

단 보

몽골 반건조 지역에서 토양 개량이 백양나무와 비솔나무 묘목의 활착 및 생장에 미치는 영향

정예지¹ · 윤태경⁴ · 한새롬¹ · 강호덕² · 이명중³ · 손요환^{1*}

¹고려대학교 환경생태공학과, ²동국대학교 바이오환경과학과

³강원대학교 산림자원학과, ⁴이화여자대학교 환경공학과

Effects of Soil Amendments on Survival Rate and Growth of *Populus sibirica* and *Ulmus pumila* Seedlings in a Semi-arid Region, Mongolia

Yegi Jung¹, Tae Kyung Yoon⁴, Saerom Han¹, Hoduck Kang²,
Myong-Jong Yi³ and Yowhan Son^{1*}

¹Department of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University,
Seoul 136-713, Korea

²Department of Biological and Environmental Science, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea

³Department of Forest Resources, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

⁴Department of environmental science and engineering, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea

요 약: 본 연구는 몽골 반건조 지역 현지에서 토양 개량이 묘목의 활착 및 생장에 미치는 효과를 알아보기 위해 수행되었다. 이를 위하여 알칼리성 사질 토양인 연구대상지에 2년생 백양나무(*Populus sibirica*)와 비솔나무(*Ulmus pumila*) 묘목을 심고 질소(시비량에 따라 2수준), 황, 인공보습제, 황토가공소재 등을 처리하였다. 4개월 뒤, 두 수종의 묘목 활착률은 질소 시비량의 증가에 따라 감소하였다. 일반적으로 질소의 시비는 양분을 공급하여 묘목의 활착률 및 생장을 높이는 것으로 알려져 있다. 그러나 본 연구 결과에서 나타난 활착률 감소는 과다시비로 인한 토양 삼투압의 증가에 의한 것으로 보인다. 두 수종 모두 황토가공물질 처리구에서 근원경 생장에 유의한 증가가 나타났다. 그리고 백양나무의 경우 인공보습제 처리구에서도 근원경 생장이 유의하게 증가하였는데, 이는 백양나무가 건조에 내성이 있음에도 불구하고 수분 요구도가 높은 포플러속에 속하기 때문인 것으로 보인다. 반면 황 처리는 두 수종의 활착률과 근원경 생장 모두에서 효과가 없는 경향이 나타났는데, 이는 건조지 토양의 낮은 황산화율 때문으로 추정된다. 향후 건조/반건조 지역에서 토양 개량의 장기적인 효과를 알아보기 위하여 묘목 생장 및 토양 특성에 대한 지속적인 모니터링이 요구되며, 연구 수종에 적합한 시비량 산정을 위한 추가 연구가 필요한 것으로 판단된다.

Abstract: This study was conducted to investigate effects of soil amendments on survival rate and growth of seedlings in a semi-arid region, Mongolia. 2-year-old *Populus sibirica* and *Ulmus pumila* seedlings were planted in alkaline sandy soils and treated with 2 levels of nitrogen, elemental sulfur, artificial moisture retention and converted loess. After 4 months, the seedling survival rate of both species decreased as the amount of nitrogen increased. Nitrogen has been generally known to increase seedling survival rate and growth by supplying nutrients, however, reduced survival rate in this study might be affected by consequential increase in soil osmotic pressure, which was caused by excessive nitrogen fertilization. The root collar diameter (RCD) growth of both species increased significantly by the treatment of converted loess, and only RCD growth of *P. sibirica* increased by the artificial moisture retention treatment. Although *P. sibirica* is drought-tolerant, it is in the group of *Populus* spp. which requires a high capacity of available water. Conversely, the elemental sulfur treatment showed no effect on survival rate and RCD growth for both species due to the low oxidation of sulfur in arid soils. The extended monitoring of seedling growth and soil characteristics is required to elucidate the long-term effects of soil amendments in the semi-arid region, and the further studies are also needed to examine the appropriate amount of fertilizers for both species.

Key words: nitrogen, elemental sulfur, artificial moisture retention, converted loess, fertilization, *Populus sibirica*, *Ulmus pumila*

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

서 론

몽골은 전 국토 면적의 약 90%가 사막화의 영향을 받고 있어 그 문제가 매우 심각하고 시급하나, 몽골이 독립적으로 이 문제를 감당하기에는 경제적 기술적인 어려움이 있어 국제사회의 지원을 필요로 하고 있다(Mandakh et al., 2007; Moon and Park, 2004).

우리나라는 사막화 방지 및 황사예방을 목적으로 지난 10여 년간 정부기관과 NGO단체를 통해 몽골의 고비사막, 울란바타르, 룬쑤, 달랑가드자드 등의 지역에서 양묘장 설치 및 조림을 진행하고 있으며, 사막화방지사업의 면적은 해마다 증가하고 있다.

사막화 지역은 대개 바람이 심하고 건조하며 토양이 열악하여 체계화된 조림기술이 요구된다. 그러나 몽골의 사막이나 사막화에 대한 연구는 미비한 편이며, 몽골의 기후와 환경에 적합한 조림방법에 대한 연구가 절실한 실정이다(Munkhtsetseg, 2011). 특히 열악한 건조지대 조림의 성공률을 높이기 위해 필수적인 토양 개량 연구의 경우, 전 세계적으로는 질소의 시비(Kyung et al., 2006; Yoon et al., 2014), 보습제 처리(Chen and Zhou, 2006; Kyung et al., 2006; Wang et al., 2008; Yoon et al., 2014), 균근 접종(Liang et al., 2010) 등이 이루어지고 있으나 몽골에서는 토양 개량 연구가 농작지에 국한되어 있다(Ronnenberg and Wesche, 2011).

따라서 본 연구는 몽골 사막화지역에서 성공적인 조림을 위하여 여러 가지 토양 개량방법이 조림 수종의 활착률과 생장에 미치는 초기 영향을 알아보기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

1. 연구대상지 개황

연구대상지는 몽골 라산(Rashaant)쑤 불강(Bulgan)지방 엘센타사라이(Elsentasarkhai)지역에 있는 몽골 사막화방지연구소(47°19'N, 103°42'E) 부근이다. 이곳은 울란바타르로부터 서남쪽으로 약 250 km 떨어져 있으며 연평균온도는 1.3°C(-17.5-18.1°C), 연간강수량은 203.4 mm로 기온이 낮고 강수량이 적은 반건조지역이다. 연구대상지에는 주로 *Achnatherum splendens*, *Agrostis trini*, *Stipa krylovii*, *Festuca lenensis* 등의 초본류가 자라고, 최근 기후변화로 인해 인근 초지가 사구로 변하는 사막화 현상을 보이고 있다. 토양 특성을 분석하기 위하여 임의의 3개소에서 깊이 15 cm까지의 토양을 채취하고 이를 혼합하여 풍건 후 토양의 물리, 화학적 성질을 측정하였다(National Academy of Agricultural Science, 2010). 연구대상지의 토양은 사질 토양으로 염도는 1.26 dS/m로 낮았으나, 토양질소는

0.04%, 인(P_2O_5)은 10.11 mg/kg 그리고 양이온치환용량(CEC)은 3.16 cmol/kg 등으로 양분이 부족하고, 산도가 pH 8.46으로 높은 것으로 나타났다.

2. 실연지 조성 및 처리

2013년 5월 9일, 50 m × 50 m 크기의 묘포장을 조성하고 백양나무(*Populus sibirica* L.)와 비술나무(*Ulmus pumila* L.) 2년생 묘목(2-0묘)을 식재하였다. 묘포장 안에는 14개의 7 m × 11 m 크기 방형구를 설치하고 방형구 간에는 3 m 간격을 두었다. 그리고 각 방형구내에서는 묘목간의 거리가 2 m 가 되도록 5분씩 3열로 총 15본의 묘목을 식재하였다[Figure 1(a)].

실연지의 토양 분석 결과를 바탕으로 토양 개량을 위한 처리로서 질소 비료(N), 인공 보습제(T: Terracottem, Terragreen, Korea), 황(S), 그리고 동국대학교에서 개발한 황토가공소재(V: 특허번호: 1008860820000) 등을 선택하였다. 백양나무에 대해서는 대조구(C), N₁처리구(50 g/tree), N₂처리구(100 g/tree), T처리구(3 g/tree), S처리구(200 g/tree), V처리구(0.1% 희석액 4 l/tree), N₁+T, N₁+S, N₂+T, N₂+S, T+S, 그리고 V+S 처리구를 두었다. 또한 비술나무에 대해서는 N₁과 N₂의 처리량을 백양나무보다 2배 높여 N₁은 100 g/tree, N₂는 200 g/tree으로 하고, 다른 처리는 동일하게 하였다[Figure 1(b)]. 질소의 시비량은 본 연구지와 환경 조건이 비슷한 연구논문을 참고하였고 황, 인공 보습제와 황토가공소재는 해당 제품 전문가의 의견을 참고하여 산정하였다. 식재 후 처음 일주일 동안은 매일 관수를 하였고, 그 후에는 점적관수시설을 설치하여 5일 간격으로 4 l/tree의 물을 공급하였다. 관수에 사용한 지하수

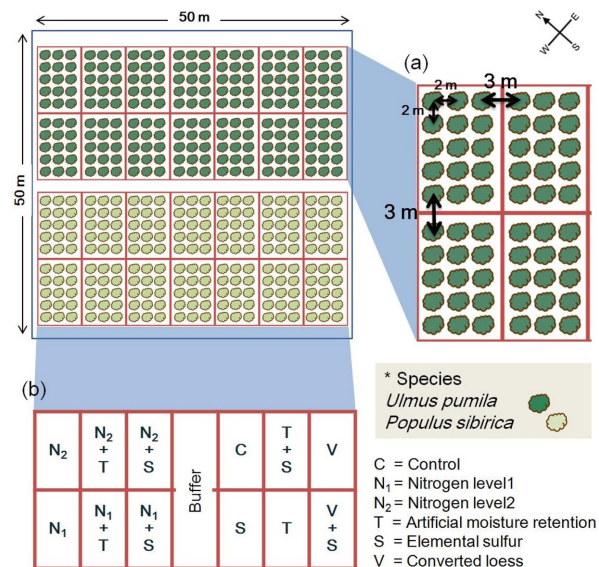


Figure 1. Experimental design. Planting spacing (a) and layout of plots with treatment allocations (b).

는 온도조절을 위해 먼저 물탱크에 저장하였다가 사용하였으며, 수분 증발을 최소화하기 위해 기온이 높은 오후 시간을 피해 오전이나 저녁에 관수를 실시하였다.

3. 활착률 및 성장 조사

묘목의 활착률 및 성장조사는 식재 묘목 전수를 대상으로 하였다. 특히 백양나무의 활착률은 줄기가 정상적으로 성장한 묘목 또는 줄기는 죽었으나 맹아가 발생하여 살아 있는 묘목을 모두 활착한 것으로 분류하여 측정하였다.

묘목의 근원경 생장은 식재 직후(2013년 5월)와 여름 성장기간이 끝난 후(2013년 9월) 등 2회 측정하였다. 근원경은 묘목 줄기의 지면으로부터 1 cm 위에 표시를 하고, 측정시기마다 동일한 부위를 측정하였다. 그러나 N처리구(N₁, N₁+T, N₁+S, N₂, N₂+T, N₂+S)의 경우 활착률이 매우 낮고(0-50%), 주가지가 죽고 맹아가 발생한 경우가 많아 성장량을 측정할 수 없었다. 따라서 N처리구를 제외한 나머지 처리구(C, T, S, T+S, V, V+S)의 성장만을 비교, 분석하였다.

4. 통계분석

성장량의 통계분석은 공분산 분석을 이용하였다. 식재 당시 묘목의 크기가 처리구별로 유의한 차이가 있었으므로, 초기 묘목의 크기를 공변량으로 처리하여 이들이 성장량에 미치는 영향을 제거하였다. 각 자료의 평균값은 Tukey(P<0.05)의 다중검정법으로 비교하였으며, 모든 통계 분석에는 SAS 프로그램을 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 묘목의 활착률

백양나무의 처리별 활착률은 S처리구, V+S처리구, 그리고 대조구가 모두 100%로 가장 높았고 V(93.3%) > T(86.7%) = T+S(86.7%) > N₁(53.3%) > N₁+T(46.7%) = N₁+S(46.7%) > N₂+S(40.0%) > N₂(20.0%) = N₂+T(20.0%) 등의 순으로 나타났다[Figure 2(a)]. 모든 처리구의 활착률이 대조구와 비교하여 같거나 낮게 나타난 것으로 보아 각 처리는 활착률의 증가에 영향을 미치지 못하거나 오히려 감소시킨 것으로 보인다. N처리구(N₁, N₁+T, N₁+S, N₂, N₂+T, N₂+S)에서는 활착률이 20.0-53.3%로 대조구보다 적었으며, 그 외의 처리는 86.7-100.0%로 대조구의 활착률과 큰 차이가 없었다. 또한 N처리구간의 활착률을 비교할 경우, N₁수준 처리구(N₁, N₁+T, N₁+S)의 활착률이 N₂수준 처리구(N₂, N₂+T, N₂+S)보다 높아 시비량이 증가할수록 활착률이 감소하는 경향을 보였다[Figure 2(a)].

비술나무의 처리별 활착률은 S처리구와 T처리구가 93.3%로 가장 높았으며, 대조구(86.7%) > V(73.3%) >

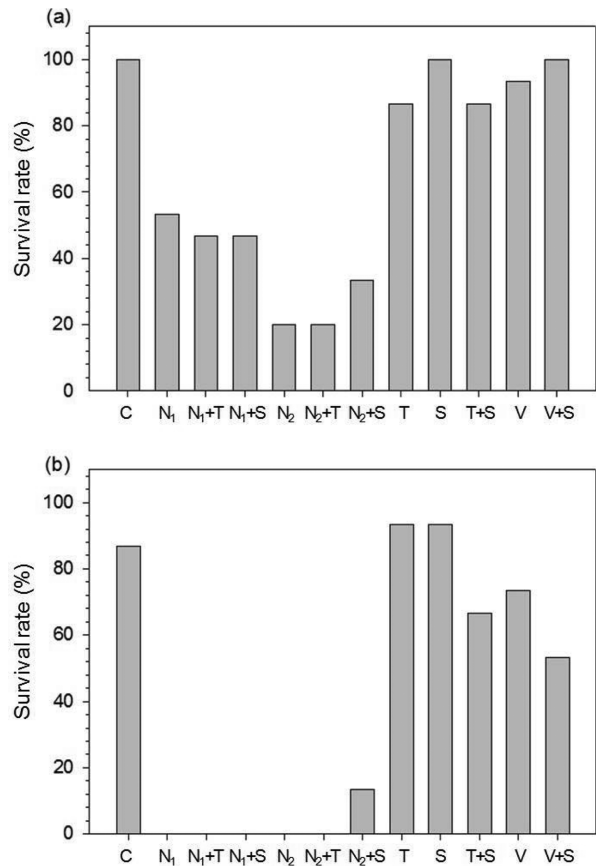


Figure 2. The survival rate of 2-year-old *Populus sibirica* (a) and *Ulmus pumila* (b) seedlings under different treatments. Different letters indicate a significant difference at P < 0.05. (C: Control, N₁: Nitrogen level 1, N₂: Nitrogen level 2, T: Artificial moisture retention, S: Elemental sulfur and V: Converted loess)

T+S(66.6%) > V+S(53.3%) 등의 순이었다. S처리구와 T처리구의 값이 가장 높게 나타났으나 대조구 값과 차이가 없어 백양나무와 마찬가지로 다양한 처리가 활착률에 영향을 미치지 못하였거나 오히려 저하시킨 것으로 보인다. N₂+S처리구를 제외한 모든 N처리구에서 묘목이 전부 고사하였다[Figure 2(b)].

본 연구에서 두 수종 모두에서 N처리구의 활착률이 저조하게 나타났다. 일반적으로 질소 시비는 묘목의 활착률을 높이는 것으로 알려져 있으나(Ceccon et al., 2003; Luis et al., 2009), Wu et al.(2008)와 Song et al.(2010)은 건조한 환경에서 질소 시비량이 적정량 이상일 경우 오히려 묘목의 성장을 감소시킨다고 보고하였다. 특히 요소비료(질소비료)는 대부분 토양용액에 용해되어 존재하므로, 짧은 기간에 다량 시비하면 토양의 삼투압이 높아져 종자의 발아를 해치거나 뿌리를 상하게 하는 것으로 알려져 있다(Zhang et al., 2007; Zhang et al., 2009). 따라서 본 연구의 질소 시비량 증가에 따른 활착률 감소는 질소비료의 과다시비에 의한 것으로 보인다. 몽골 외의 건조/반건

조 지역에서 묘목을 대상으로 한 연구의 질소비료(요소) 시비량은, 인도에서 *Salvadora persica* 6개월생 묘목에 사용한 9, 18, 27 g/tree(Arya et al., 2005), *Atriplex lentiformis*에 사용한 15 g/tree(Gupta and Arya, 1995), *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus tereticornis* 5년생 묘목에 사용한 496 g/tree(Varghese et al., 2009), 그리고 중국 내몽고에서 *Populus alba* var. *pyramidalis* 2년생 묘목에 사용한 60, 120 g/m²(Kyung et al., 2006) 등으로 그 범위가 넓게 나타났다. 이는 수종과 묘령에 따른 양분 요구도와 요수량 등의 차이와 지역에 따른 토양 성질 및 기후 등의 차이에 의한 것으로 시비량 산정은 수종과 식재지역 환경에 따라 결정되어야 한다(Park et al., 2010). 그러나 몽골에는 아직 묘목 시비와 관련된 지침이나 연구결과가 없으며, 전세계적으로 본 연구에 사용된 수종의 적정 시비량에 대한 연구도 부족하여 본 연구에서 적용한 시비량은 환경 조건이 가장 비슷한 것으로 생각되는 Kyung et al.(2006)의 연구에서 유의한 성장 증가가 나타났던 시비량을 참고하여 산정하였다. 즉 Kyung et al.(2006)의 연구지 토양 질소 농도는 0.06~0.08%이었으며, 식물 성장 증가가 나타난 요소 시비량은 60과 120 g/m² 등 이었다. 그러나 연구 결과 이 시비량은 본 연구지와 연구 대상 수종에는 적정량 이상이었던 것으로 사료된다. 따라서 50 g/tree 보다 더 적은 시비량이 요구되며, 적절한 시비량 산정을 위하여 수종별 양분 요구도와 요수량 등에 대한 현지 연구가 추가로 필요한 것으로 생각된다.

2. 묘목의 근원경 생장

백양나무의 근원경 생장은 T처리구(1.69 mm)와 V+S처리구(1.35 mm)에서 대조구(0.74 mm)보다 유의하게 증가하였다. 또한 통계적으로 유의하지는 않으나 V처리구(1.19 mm)에서도 대조구보다 근원경 생장이 높게 나타나 인공보습제와 황토가공물질이 근원경 생장을 증가시키는 경향이 있는 것으로 보인다. 반면 S처리구의 근원경 생장(0.64 mm)은 대조구와 유의한 차이가 없어 그 효과가 나타나지 않았다[Figure 3(a)].

비술나무의 근원경 생장은 V처리구(1.63 mm)와 V+S처리구(1.64 mm)에서 대조구(0.37 mm)보다 유의한 증가가 있었다. 또한 T처리구(0.68 mm)와 T+S처리구(0.81 mm)에서도 평균값은 대조구보다 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다[Figure 3(b)].

두 수종 모두에서 황토가공소재 처리가 근원경의 생장을 유의하게 증가시켰다. 황토가공소재는 주성분이 SiO₂인 황토에 Na, K, Mg, Zn, Mo, Cu 등을 넣고 고온에서 이온화 시킨 것(Dongguk University IACF, 2009)으로서 묘목 생장에 필요한 무기양분을 공급하여 성장 증가에 영향을 미친 것으로 생각된다.

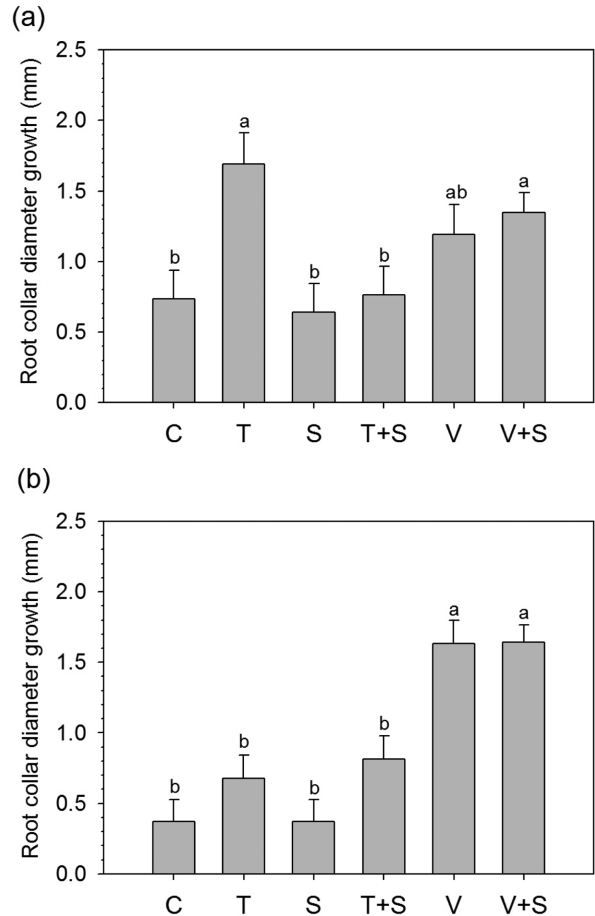


Figure 3. Root collar diameter growth of 2-year-old *Populus sibirica* (a) and *Ulmus pumila* (b) seedlings under different treatments for 4 months after planting. Different letters indicate a significant difference at $P < 0.05$. (C: Control, T: Artificial moisture retention, S: Elemental sulfur and V: Converted loess)

백양나무의 경우 황토가공소재보다 인공보습제의 영향이 크게 나타났는데, 이는 백양나무가 요수량이 큰 포플러속(*Populus* spp.)에 속하기 때문인 것으로 보인다. 백양나무는 수분이 부족한 토양에서도 살 수 있는 건조의 내성을 가지고 있으나, 인공보습제에 의해 토양 내 수분 가용성이 증가하면서 묘목의 근원경 생장도 크게 증가한 것으로 생각된다.

황의 경우, 활착률과 마찬가지로 근원경의 생장에도 효과가 없는 경향이 나타났다. 토양에 처리된 황은 미생물에 의해 산화되어 알칼리토양의 산도를 낮추는 역할을 한다(Nor and Tabatabai, 1977). 이전 연구에 의하면 아르헨티나의 강알칼리토양에 황을 처리하였을 때, 토양 pH의 감소와 식생 바이오매스의 증가가 나타났으며(Velarde et al., 2005). 내몽고 반건조지역에서 황의 시비는 *Medicago sativa* L. 등의 초본류 바이오매스 생산량을 증가시켰다(Mathot et al., 2008; Wang et al., 2005). 그리고 Fässler

et al.(2010)의 연구에서도 황 처리가 토양 pH를 감소시키고, 토양 내 양분 가용성을 증가시켰다는 보고가 있다. 그러나 본 연구에서는 건조한 토양의 낮은 황산화율(Nor and Tabatabai, 1977)때문에 황의 효과가 나타나지 않은 것으로 보인다. 토양에서 황의 산화는 토양 온도, 수분 함량, 다른 양분의 가용성 그리고 미생물 활력 등의 환경적 요인과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있으므로(Germida and Janzen, 1993), 황의 토양 개량 효과를 알아보기 위해서는 황 산화가 충분히 진행될 수 있는 토양 환경 조성이 필요한 것으로 보인다.

결론

몽골 사막화지역 내 성공적인 조림을 위하여 현지 연구지에서 백양나무와 비술나무 묘목을 대상으로 토양 개량 처리를 하고 활착률과 생장량을 측정하였다. 백양나무와 비술나무 묘목의 활착률은 질소 시비량의 증가에 따라 감소하였는데 이는 질소의 과다시비에 의한 것으로 보인다. 묘목 근원경 생장의 경우, 백양나무는 인공보습제와 황토가공소재 처리, 비술나무는 황토가공소재 처리에서 가장 큰 증가가 나타났다. 백양나무는 요수량이 높은 포플러속에 속하기 때문에 토양수분 보유력을 증가시키는 인공보습제의 효과가 컸던 것으로 보이며, 비술나무의 경우 황토가공소재의 양분공급이 생장에 영향을 미친 것으로 나타났다. 반면, 황 처리는 활착률과 근원경 생장 모두에서 별다른 효과가 없는 것으로 나타났는데, 이는 건조지 토양의 낮은 황 산화율 때문으로 추정되며 황 산화율을 높이기 위한 토양환경조성이 필요한 것으로 보인다. 향후 사막화지역에서 토양 개량의 장기적인 효과를 알아보기 위하여 묘목 생장 및 토양 특성 등에 대한 지속적인 모니터링이 요구되며, 연구 대상 수종에 적합한 시비량 산정을 위한 추가 연구가 필요한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산림청 ‘건조/반건조 지역 사막화방지 연구사업단’의 ‘건조/반건조지역 사막화방지를 위한 토양 특성 조사 및 개량 연구’(S211214L030120)에 의해 수행되었습니다.

References

Arya, R., Chaudhary, K.R. and Lohara, R.R. 2005. Effect of nitrogen and gypsum on the establishment and early growth of *Salvadora persica* (L.) on salt affected soils under hot arid conditions in India. *Forests, Trees and Livelihoods* 15(3): 291-306.

Ceccon, E., Huante, P., and Campo, J. 2003. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on the survival and recruitment of seedlings of dominant tree species in two abandoned tropical dry forests in Yucatan, Mexico. *Forest Ecology and Management* 182(1): 387-402.

Chen, S.L. and Zhou, Q.Y. 2006. Trial of applying super-absorbent polymer in eucalyptus Planting. *Forest Resources Management* 4(1): 78-80 (in Chinese with English abstract).

Dongguk University Industry Academy Cooperation Foundation. Multi-functional natural mineral processing material and method for the production thereof. The Republic of Korea Patent. 1008860820000 (2009).

Fässler, E., Robinson, B.H., Stauffer, W., Gupta, S.K., Papritz, A., and Schulin, R. 2010. Phytomanagement of metal-contaminated agricultural land using sunflower, maize and tobacco. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 136(1-2): 49-58.

Germida, J.J. and Janzen, H.H. 1993. Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils. *Fertilizer Research* 35(1-2): 101-114.

Gupta, G.N. and Arya, R. 1995. Performance of *Atriplex lentiformis* on a salty soil in an arid region of India. *Journal of Arid Environments* 30(1): 67-73.

Kyung, J.H., Son, Y., Noh, N.J., Yi, M.J., Lee, C.Y., and Yoon, H.J. 2006. Changes in growth and nutrient contents of *Populus alba* var. *pyramidalis* treated with fertilisers and absorbents in an arid region of China. *Journal of Korean Forest Society* 95(6): 751-758 (in Korean with English abstract).

Liang, J., Sun, Z., Qu, Z., Zhang, Y., Lu, Q. and Zhang, X. 2010. Long-term effect of an ectomycorrhizal inoculum and other treatments on survival and growth of *Populus hopeiensis* Hu et Chow. *Forest Ecology and Management* 259(12): 2223-2232.

Luis, V.S., Puertolas, J., Climent, J., Peters, J., Gonzalez-Rodriguez, A.M., Morales, D., and Jimenez, M.S. 2009. Nursery fertilization enhances survival and physiological status in Canary Island pine (*Pinus canariensis*) seedlings planted in a semiarid environment. *European Journal of Forest Research* 128(3): 221-229.

Mandakh N., Dash, D. and Khaulenbek, A. 2007. Present status of desertification in Mongolia. In: *Geocological issues in Mongolia*. Institute of Geocology of Mongolian Academy of Sciences. Ulaanbataar. pp. 63-73.

Mathot, M., Mertens, J., Verlinden, G., and Lambert, R. 2008. Positive effects of sulphur fertilization on grasslands yields and quality in Belgium. *European Journal of Agronomy* 289(4): 655-658.

Moon, K.H. and Park, D.K. 2004. The role and activities of NGOs in reforestation in the northeast Asian region. *Forest Ecology and Management* 201(1): 75-81.

Munkhtsetseg, C. 2011. Analysis of plant growth change and composition of disaster prevention forest for combat

- desertification in Mongolia. The Graduate School of Gyeongsang National University Master's Thesis (in Korean).
- National Academy of Agricultural Science. 2010. Methods of soil chemical analysis. Rural Development Administration. Seoul. pp. 319.
- Nor, Y.M. and Tabatabai, M.A. 1977. Oxidation of elemental sulfur in soils. *Soil Science Society of America Journal* 41(4): 736-741.
- Park, B.B., Byun, J.K., Kim, W.S., and Sung, J.H. 2010. Growth and tissue nutrient responses of *fraxinus rhynchophylla*, *Fraxinus mandshurica*, *Pinus koraiensis*, and *Abies holophylla* seedlings fertilized with nitrogen, phosphorus, and potassium at a nursery culture. *Journal of Korean Forest Society* 99(1): 85-95 (in Korea).
- Ronnenberg, K. and Wesche, K. 2011. Effects of fertilization and irrigation on productivity, plant nutrient contents and soil nutrients in southern Mongolia. *Plant and Soil* 340(1-2): 239-251.
- Song, C.J., Ma, K.M., Qu, L.Y., Liu, Y., Xu, S.L., Fu, B.J., and Zhong, J.F. 2010. Interactive effects of water, nitrogen and phosphorus on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Bauhinia faberi* seedlings. *Journal of Arid Environments* 74(9): 1003-1012.
- Varghese, M., Ravi, N., Kamalakannan, R., and Harwood, C.E. 2009. Effect of silvicultural treatments on growth, fertility and capsule traits in seedling seed orchards of *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus tereticornis*. *New Forests* 37(1): 99-107.
- Velarde, M., Felker, P., and Gardiner, D. 2005. Influence of elemental sulfur, micronutrients, phosphorus, calcium, magnesium and potassium on growth of *Prosopis alba* on high pH soils in Argentina. *Journal of Arid Environments* 62(4): 525-539.
- Wang, S., Wang, Y., Xing, X., Hu, Z., Fan, X., Chen, Z., and Schnug, E. 2005. Influence of nitrogen and elemental-sulfur fertilization on sulfur oxidation and mineralization in relation to soil moisture on a calcareous soil of the Inner Mongolia steppe of China. *Journal of Plant Nutrients and Soil Science* 168(2): 228-232.
- Wang, N.J., Liu, J.J., and Kou, S.Q. 2008. Study on application of water retaining agent in forestation and seedling culture. *Journal of Soil and Water Conservation* 22(1): 183-187 (in Chinese with English abstract)
- Wu, F., Bao, W., Li, F. and Wu, N. 2008. Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings. *Environmental and Experimental Botany* 63(1-3): 248-255.
- Yoon, T.K., Zhao, Y., Noh, N.J., Han, S.R., Kang, H.D., and 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 Science and Technology* 10(1): 46-50.
- Zhang, K., Greenwood, D.J., White, P.J., and Burns, I.G. 2007. A dynamic model for the combined effects of N, P and K fertilizers on yield and mineral composition; description and experimental test. *Plant Soil* 298(1-2): 81-98.
- Zhang, K., Yang, D., Greenwood, D.J., Rahn, C.R., and Thorup-Kristensen, K. 2009. Development and critical evaluation of a generic 2-D agro-hydrological model (SMCR_N) for the responses of crop yield and nitrogen composition to nitrogen fertilizer. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 132(1-2): 160-172.

(2014년 6월 3일 접수; 2014년 8월 18일 채택)