측정되었다 (Figure 9). 방풍림 내 묘목의 전질소 농도는 N 처리구에서 1.46%, N+Yuhu 처리구에서 1.38%, 무처리구에서 1.03%, 그리고 Yuhu 처리구에서 0.96% 순으로 측정되었다. N 처리구에서 가장 높은 수치를 나타냈으며, 무처리구와 Yuhu 처리구와는 유의적인 차이가 있는 것으로 나타

났다. 또한 N+Yuhu 처리구는 높은 농도를 나타낸 반면, Yuhu 처리가 전질소 농도 증가에 영향을 미치지 않았다. 이는 Yuhu 처리 후 유기물 분해에 시간이 충분하지 않아 질소 농도에는 아직 영향을 주지 않는 것으로 사료된다. 한편, 총인의 농도는 각 처리구별 차이가 없는 것으로 나타나 질소와 Yuhu 처리가 신강포플러의 인 농도 증가에 영향을 미치지 않거나, 처리 후 시비효과가 아직 나타나지 않았을 가능성이 있는 것으로 추측된다.



**Figure 9.** Effects of fertilization and soil treatments on foliar N (a) and P (b) concentrations in windbreak. Same letters indicate no significant difference ( $p>0.05$ ). Vertical lines are one standard errors of means.

일반적으로 많은 수종들을 대상으로 질소와 인 등의 주요 양분 등을 시비한 후 임목의 생장 및 체내 양분 농도 등이 증가되었다는 연구결과들이 보고된 바 있다<sup>(3,18,19,20)</sup>. 그러나 묘포장의 경우 질소 시비는 묘목의 직경, 수고생장에 좋은 영향을 미쳤으나, 인은 시비 처리의 효과가 나타나지 않았다. 또한 시비 처리 후 질소의 농도는 증가하였으나, 인의 농도는 무처리구가 가장 높아 오히려 감소하는 경향을 나타냈다. 방풍림은 N 처리구에서 직경, 수고생장 및 양분 농도가 다른 처리구보다 높은 것으로 측정되었다. 또한, N+Yuhu 처리구는 인 농도를 제외한 질소 농도와 직경, 수고생장에서 시비 후 처리 효과가 나타났다. 그러나 Yuhu 만을 시비했을 경우 양분 농도에는 처리 효과가 없었으나, 직경, 수고생장에는 좋은 영향을 주는 것으로 나타났다. 토양의 양분 유효도가 증가할수록 묘목의 생장은 증가하는데<sup>(14,23)</sup>, 본 연구 결과 질소는 생장과 양분 농도에 좋은 영향을 미쳤으며, Yuhu 처리는 신강포플러 생장에 효과가 있는 것으로 나타난 반면 인의 시비는 생장과 양분농도에 대한 처리 효과가 나타나지 않았다. 시비 후 처리 효과가 나타나기까지 시일이 걸리는 것이 일반적이거나, 본 연구에서는 시비와 토양 처리 후 측정 시기까지의 기간이 짧아 인의 처리 효과가 완전히 나타나지 않았을 가능성이 있는 것으로 사료된다. 또한 Haase와 Rose는 비료 처리량에 따라 식물의 양분 농도는 변한다고 하였는데<sup>(15)</sup>, 시비 처리의 양을 조절하여 장기간 동안 묘목의 생장과 생리적인 변화를 연구할 필요가 있는 것으로 판단된다.

## 사 사

본 논문은 환경부 차세대 핵심환경기술개발사업(사막화 방지를 위한 수목 선발, 목초지 조성기술)의 지원으로 이루어진 연구 결과의 일부입니다.

## 인 용 문 헌

1. 김춘식, 변재경, 김석권, 최경. 2002. 중국 내몽고 컬얼친사지 사방조림 사업지의 토양특성. 한국임학회지 91(1) : 16-24.
2. 농업과학기술원. 2000. 토양화학분석법.
3. 손요환, 김진수, 황재홍, 박정수. 1998. 은행나무 묘목에 대한 시비가 생장 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 양분이용효율에 미치는 영향. 한국환경농학회지 18(4) : 304-309.
5. 우보명, 이경준, 최현태, 이상호, 박주원, 왕리산, 장계빈, 선바오핑. 2001. 사막화방지 방지기술개발에 관한 연구 (IV). 한국임학회지 90(3) : 277-294.
6. 유종훈. 1988. 질소시비의 수준차이에 따른 은행나무 생장에 관한 연구. 성균관대학교 석사학위논문. pp. 34.
7. 이천용. 1999. 사막화협약의 개요와 대처방안. 동북아 지역의 사막화방지 및 한발완화에 관한 세미나 발표문집. 동북아산림포럼. pp. 129-144.
8. 조성진 외. 2002. 사정 토양학. 향문사.
9. Brinkman, J.A. and R.E.J. Boerner. 1994. Nitrogen fertilization effects on foliar nutrient dynamics and autumnal resorption in maidenhair tree (*Ginkgo bioloba* L.). *J. Plant Nutrition* 17 : 433-443.
10. Chen, H.S., Y.H. Kang, and J.Z. Feng. 1993. Measurement, analysis and calculation of water and thermal parameters of sand land in Shaotou region, the Tengger desert. In: S.W. Gao and S.W. Zhou. *The Desertification Control in China*. Beijing Science and Technology Press. pp. 178.
11. CCICCD. 1999. Desertification Rehabilitation

- and Ecology Restoration in China-Highlight. pp. 21.
12. CCICCD. 1999. Traditional Knowledge and Practical Techniques for Combating Desertification in China. China Environmental Science Press.
  13. Ci, Longjun. 1997. Land Evaluation and Expert System for Combating Desertification. China Forestry Publishing House. pp. 201.
  14. Green, T.H., R.J. Mitchell, and D.H. Gjerstad. 1994. Effects of nitrogen on the response of loblolly pine to drought II. Biomass allocation and C:N balance. New Phytol. 128 : 145-152.
  15. Haase, D.L. and R. Rose. 1995. Vector analysis and its use for interpreting plant nutrient shifts in response to silvicultural treatments. For. Sci. 41 : 54-66.
  16. James, E.J., J.B. Tohn. and A.R. Ronald. 1998. Above-ground biomass and nutrient distribution of released and fertilized yellow-poplar trees. For. Ecol. Mgmt. 105 : 231-240.
  17. 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.
  18. Mead, D.J. and W.L. Pritchett. 1975. Fertilizer movement in slash pine ecosystem. I. Uptake of nitrogen and phosphorus and nitrogen movement in the soil. Plant Soil 43 : 451-466
  19. Park, G.S. 1997. Effects of fertilization and clone on aboveground and soil carbon storages in a willow (*Salix* spp.) bioenergy plantation. J. Kor. For. Soc. 86(2) : 177-185.
  20. Raison, R.J., P.K. Khanna, M.J. Connell, and R.A. Falkiner. 1990. Effects of water availability and fertilization on nitrogen cycling in a stand of *Pinus radiata*. For. Ecol. Mgmt. 30 : 31-43.
  21. Research groups of "Study on Combating Desertification/Land Degradation in China". 1998. Study on Combating Desertification/Land Degradation in China. China Environmental Science Press, Beijing. pp. 69-75.
  22. SAS. 2003. SAS/STAT User's Guide. V8.2 edition. SAS Institute Inc.
  23. Seith, B., George, E., Marschner, H., Wallenda, T., Schaeffer, C., Einig, W., A. Wingler, and R. Hampp. 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.
  24. Su, Y.Z., Li, Y.L., J.Y. Cui, and W.Z. Zhao. 2004. Influence of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, northern China. CATENA. In Press.
  25. Timmer, V.R., and G. Armstrong. 1987. Diagnosing nutritional status of containerized tree seedling: comparative plant analysis. Soil Sci. Soc. Am. J. 51 : 1082-1086.
  26. Woo, B.M., Lee, K.J., Jeon, G.S., Kim, K.H., Choi, H.T., Lee, S.H., Lee, B.K., Kim, S.Y., S.H. Lee, and J.I. Jeon. 2000. Studies on the desertification combating and sand industry development (I). J. Korean Env. Res. Reveg. Tech. 3(3) : 45-76.
  27. Woo, B.M., 1999. Importance of China-Korea Joint Research Project for Combating Desertification in view point of Global

- Environment Conservation. In: China-Korea Joint Seminar on Desertification Combating and Sand Industry Development. pp. 37-66.
28. Zhang, T.H., Zhao, H.L., Li, S.G., Li, F.R., Shirato, Y., T. Ohkuro, and I. Taniyama. 2004. A comparison of different measures for stabilizing moving sand dunes in the Horqin Sandy Land of Inner Mongolia, China. *J. Arid Environ.* 58 : 203-214.
29. Zhou, G.. 1999. China's Current Desertification Status and its Combat Method. In Proc. of Seminar on Combating Desertification and Mitigating Drought in Northeast Asia. Northeast Asian Forest Forum. pp. 21-35.
30. Zou, S.Y., J.L. Zhang, and Z.F. Feng. 2001. Desertified land analysis in Horqin sandy land. *J. Desert Res.* 21 : 76-78.
31. 李明鐘, 須崎民雄, 矢幡久. 1998. 海岸砂土における海松林の養分循環(I) 土壤における養分集積. *日林九支論集* 40:67-68.
32. 丁國棟. 2002. 砂漠化概論. 中國林業出版社. pp. 50.
33. 朱俊風, 朱震達. 1999. 中國沙漠化防治. pp. 495.