

## 몽골 반건조지에서 질소 시비가 백양나무와 비술나무 묘목의 성장 및 토양 특성에 미치는 영향

장한나\* · 한승현\* · 김성준\* · 박민지\* · 안지애\* · 강호덕\*\* · 이명종\*\*\* ·  
Khaulenbek Akhmadi\*\*\*\* · 손요환†

고려대학교 대학원 환경생태공학과\*, 동국대학교 바이오환경과학과\*\*, 강원대학교 산림자원학과\*\*\*,  
몽골지리생태연구소 건조지연구센터\*\*\*\*

## Effects of Nitrogen Fertilization on Growth of *Populus sibirica* and *Ulmus pumila* Seedlings and Soil Properties in a Semi-Arid Area, Mongolia

Chang, Hanna\*, Han, Seung Hyun\*, Kim, Seongjun\*, Park, Min Ji\*, An, Jiae\*, Kang, Hoduck\*\*,  
Yi, Myong-Jong\*\*\*, Khaulenbek Akhmadi\*\*\*\* and Son, Yowhan†

\*Dept. of Environmental Science and Ecological Engineering, Graduate School, Korea University, Seoul, Korea

\*\*Dept. of Biological and Environmental Science, Dongguk University, Seoul, Korea

\*\*\*Dept. of Forest Resources, Kangwon National University, Chuncheon, Korea

\*\*\*\*Division for Desertification Studies, Institute of Geography & Geoecology, Ulaanbaatar, Mongolia

### ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effects of different levels and types of nitrogen fertilizer on seedlings and soil chemical properties in a semi-arid area, Mongolia. 2-year-old *Populus sibirica* and 4-year-old *Ulmus pumila* seedlings were planted in May 2014. Six treatments with three levels of nitrogen (low-level: urea 5 g tree<sup>-1</sup>; medium-level: urea 15 g tree<sup>-1</sup>, ammonium sulfate 33 g tree<sup>-1</sup>, urea 15 g tree<sup>-1</sup> with potassium phosphate 10 g tree<sup>-1</sup>; high-level: urea 30 g tree<sup>-1</sup>) were applied and for the medium-level of nitrogen, different types of fertilizer were treated. Survival rate, root collar diameter (RCD) growth rate, leaf nitrogen concentration of seedlings, and soil chemical properties were determined in August 2014. The seedling survival rate of both species decreased as the level of nitrogen increased. This result can be explained by water stress caused by nitrogen fertilization in arid regions. The RCD growth rate of *P. sibirica* was significantly decreased by the treatment of high-level of nitrogen due to excessive nitrogen fertilization, and was increased by the treatment of ammonium sulfate due to sulfur which might promote nitrogen uptake. The leaf nitrogen concentration of *P. sibirica* did not change by the treatment of low-level of nitrogen, and was increased by the treatment of medium-level of nitrogen. There were no significant differences in the RCD growth rate and the leaf nitrogen concentration of *U. pumila* among the six treatments. None of soil chemical properties was affected by nitrogen fertilization. Overall, the low-level of nitrogen showed no effect on seedlings and soil chemical properties, except on survival rate of *U. pumila* and the high-level of nitrogen was considered excessive fertilization. Continuous monitoring of medium-level nitrogen fertilization including the ammonium sulfate, which increased early growth of seedlings, would be needed to elucidate the effect of fertilization on seedling growth and soil properties in a semi-arid region.

Key Words: Desertification, Nitrogen Fertilization, *Populus sibirica*, *Ulmus pumila*, Semi-Arid, Mongolia

† Corresponding author : yson@korea.ac.kr

Received April 29, 2015 / Revised June 1, 2015 / Accepted September 1, 2015

## 1. 서 론

사막화는 기후 요인과 인간 활동에 의해 건조 및 반건조 지역의 토지가 황폐화되는 현상이다(United Nations, 1994). 사막화 지역은 기후 변화에 의한 지역적 기온 상승 및 강우 패턴의 변화에 따라 확장될 것으로 예상된다(Joh *et al.*, 1998; Sivakumar, 2007). 몽골은 중국과 함께 동북아시아의 대표적인 사막화 지역으로 국토의 90%가 사막화의 영향 하에 있다(Batjargal, 1997). 기후 변화의 영향으로 몽골의 평균 온도는 지난 70년간 약 2°C 증가하였으며, 강수량은 여름에는 감소하고, 겨울에는 증가하였다(Sanjmyatav, 2012). 이로 인하여 몽골 식생의 약 70%가 감소하였으며, 사막화가 전 국토의 문제로 확산되고 있다(Northeast Asian Forest Forum, 2006).

조림은 사막화 지역을 복구하기 위한 방법 중 가장 널리 사용되는 방법으로(Shirato *et al.*, 2004) 토양이 침식되는 것을 방지하고, 토양의 성질을 개선한다(Yüksek and Yüksek, 2011). Tsogtbaatar(2004)는 몽골의 황폐지 복원을 위한 방법으로 조림을 강조하였으며, 효과적인 조림을 위해서는 경제적인 지원이 필요하다고 하였다. 이에 따라 몽골 정부는 사막화 방지를 위하여 조림 사업을 추진하고 있으며, 이의 일환으로 한국 정부가 지원하는 몽골그린벨트 사업이 2006년부터 시행되고 있다. 그러나 황폐화된 토양은 양분 함량이 낮고 수분이 부족하기 때문에, 사막화 지역에서 묘목을 식재하여 산림을 조성하는데 어려움이 있다(Garcia *et al.*, 2000; Li *et al.*, 2014). 따라서 성공적인 조림을 위해서는 묘목의 생육에 적합한 토양으로 개량하는 것이 필요하다. 특히 질소는 건조 지역에서 식물의 생장을 제한하는 인자로(Yahdjian *et al.*, 2011) 질소 시비를 통하여 묘목의 생장을 증가시킬 수 있다. 묘목의 생육은 성목 단계에 영향을 미치므로(Zolfaghari *et al.*, 2013) 질소 시비에 의한 초기 묘목의 생장 증가에 따라 성목의 생육이 달라질 수 있다. 한편, 건조지에서 질소 시비는 토양 미생물 생체량을 증가시키며 토양의 화학적 특성을 개선한다(Alon and Steinberger, 1999; Blevins *et al.*, 1977).

건조지에서 수행된 질소 시비 연구는 많으나(Fisher *et al.*, 1988; Song *et al.*, 2010; Yoon *et al.*, 2014), 몽골 지역에서 수행된 연구는 매우 제한적이다. 또한 몽골에서 수행된 연구는 주로 초본을 대상으로 한 연구이나(Wesche and Ronnenberg, 2010), 건조지에서 질소 시비에 따른 반응은 초본과 수목에 따라 다르다(Yahdjian *et al.*, 2014). 따라서 몽골에서 조림을 위한 적정 시비량이나 적합한 비료의 형태에 대한 연구가 필요하다.

본 연구는 사막화 지역인 몽골 반건조지에서 주요 조림 수

종인 백양나무(*Populus sibirica*)와 비솔나무(*Ulmus pumila*) 묘목을 대상으로 질소 수준과 비료 형태에 따른 생존 및 생장, 잎의 질소 농도, 그리고 토양의 화학적 특성에 미치는 영향을 파악하고자 수행되었다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 연구 대상지 개황 및 시비 처리

몽골은 높은 산으로 고립되어 있어 대륙성 기후를 나타내므로, 겨울은 길고 기온이 낮으며 여름은 짧다(Northeast Asian Forest Forum, 2006). 연구 대상지는 몽골 불강(Bulgan) 아이막 라산(Rashaant) 슝 엘센타사라이(Elsentasarkhai) 지역(47° 19'N, 103°42'E, Fig. 1)으로, 연강수량이 203.4 mm인 반건조 지이다(Jung *et al.*, 2014). 연평균 기온은 2.06°C이나, 계절에 따른 편차가 심하여 월평균 기온은 여름에는 36.6°C, 겨울에는 -36.2°C까지 변한다. 토성은 사질 토양이며, 양분이 부족한 알칼리성 토양이다(Jung *et al.*, 2014). 2014년 5월, 연구 대상지에 6 m × 7 m 크기로 12개의 처리구를 조성하였다(Fig. 2a). 2년생 백양나무 묘목과 4년생 비솔나무 묘목을 수종별로 6개의 처리구에 각각 30본씩 식재하였다. 처리구간 간격은 2 m로 하여 시비 처리가 중첩되지 않도록 하였고, 묘목 간 간격은 1 m로 하여 5본씩 6열로 배열하였다(Fig. 2b). 시비 처리는 처리구별로 무시비(C)와 분당 요소 5 g(N5), 요소 15 g(N15), 황산암모늄 33 g(NS33), 요소 15 g 및 인산칼륨 10 g(N15+PK10), 요소 30 g(N30) 등으로 하였다. 질소 수준에 따른 변화를 관찰하기 위하여 시비 처리를 3개의 질소 수준으로 구성하였고(질소 저수준: N5, 질소 중수준: N15, NS33, N15+PK10, 질소 고수준: N30), 질소 중수준 내에 요소, 황산암모늄, 요소와 인산칼륨의 혼합 처리를 두어 같은 질소 수준에서 비료 형태에 따른 차이를 알아보고자 하였다. 시비량은 본 지역에서 수행되었던 Jung *et al.* (2014)의 연구를 바탕으로 산정하였다.

### 2.2 묘목의 생존 조사 및 생장 측정

묘목의 생존율은 모든 묘목을 대상으로 생장이 완료된 2014년 8월에 조사하였고, 묘목의 근원경은 모든 묘목을 대상으로 동년 5월과 8월에 디지털 캘리퍼(Mitutoyo 700-125)를 이용하여 매번 같은 위치에서 측정하였다. 3개월간의 근원경 생장량을 5월에 측정된 초기 근원경 값으로 나누어 근원경 생장률을 산출하였다.

### 2.3 잎 및 토양 시료 분석

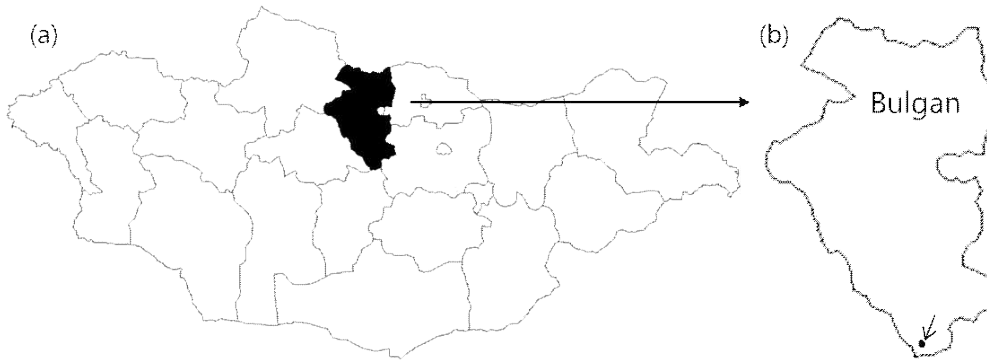


Fig. 1. Map of Mongolia (a) and location of the study site in Bulgan province (b).

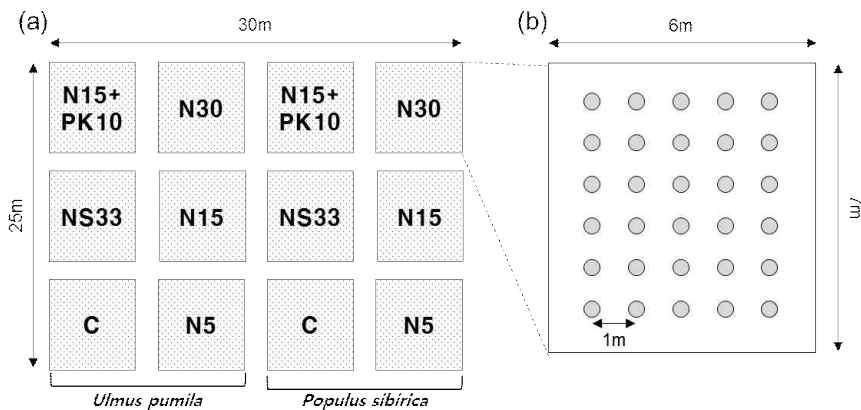


Fig. 2. Experimental treatment (C: control, N5: urea 5 g tree<sup>-1</sup>, N15: urea 15 g tree<sup>-1</sup>, NS33: ammonium sulfate 33 g tree<sup>-1</sup>, N15+PK10: urea 15 g tree<sup>-1</sup> and potassium phosphate 10 g tree<sup>-1</sup>, N30: urea 30g tree<sup>-1</sup>) (a) and planting layout (b).

묘목의 활착이 완료된 2014년 8월에 묘목의 생존율이 20% 이하인 처리구(백양나무: N30, 비술나무: NS33, N15+PK10, N30)를 제외하고, 각 처리구당 임의로 3본의 묘목을 선정하여 잎을 채취하였다. 채취한 잎 시료는 65°C에서 건조한 후 분쇄하였다. 원소분석기(Vario Macro CHN, Elementar Analysensystem GmbH, Germany)를 이용하여 분쇄된 잎의 탄소 및 질소 농도를 분석하고, CN율을 계산하였다.

토양 시료는 동년 8월에 각 처리구당 임의의 3개 지점에서 15 cm 깊이까지 채취하였고, 실내에서 풍건하였다. pH와 전기전도도는 토양과 증류수를 1:1비율로 섞어 pH meter 및 EC meter를 이용하여 측정하였다. 치환성 양이온(Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>) 및 유효인산 농도는 Mehlich II법으로 추출하여 ICP-OES (Varian, Vista PRO, Australia)로 측정하였다(National Academy of Agriculture Science, 2010).

#### 2.4 통계 분석

각 처리구간 질소 시비에 따른 묘목의 근원경 생장률, 잎의 탄소 및 질소 농도와 CN율, 그리고 토양의 화학적 특성 차이는 일원분산분석을 이용하여 검정하였다. 또한 사후검정은 Tukey 검정을 이용하였다. 한편, 본 연구에서는 처리구 반복이 없어 자료 분석에 한계가 있으며, 모든 분석에 SAS 9.3 software (SAS Institute Inc., USA)를 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 묘목의 생존 및 생장

두 수종의 묘목 생존율은 질소 수준에 따라 유사한 경향을 보였고, 비료 형태에 따라 다른 경향을 보였다(Fig. 3a). 백양나무 묘목의 생존율은 대조구와 N5 처리구에서 93.3%로 가장 높았고, NS33(70.0%) > N15+PK10(63.3%) > N15(53.3%) > N30(20.0%) 등의 순으로 감소하였다. 비술나무 묘목의 생존율은 C(66.7%) > N5(43.3%) > N15(30.0%) > N15+PK10(20.0%)

> NS33(16.7%) > N30(0.0%) 등의 순이었다. 질소 중수준인 NS33, N15+PK10, N15 처리구에서 묘목의 생존율은 대조구에 비하여 백양나무의 경우 각각 25%, 32%, 43% 감소하였고, 비술나무의 경우 각각 75%, 70%, 55% 감소하였다. 한편, 수종 간 생존율의 차이는 평균 36.1%로 백양나무보다 비술나무에서 낮았다.

백양나무와 비술나무 묘목의 생존율은 질소 수준이 증가함에 따라 감소하였는데, 이는 질소 시비에 의한 수분 부족 때문인 것으로 판단된다. 질소 시비에 의한 증산량의 증가는 식물의 수분 요구량을 증가시키며(Nielsen and Halvorson, 1991), 건조지에서 질소 시비는 건조에 대한 민감도를 증가시키고, 수분 부족 현상을 일으킨다(Snyman, 2002). 한편, 비료 형태에 따

른 묘목의 생존율은 백양나무의 경우 황산암모늄 처리에서, 비술나무의 경우 요소 처리에서 높아 수종별로 다르게 나타났다.

모든 처리구에서 생존율이 감소된 비율은 백양나무보다 비술나무에서 크므로, 비술나무가 더 질소 시비에 민감한 것으로 보인다. 또한 질소 처리구뿐 아니라, 대조구에서도 백양나무보다 비술나무가 낮은 생존율을 보이므로 질소 시비 이외의 다른 환경 요인이 영향을 미쳤을 가능성이 있는 것으로 판단된다. 그러나 비술나무는 건조한 환경, pH 9 이상의 알칼리 토양, 염류 토양 등의 조건에 내성이 있는 건조지 주요 조립 수종이며(Heybroek, 1979), 다른 건조지 연구에서 비술나무의 생존율은 88-100%로(Khamzina *et al.*, 2006) 본 연구와 다른 경향을 보였다.

묘목의 근원경 성장률은 백양나무의 경우 질소 수준과 비료 형태에 따라 차이를 보였으나, 비술나무의 경우에는 차이가 없었다(Fig. 3b). 백양나무 묘목의 근원경 성장률은 N30 처리구에서 대조구와 유의한 차이는 없었으나 6.87%로 가장 낮았고, NS33 처리구에서 29.53%로 대조구보다 유의하게 높았다. N5, N15, N15+PK10 처리구에서 백양나무 묘목의 근원경 성장률은 대조구의 근원경 성장률과 유의한 차이가 없었다. 비술나무의 근원경 성장률은 모든 묘목이 고사한 N30 처리구를 제외하고, 4.08-8.49%의 범위로 대조구와 질소 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았다.

질소 고수준인 N30 처리구에서 백양나무 묘목의 성장률 감소는 질소의 과다 시비에 의한 것으로 판단된다. Wu *et al.*(2008)은 질소 과다 시비가 묘목의 성장을 감소시키며 독성을 일으킨다고 보고하였으며, Song *et al.*(2010)은 건조 스트레스 하에서 질소의 과다 시비는 뿌리의 성장을 감소시키고, 질소 흡수를 제한한다고 보고하였다. 한편, 비료 형태 중 백양나무의 황산암모늄 처리에서만 묘목의 근원경 성장률이 증가하였으며, 근원경 성장률에 대한 요소와 인산칼륨의 영향은 없었다. 이는 황산암모늄의 황 성분이 묘목의 질소 흡수를 촉진시켰기 때문인 것으로 보인다(Salvagiotti *et al.*, 2009). 또한 황산암모늄은 다른 질소 비료와 달리 알칼리 토양에서 독성을 일으키지 않고, 토양 산성도를 개선하여(Chien *et al.*, 2011) 식생 성장에 영향을 미친다.

한편, 본 연구에서 질소 시비는 비술나무의 근원경 성장률에 영향을 미치지 못하였다. 묘목 단계에서 줄기로부터 가지가 분지되지 않고 성장하는 백양나무와 달리 비술나무는 줄기로부터 많은 가지가 분지되면서 성장한다(Shi *et al.*, 2004). 따라서 질소 시비가 비술나무 묘목의 성장에 미치는 영향을 보다 명확히 구명하기 위해서는 근원경 성장률뿐 아니라, 묘목의 생물량 측정이 필요한 것으로 판단된다.

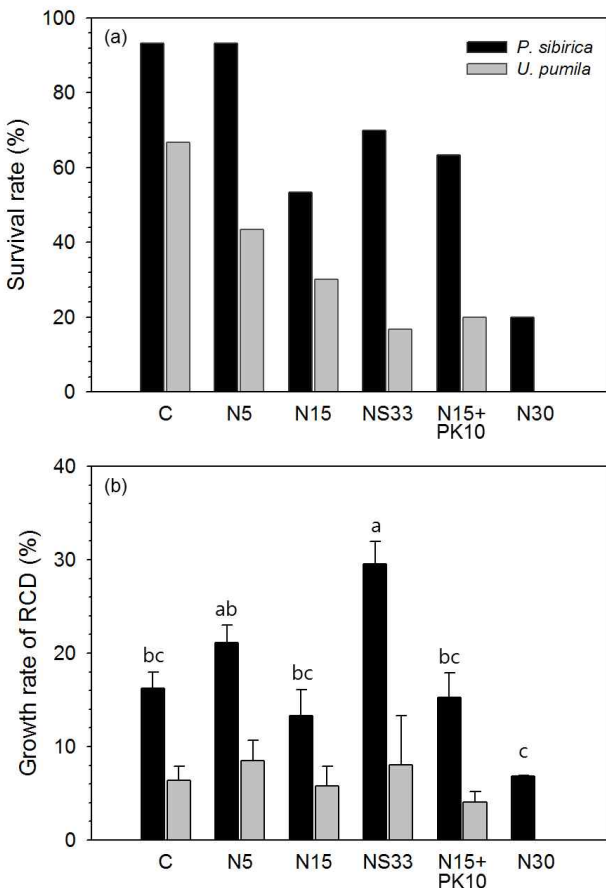


Fig. 3. Survival rate (a) and growth rate of root collar diameter (RCD) (b) of *Populus sibirica* and *Ulmus pumila* seedlings following fertilization treatments. Symbols of each treatment follow those in Fig. 2. Different letters indicate significant differences between treatments ( $P < 0.05$ ) and error bars indicate one standard error of the mean.

3.2 잎의 질소 농도

백양나무 잎의 질소 농도 및 CN율은 질소 수준에 따라 처리구간 유의한 차이를 보였으나, 탄소 농도는 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 1). 대조구에서 잎의 질소 농도는 1.02%로 가장 낮았고, CN율은 44.42로 가장 높았으며, 질소 저수준인 N5 처리구는 대조구와 잎 질소 농도 및 CN율에서 유의한 차이가 없었다. 질소 중수준인 N15, NS33, N15+PK10 처리구에서 잎의 질소 농도는 각각 2.64%, 1.79%, 1.75%로 대조구에서 잎의 질소 농도보다 높았고, CN율은 각각 17.53, 25.04, 25.98로 대조구에서 CN율보다 낮았다. 한편, 비술나무 잎의 탄소 및 질소 농도와 CN율은 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 1).

백양나무 잎의 질소 농도 및 CN율의 변화는 묘목의 질소 흡수에 의한 것으로 판단된다. 질소 저수준은 백양나무 잎의 질소 농도를 증가시키기에 적은 시비량이었던 것으로 보이며, 질소 중수준은 백양나무 잎의 질소 농도를 증가시켰다. 반면, 비술나무는 백양나무와 달리 질소 저수준뿐 아니라, 질소 중수준에서도 질소 시비에 의한 잎의 질소 농도 증가가 나타나지 않았는데, 이는 질소 시비가 뿌리의 길이와 세근의 양을 감소시키므로(Wu *et al.*, 2008) 질소 흡수율이 저하되었기 때문으로 보인다. 비술나무는 백양나무보다 질소 시비에 민감하게 반응하였으므로, 뿌리 생장에 더 많은 영향을 받았을 것으로 사료된다. 한편, 동일 질소 수준에서 비료 형태에 따른 백양나무 잎의 질소 농도 및 CN율의 차이는 없었으며, 비술나무의 경우 묘목의 생존율이 낮아 C, N5, N15 처리구에서만 잎을 채취하여 비료 형태에 대한 차이를 비교할 수 없었다.

3.3 토양의 화학적 특성

질소 수준과 비료 형태에 따른 토양의 화학적 특성 변화는 백양나무와 비술나무에서 유사한 경향을 보였다(Table 2). 두 수종 모두 토양 내 치환성 칼륨과 유효인산 농도는 N15+PK10 처리구에서 유의하게 높았다. 대조구와 비교하여 N15+PK10 처리구의 치환성 칼륨과 유효인산 농도는 각각 백양나무의 경우 37%(대조구: 0.60 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, N15+PK10 처리구: 0.83 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)와 99%(대조구: 28.04 mg kg<sup>-1</sup>, N15+PK10 처리구: 307.95 mg kg<sup>-1</sup>) 증가하였고, 비술나무의 경우 62%(대조구: 0.43 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, N15+PK10 처리구: 0.71 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)와 617%(대조구: 22.47 mg kg<sup>-1</sup>, N15+PK10 처리구: 161.10 mg kg<sup>-1</sup>) 증가하였다. 그 외 치환성 양이온의 농도(Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>), 토양 pH와 전기전도도는 두 수종 모두 처리구별로 유의한 차이가 없거나 일정한 경향을 보이지 않았다.

Table 1. Leaf carbon (C), nitrogen (N) concentrations, and CN ratio of *Populus sibirica* and *Ulmus pumila* seedlings following fertilization treatments.

Species	Treatment	C (%)	N (%)	CN ratio
<i>P. sibirica</i>	C	45.49 (0.15)a	1.02 (0.07)b	44.42 (2.69)a
	N5	46.22 (0.35)a	1.45 (0.10)b	31.85 (2.52)ab
	N15	46.28 (0.47)a	2.64 (0.14)a	17.53 (0.74)b
	NS33	44.73 (0.42)a	1.79 (0.18)ab	25.04 (2.27)b
	N15+PK10	45.42 (0.50)a	1.75 (0.44)ab	25.98 (5.86)b
	N30	-	-	-
<i>U. pumila</i>	C	45.16 (0.29)a	2.47 (0.55)a	18.29 (3.74)a
	N5	45.88 (0.23)a	1.98 (0.38)a	23.17 (4.54)a
	N15	45.95 (0.30)a	2.15 (0.47)a	21.38 (6.36)a
	NS33	-	-	-
	N15+PK10	-	-	-
	N30	-	-	-

Symbols of each treatment follow those in Fig. 2. One standard error of the mean is in parenthesis. Values with the different letter for each species are significantly different between treatments (*P*<0.05).

치환성 칼륨과 유효 인산 농도의 증가는 요소와 인산칼륨의 복합적인 효과가 아닌 인산칼륨의 효과인 것으로 판단된다. 즉, 질소 시비는 토양의 치환성 양이온과 유효인산 농도에 영향을 미치지 못하였다. 본 연구의 결과는 1회 시비의 효과로 질소 시비에 따른 토양 양분의 변화가 없었으나, 반건조지에서 수행된 장기 시비 연구의 경우 질소 시비에 따라 토양의 유효태 양분이 증가하였다는 결과가 보고되었다(Li *et al.*, 1999). 한편, 인산칼륨에 의한 치환성 칼륨의 농도 증가율보다 유효인산의 농도 증가율이 크게 나타난 것은 토양에 쉽게 흡착하여 이동성이 낮은 인의 특성 때문인 것으로 판단된다(Humphreys and Pritchett, 1971).

Table 2. Soil exchangeable cation ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ), available phosphorus ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), pH, and electric conductivity (EC) following fertilization treatments.

Species	Treatment	Exchangeable cation ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )				$\text{P}_2\text{O}_5$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	pH	EC ( $\text{dS m}^{-1}$ )
		$\text{Ca}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$			
<i>P. sibirica</i>	C	10.24 (1.05)a	0.60 (0.02)b	3.41 (0.18)b	0.32 (0.01)a	28.04 (5.15)b	8.78 (0.06)a	1.07 (0.02)a
	N5	12.52 (0.67)a	0.60 (0.03)b	5.51 (0.77)ab	0.45 (0.10)a	28.32 (2.81)b	8.95 (0.15)a	1.13 (0.04)a
	N15	12.78 (0.59)a	0.55 (0.01)b	5.07 (0.26)ab	0.37 (0.00)a	31.31 (1.65)b	8.65 (0.06)a	0.98 (0.05)a
	NS33	10.79 (0.14)a	0.53 (0.02)b	3.56 (0.23)ab	0.37 (0.04)a	38.23 (6.93)b	8.48 (0.18)a	1.01 (0.13)a
	N15+PK10	13.47 (0.41)a	0.83 (0.06)a	6.32 (0.52)a	0.42 (0.02)a	307.95 (82.91)a	8.76 (0.10)a	1.16 (0.03)a
	N30	13.11 (1.57)a	0.61 (0.04)b	5.68 (1.07)ab	0.41 (0.04)a	36.60 (1.31)b	8.49 (0.15)a	1.14 (0.07)a
	C	10.58 (0.66)ab	0.43 (0.05)b	2.38 (0.24)b	0.57 (0.02)a	22.47 (1.70)b	8.77 (0.06)ab	1.09 (0.02)a
<i>U. pumila</i>	N5	10.91 (0.82)ab	0.57 (0.02)ab	4.02 (0.88)ab	1.15 (0.30)a	22.19 (2.74)b	9.26 (0.17)a	1.37 (0.27)a
	N15	9.86 (1.09)ab	0.48 (0.03)b	2.81 (0.31)ab	0.58 (0.01)a	26.85 (2.29)b	8.74 (0.05)ab	0.91 (0.08)a
	NS33	9.28 (0.90)b	0.39 (0.03)b	3.08 (0.62)ab	0.66 (0.13)a	27.03 (3.68)b	8.52 (0.16)b	0.99 (0.17)a
	N15+PK10	8.77 (0.75)b	0.71 (0.06)a	2.95 (0.44)ab	0.78 (0.01)a	161.10 (50.48)a	8.94 (0.15)ab	1.11 (0.05)a
	N30	13.59 (0.49)a	0.55 (0.03)ab	5.16 (0.26)a	0.81 (0.07)a	33.16 (2.20)b	8.76 (0.08)ab	0.98 (0.03)a
	C	10.58 (0.66)ab	0.43 (0.05)b	2.38 (0.24)b	0.57 (0.02)a	22.47 (1.70)b	8.77 (0.06)ab	1.09 (0.02)a

Symbols of each treatment follow those in Fig. 2. One standard error of the mean is in parenthesis. Values with the different letter for each species are significantly different between treatments ( $P < 0.05$ ).

질소 시비는 토양 pH와 전기전도도에 뚜렷한 영향을 미치지 못하였다. 특히, 황산암모늄은 황 성분을 포함하고 있어 다른 질소 비료보다 토양 pH를 더 감소시키나(Smiley and Cook, 1973), 본 연구에서는 황산암모늄으로 인하여 토양 pH가 감소하지 않았다. 이는 연구 대상지의 사질 토양에 관수를 병행하여 비료 성분이 쉽게 용탈되었기 때문으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 사막화 지역에서 질소 수준 및 비료 형태가 백양나무와 비술나무 묘목 및 토양의 화학적 특성에 미치는 영향

을 알아보기 위하여 수행되었다. 두 수종의 묘목 생존율은 질소 수준이 증가할수록 감소하였는데, 이는 질소 시비에 의한 수분 스트레스에서 기인한 것으로 판단된다. 백양나무의 근원경 생장률은 질소 고수준 처리에서 감소하였으며, 잎의 질소 농도는 질소 저수준 처리에서 변화가 없었고, 질소 중수준 처리에서 증가하였다. 비료 형태에 따른 묘목의 생존율 반응은 수중에 따라 다르게 나타났다. 또한 백양나무의 생장률은 비료 형태 중 황산암모늄 처리에서 높았는데, 이는 황 성분이 질소 흡수를 촉진하였기 때문으로 판단된다. 비술나무 묘목은 생존율을 제외하고 질소 수준과 비료 형태에 따른 변화가 없었다. 한편, 두 수종 모두 질소 시비에 따른 토양의 화학적 특

성 변화는 보이지 않았으나, 이는 본 결과가 1회 시비의 효과이기 때문으로 사료된다. 질소 저수준의 영향은 미비하였고, 질소 고수준은 과다 시비량으로 판단되므로 질소 중수준의 영향에 대한 지속적인 모니터링이 요구된다. 특히 황산암모늄에 의한 초기 묘목의 생장 증가가 추후 생존 및 생장에 미치는 영향을 관찰할 필요가 있다.

## 사 사

본 연구는 산림청 ‘건조/반건조 지역 사막화방지 연구사업단’의 ‘건조/반건조지역 사막화방지를 위한 토양 특성 조사 및 개량 연구’(S211215L030120)에 의해 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Alon A, Steinberger Y. 1999. Effect of nitrogen amendments on microbial biomass, above-ground biomass and nematode population in the Negev Desert soil. *J Arid Environ* 41(4):429-441.
- Batjargal Z. 1997. Desertification in Mongolia. In: RALA Report (ed) Proceedings of an International Workshop on Rangeland Desertification. Iceland, pp 107-113.
- Blevins RL, Thomas GW, Cornelius PL. 1977. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. *Agron J* 69(3):383-386.
- Chien SH, Gearhart MM, Villagarcía S. 2011. Comparison of ammonium sulfate with other nitrogen and sulfur fertilizers in increasing crop production and minimizing environmental impact: A review. *Soil Sci* 176(7):327-335.
- Fisher FM, Zak JC, Cunningham GL, Whitford WG. 1988. Water and nitrogen effects on growth and allocation patterns of Creosotebush in the northern Chihuahuan Desert. *J Range Manage* 41(5):387-391.
- García C, Hernandez T, Roldan A, Albaladejo J, Castillo V. 2000. Organic amendment and mycorrhizal inoculation as a practice in afforestation of soils with *Pinus halepensis* Miller: Effect on their microbial activity. *Soil Biol Biochem* 32(8):1173-1181.
- Heybroek HM. 1979. Mini-monograph on elms (*Ulmus pumila*) in agroforestry. In: FAO Rome. Forestry Dept. Technical consultation on fast-growing plantation broadleaved trees for Mediterranean and temperate zones. Lisbon (Portugal). 16. Oct. 1979.
- Humphreys FR, Pritchett WL. 1971. Phosphorus adsorption and movement in some sandy forest soils. *Soil Sci Am J* 35(3):495-500.
- Joh MS, Kim JW, Chung IU. 1998. The numerical simulation of the desertification induced by global warming. *Asia-Pac J Atmos Sci* 34(1):65-74. (In Korean with English abstract)
- Jung Y, Yoon TK, Han S, Kang H, Yi MJ, Son Y. 2014. Effects of soil amendments on survival rate and growth of *Populus sibirica* and *Ulmus pumila* seedlings in a semi-arid region, Mongolia. *J Korean For Soc* 103(4):703-708. (In Korean with English abstract)
- Khamzina A, Lamers JPA, Worbes M, Botman E, Vlek PLG. 2006. Assessing the potential of trees for afforestation of degraded landscapes in the Aral Sea Basin of Uzbekistan. *Agrofor Syst* 66(2):129-141.
- Li KJ, Zhang SF, Jia WZ, Song PZ, Liu SQ, Huo XL, Wang YD. 1999. Effect of long-term fertilization on crop yield and soil fertility in semi-arid area. *Plant Nutri Fert Sci* 5(1):21-25.
- Li Y, Jing C, Mao W, Cui D, Wang X, Zhao X. 2014. N and P resorption in a pioneer shrub (*Artemisia halodendron*) inhabiting severely desertified lands of Northern China. *J Arid Land* 6(2):174-185.
- National Academy of Agriculture Science. 2010. Methods of soil chemical analysis. Rural Development Administration. Suwon. (In Korean)
- Nielsen DC, Halvorson AD. 1991. Nitrogen fertility influence on water stress and yield of winter wheat. *Agron J* 83(6):1065-1070.
- Northeast Asian Forest Forum. 2006. Establishment of the master plan for the greenbelt project of Mongolia. Korea Forest Service. (In Korean)
- Salvagiotti F, Castellarín JM, Miralles DJ, Pedrol HM. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Res* 113(2):170-177.
- Sanjmyatav T. 2012. Mongolian nomads and climate change? - A herder's view. In: Eurasian Steppes (ed) Ecological problems and livelihoods in a changing world. Springer,

- Netherlands, pp 547-559.
- Shi L, Zhang ZJ, Zhang CY, Zhang JZ. 2004. Effects of sand burial on survival, growth, gas exchange and biomass allocation of *Ulmus pumila* seedlings in the Hunshandak Sandland, China. *Ann Bot* 94(4):553-560.
- Shirato Y, Taniyama I, Zhang TH. 2004. Changes in soil properties after afforestation in Horqin sandy land, North China. *Soil Sci Plant Nutr* 50(4):537-543.
- Sivakumar MVK. 2007. Interactions between climate and desertification. *Agr Forest Meteorol* 142(2):143-155.
- Smiley RW, Cook RJ. 1973. Relationship between take-all of wheat and rhizosphere pH in soils fertilized with ammonium vs. nitrate-nitrogen. *Phytopathology* 63(7):882-890.
- Snyman HA. 2002. Short-term response of rangeland botanical composition and productivity to fertilization (N and P) in a semi-arid climate of South Africa. *J Arid Environ* 50(1):167-183.
- Song CJ, Ma KM, Qu LY, Liu Y, Xu XL, Fu BJ, Zhong JF. 2010. Interactive effects of water, nitrogen and phosphorus on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Bauhinia faberi* seedlings. *J Arid Environ* 74(9):1003-1012.
- Tsogtbaatar J. 2004. Deforestation and reforestation needs in Mongolia. *Forest Ecol Manage* 201(1):57-63.
- United Nations. 1994. UN earth summit. Convention on desertification. UN Conference in Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil, June 3-14, 1992. DPI/SD/ 1576. United Nations, New York.
- Wesche K, Ronnenberg K. 2010. Effects of NPK fertilisation in arid southern Mongolian desert steppes. *Plant Ecol* 207(1):93-105.
- Wu F, Bao W, Li F, Wu N. 2008. Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings. *Environ Exp Bot* 63(1):248-255.
- Yahdjian L, Gherardi L, Sala OE. 2011. Nitrogen limitation in arid-sub humid ecosystems: A meta-analysis of fertilization studies. *J Arid Environ* 75(8):675-680.
- Yahdjian L, Gherardi L, Sala OE. 2014. Grasses have larger response than shrubs to increased nitrogen availability: A fertilization experiment in the Patagonian steppe. *J Arid Environ* 102:17-20.
- Yoon TK, Zhao Y, Noh NJ, Han S, Kang H, Son Y. 2014. Early fertilization and absorbent treatments continuously enhanced windbreak tree growth and soil properties in the Hetao Plain of Inner Mongolia, China. *Forest Sci Technol* 10(1):46-50.
- Yüksek T, Yüksek F. 2011. The effects of restoration on soil properties in degraded land in the semi-arid region of Turkey. *Catena* 84(1):47-53.
- Zolfaghari R, Fayyaz P, Nazari M, Valladares F. 2013. Interactive effects of seed size and drought stress on growth and allocation of *Quercus brantii* Lindl. seedlings from two provenances. *Turk J Agric For* 37(3):361-368.