

양돈분뇨 처리에 따른 속성수의 유시 생육특성

김현철 · 여진기* · 구영본 · 박정현 · 백을선

국립산림과학원 산림자원육성부

Juvenile Growth Characteristics of Fast Growing Tree Species Treated with Liquid Pig Manure

Hyun-Chul Kim, Jin-Kie Yeo,* Yeong-Bon Koo, Jung-Hyun Park, Eul-Sun Baik

Department of Forest Resources Development, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-847, Korea

This study was conducted to analyze growth responses of fast growing tree species(8 clones of hybrid poplars, *Salix alba*, *Metasequoia glyptostroboides*, *Liriodendron tulipifera*, *Acer okamotoanum*, and *Quercus palustris*), the chemical characteristics of soil and NO₃-N concentration of groundwater in a plantation applied with liquid pig manure. Concentrations of nitrogen and phosphorous in the soil treated with liquid pig manure were higher than that of the soil treated without liquid pig manure. With the exception of *S. alba*, DBH(Diameter at Breast Height) growth of all the fast growing tree species treated with liquid pig manure was higher than that of the species treated without liquid pig manure. In liquid pig manure treatment group, *P. euramericana* 'Eco28' clone showed the best performance in height and DBH growth. Concentration of nitrogen in the leaf with liquid pig manure was higher than that of the leaf treated without liquid pig manure. Based on the NO₃-N concentration of groundwater analyzed during the experimental period, there was no evidence that groundwater was polluted by the liquid pig manure applied at the plantation.

Key words: Clone, Fast growing tree species, Groundwater contamination, Growth performance, Liquid pig manure, Poplar

서 언

해방이후 우리나라는 점차 근대화가 되면서 산업화가 성공적으로 이루어졌으며, 경제적으로도 빠른 성장을 이룩하였다. 하지만 산업화 및 경제적 성장에만 치중하여 생태 및 환경에 대한 관리는 소홀하였으며, 최근에는 이로 인해 발생하는 생활하수, 산업폐수, 농축산폐수 등과 같은 오염원들 때문에 많은 문제점들이 나타나고 있는 실정이다. 이러한 오염원 중 축산폐수의 경우에는 일일 발생량이 130,746 m³에 달하고 있으며, '오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률'의 규정에 의해 점오염원으로 관리되고 있으나 소규모 축산농가의 경우에는 경제적인 부담과 수거체계가 미흡하여 관리하기가 어렵기 때문에 강우에 의해 비점오염원의 형태로 하천 및 셋강에 유입되는 경우가 많다. 또한 이러한 축산농가에서 발생하는 강우 유출수의 질소함량은 높은 것으로 나타났다(Ahn et al.,

1998). 특히 축산폐수 중 양돈분뇨는 축우분뇨에 비해 질소 함량이 뇨(尿)는 3배, 분(糞)은 3.3배 많으며 인산 함량은 뇨가 23배, 분이 3.4배 많게 나타나(Kim et al., 2001) 수계로 유입 시 부영양화를 초래하여 암모니아 독성에 의한 어류 피해 및 염소 처리효과 감소 등의 피해가 가장 심하게 나타날 수 있다(Wade, 1998; Cho et al., 2000). 따라서 이러한 양돈분뇨로 인한 축산농가 주변 농경지 및 하천의 오염을 방지할 수 있는 방법이 필요하다.

현재까지 오염된 토양을 정화하기 위해 다양한 물리·화학적 방법이 사용되어 왔으나 기존의 기술은 처리 방법에 있어 고가의 장비와 기술이 요구되며, 상대적으로 낮은 농도로 광범위하게 오염된 지역에 적용하기에는 어려움이 많기 때문에 최근에는 식물을 이용한 오염토양의 복원기술인 phytoremediation이 각광받고 있으며, 여러 분야에 활용되고 있다(George and Seith, 1998; Licht and Isebrands, 2005). Phytoremediation은 정화 목표에 도달하기까지 다소 많은 시간이 소요되고 오염의 정도가 심각한 지역에 적용하기에는 어려운 단점이 있으나 비용이 저렴하고

접수 : 2009. 6. 25 수리 : 2009. 10. 2
*연락처 : Phone: +82312901115,
E-mail: jkyeo@forest.go.kr

친환경적이며(Cunningham et al., 1995), 특히 광산지역 및 농경지 같은 비교적 넓은 지역의 토양을 장기적으로 정화할 수 있는 처리공법으로 적절하다(Kim et al., 1999; Ok et al., 2003).

Phytoremediation에 적용되는 수목 중 포플러류는 환경에 쉽게 적응하고 성장속도가 빠르며, 높은 증산량과 근권의 범위가 넓어 각종 폐수를 정화하는데 널리 이용되고 있기 때문에 가장 많은 주목을 받고 있다(Dix et al., 1997). Yeo et al. (2003)은 시험림에 포플러를 식재하여 젖소 축사에서 배출되는 축우분뇨를 처리한 결과 식물체내 질소 및 인산함량이 축우분뇨를 처리하지 않은 대조구 보다 높게 나타났으며, 3년생 포플러 1본이 연간 총 604 L(질소함량 5.9 kg)의 축우분뇨를 흡수한다고 보고하였다. 또한 Woo et al. (2006)은 포플러 1년생 삼목묘 6수종(9개 클론)에 각각 지하수와 양돈분뇨를 처리하는 실내실험을 한 결과 수고생장은 지하수 처리구가 양돈분뇨 처리구보다 우수하였지만 식물체내 질소 및 인산 함량은 양돈분뇨 처리구가 지하수 처리구보다 높다고 보고하였다.

따라서, 본 연구는 현장에 시험림을 조성하여 포플러류, 버드나무 및 기타 속성수를 식재하고 축산분뇨 중 비료함량이 높은 양돈분뇨를 처리하여 수종이나 클론간의 성장, 오염물질 흡수능력 등을 비교하여 양돈분뇨 오염지의 phytoremediation에 가장 적합한 포플러 클론 및 속성수를 선발하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

시험림 조성 양돈분뇨 처리에 따른 포플러 클론, 버드나무 및 기타 속성수의 현지 적응능력을 검증하기 위해 2007년 3월 경기도 수원시 호매실동에 1년생 현사시(*Populus alba* × *Populus grandulosa* : 72-30, 72-31, Bonghwa 1), 양황철(*Populus nigra* × *Populus maximowiczii* : 62-10), 이태리포플러(*Populus euramericana* : Eco 28), 수원포플러(*Populus koreana* × *Populus nigra* var. *italica*), 미류나무 교잡종(*Populus deltoides* × *Populus deltoides* : 97-18), Dorskamp(*Populus deltoides* × *Populus nigra*), 버드나무(*Salix alba* : 131-27) 삼목묘와 1년생 메타세쿼이아(*Metasequoia glyptostroboides*), 백합나무(*Liriodendron tulipifera*), 우산고로쇠(*Acer okamotoanum*), 대왕참나무(*Quercus palustris*) 실생묘

를 수종 및 클론별로 13종 식재하여 0.5 ha의 시험림을 조성하였으며, 양돈분뇨를 처리한 처리구에 수종 및 클론별로 각각 16본씩 3반복으로 식재하였고 양돈분뇨를 처리하지 않은 대조구에 수종 및 클론별로 각각 16본씩 식재하였다.

양돈분뇨 처리 일반적으로 포플러는 2~5월에 산림용 고품복합비료 기준으로 분당 150~300 g씩 시비를 하며, 시비되는 질소량은 분당 18~36 g이다. 본 연구에서는 처리구에 양돈분뇨를 2008년 묘목의 잎이 완전히 자란 5월 6일부터 생장이 정지하기 시작하는 9월 22일까지 처리하였으며, 인근 양돈축사에서 배출되는 양돈분뇨를 시험림에 설치된 물탱크에 저장한 후 파이프를 된 관수시설을 이용하여 매회 분당 3 L씩 처리하였다. 이때 처리구에 식재한 묘목의 줄기 주변을 직경 50 cm 범위로 둥글게 판 다음 양돈분뇨가 흘러넘치거나 토양의 과습에 의한 피해가 나타나지 않도록 관수하였다(Fig. 1). 2008년 5월부터 9월까지 관수한 양돈분뇨는 분당 93 L로 시험림 0.5 ha에 관수한 양돈분뇨 총량은 58 ton이며(Fig. 2), 분당 처리된 질소량은 3.8 kg이다. 반면, 대조구에는 아무런 처리를 하지 않았으며, 이는 Yeo et al. (2001)이 포플러 5클론에 지하수와 축산폐수를 처리하여 축산폐수 처리가 지하수 처리보다 성장량이 증가하였다고 보고하였기 때문에 본 연구에서는 처리구의 양돈분뇨에 대한 속성수의 생육특성만을 대조구와 비교하였다. 본 연구에 사용된 양돈분뇨는 총 3회 채수하여 분석하였으며, 이화학적 특성을 Table 1에 나타내었다.



Fig. 1. Treatment of liquid pig manure at experiment site.

Table 1. Chemical characteristics of liquid pig manure used in this study.

pH	T-N	T-P	NH ₄ -N	NO ₃ -N
----- mg L ⁻¹ -----				
liquid pig manure	7.6		4,098	251.2

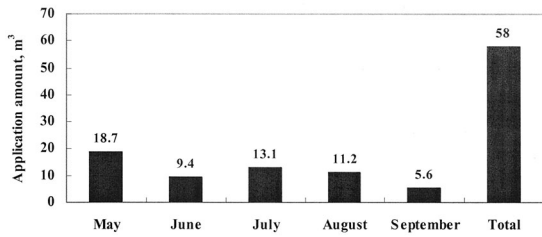


Fig. 2. Total volume of liquid pig manure treated at experiment site (0.2 ha).

생장조사 현지 시험림에 식재한 포플러류, 버드나무 및 기타 속성수의 양돈분뇨 처리에 따른 생장특성을 조사하기 위하여 양돈분뇨 처리구와 대조구에 식재한 묘목의 생존율, 수고 및 흉고직경 성장량을 조사하였으며 양돈분뇨를 처리하기 전 2008년 5월에 측정을 하고 처리가 끝난 2008년 10월에 조사를 하였다.

수체분석 포플러류, 버드나무 및 기타 속성수의 양돈분뇨 내 질소와 인산 흡수능력을 조사하기 위해 처리구와 대조구에 식재한 묘목의 잎과 가지를 양돈분뇨 관수를 종료하는 시점인 2008년 10월에 채취하여 전질소와 인산 함량을 분석하였다(GARES, 2008).

토양분석 양돈분뇨 처리에 따른 토양의 이화학적 특성 변화를 조사하기 위하여 양돈분뇨를 관수한 처리구와 대조구의 묘목 주변 토양을 표토로부터 깊이 50 cm, 100 cm로 나누어 2008년 9월에 각각 3지점에서 채취하여 pH, 질소, 전인산, 질산태 및 암모늄태 질소의 함량을 분석하였다(GARES, 2008).

지하수 NO₃-N 분석 시험림에 양돈분뇨 처리로 인한 지하수의 오염여부를 조사하기 위하여 시험림을 통과하는 지하수 상류와 하류의 지하 15 m 깊이에 관정을 설치하여(Fig. 3) 2008년 7월에서 9월까지 지하수의 NO₃-N 함량 변화를 분석하였다.

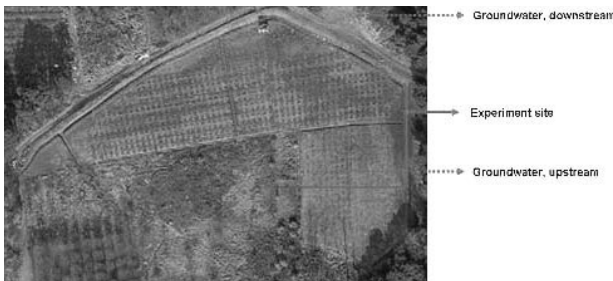


Fig. 3. Location of groundwater monitoring well at the experiment site.

통계분석 양돈분뇨 처리에 따른 클론 및 수종간의 생장, 토양의 이화학적 특성 및 수체내 질소와 인의 함량을 비교하기 위하여 SAS/STAT(ver. 8.01) 프로그램의 t-test와 분산분석(ANOVA)을 사용하였다.

결과 및 고찰

양돈분뇨 처리에 따른 포플러 클론, 버드나무 및 기타 속성수의 생장특성 양돈분뇨 처리에 따른 포플러 클론 및 기타 속성수의 생존율은 양돈분뇨를 처리한 처리구가 평균 83.7%, 처리하지 않은 대조구가 96.6%로 나타났다(Fig. 4). 특히 양돈분뇨를 처리한 메타세쿼이아, 대왕참나무, 우산고로쇠와 백합나무의 경우에는 생존율이 포플러 클론 및 버드나무 클론 보다 저조하였으며 이는 양돈분뇨에 포함된 고농도의 암모늄태 질소(NH₄⁺)가 세포 내 암모늄태 질소의 동화를 위해 α-ketoglutarate를 상당량 소모하여 탄소원의 고갈로 인한 스트레스 및 식물의 ATP 생산을 방해하였기 때문이라고 판단된다. 하지만 Eco28, 72-30 및 Dorskamp와 같은 포플러 클론의 경우에는 양돈분뇨를 처리한 처리구에서 100%의 생존율을 나타냈으며 전반적으로도 포플러 클론의 생존율이 높았다. 따라서 양돈분뇨에 대한 내성은 포플러 및 버드나무 클론이 기타 속성수보다 우수한 것으로 판단되지만, 아직까지 양돈분뇨 처리에 대한 속성수의 유지 생장반응으로써 향후 지속된 연구를 통해 구명되어야 될 것으로 생각된다.

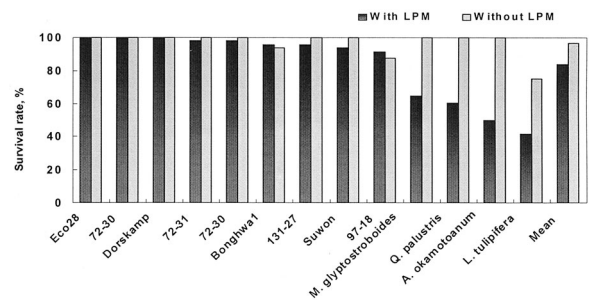


Fig. 4. Survival rate of fast growing tree species treated with liquid pig manure.

* LPM : Liquid pig manure, DBH : Diameter at breast height

양돈분뇨 처리에 따른 포플러 클론 및 기타 속성수의 수고 성장량은 처리구가 평균 103 cm, 대조구가 85 cm로 양돈분뇨를 처리한 처리구가 우수하게 나타났으며(Fig. 5) Eco28, 72-30, 72-31, 97-18, Dorskamp, 131-27 클론 및 대왕참나무의 경우에는 처리구와 대조구간의 유의차(P<0.01)가 인정되었다. 포플러 클론 및 기타 속성수의 흉고직경 성장량은 처리구가 평균 4.9 mm, 대조구가 평균 3.3 mm로 양돈분뇨를 처리한

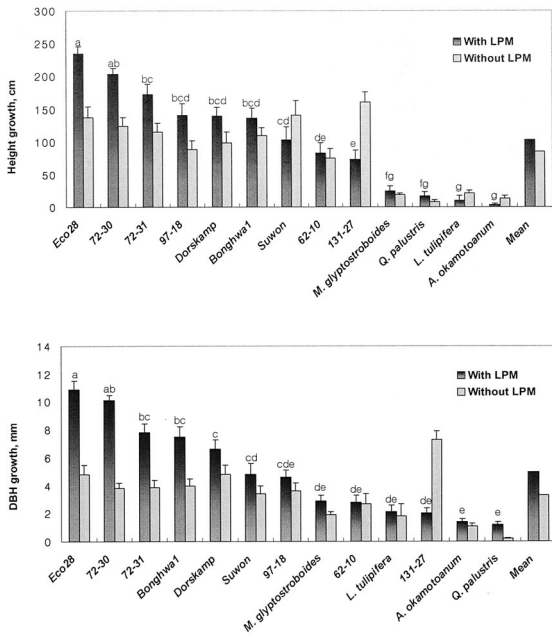


Fig. 5. Height and DBH growth of fast growing tree species treated with or without liquid pig manure.

처리구가 역시 우수하게 나타났으며(Fig. 5) Eco28, 72-30, 72-31, Bonghwa 1, Dorskamp, 131-27 클론 및 대왕참나무의 경우에는 처리구와 대조구간의 유의차(P<0.01)가 인정되었다. 양돈분뇨 처리에 따른 수고 성장량은 이태리포플러인 Eco28 클론이 234.8 cm로 가장 우수하였으며, 그 다음으로 현사시인 72-30, 72-31클론이 각각 203.6 cm, 172.2 cm로 우수하게 나타났다. 또한 수원포플러, 버드나무인 131-27클론, 백합나무 및 우산고로쇠의 경우에는 양돈분뇨를 처리하지 않은 대조구의 수고 성장량이 우수하였다. 양돈분뇨 처리에 따른 흉고직경 성장량 역시 이태리포플러인 Eco28 클론이 10.9 mm로 가장 우수하였으며, 현사시인 72-30, 72-31클론이 각각 10.1 mm, 7.8 mm로 우수하게 나타났다. 포플러 클론들의 경우에 수고 및 흉고 직경 성장량이 전반적으로 양돈분뇨를 처리한 처리구가 대조구 보다 우수하게 나타났다. 일반적으로 수목은 광합성으로 탄수화물을 합성해서 에너지원으로 사용하며, 필수아미노산을 자체적으로 합성할 수 있는 능력이 있다. 하지만 필수아미노산을 합성하기 위해서는 토양으로부터 무기질소를 흡수해야만 한다. 따라서 이와 같은 결과는 양돈분뇨에 함유된 질소가 양분의 역할을 하여 성장을 촉진시킨 것으로 판단된다.

양돈분뇨 처리에 따른 포플러 클론 및 기타 속성수의 수고 및 흉고직경 성장량 모두 이태리포플러인 Eco28, 현사시인 72-30, 72-31클론이 다른 포플러 클론 및 기타 속성수 클론 보다 우수하였으며, 양황철인 62-10클론의 경우에는 포플러 클론 중 가장 낮은 성장량을 나타내었다. Yeo et al. (2003)의 연구에서도

현사시가 다른 수종에 비해서 성장량이 높으며, 양황철의 경우 성장량이 저조한 것으로 나타났다. 버드나무인 131-27클론의 경우에는 오히려 양돈분뇨를 처리한 처리구가 대조구보다 수고 및 흉고직경 성장량 모두 낮게 나타나 양돈분뇨의 처리가 성장에 스트레스를 준 것으로 판단된다.

수체내 질소 및 인산함량 양돈분뇨 처리에 따른 포플러 클론 및 기타 속성수의 질소 및 인산의 흡수능력을 조사하기 위해 잎과 가지의 수체분석 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 질소함량은 잎의 경우에 백합나무를 제외한 포플러 클론 및 기타 속성수 모두 양돈분뇨를 처리한 처리구와 처리하지 않은 대조구간의 유의차(P<0.01)가 인정되었으며, 처리구와 대조구 잎의 평균 질소함량은 각각 2.4%, 1.6%로 처리구가 높게 나타났으며, 131-27클론이 4.1%로 가장 높게 나타났다. 양돈분뇨 처리에 따른 가지의 질소함량에 대한 경우에 97-18, Bonghwa 1, Suwon, 131-27, 72-31 클론 및 우산고로쇠만이 처리구와 대조구간의 유의차(P<0.01)가 인정되었으며, 처리구와 대조구 가지의 평균 질소함량은 각각 0.9%, 0.5%로 나타났다. 가지의 질소함량 역시 131-27클론이 3.52%로 가장 높게 나타났다. 버드나무인 131-27클론의 경우에 양돈분뇨 처리에 따른 수고 및 흉고직경 성장량에 있어 처리구가 대조구보다 낮은 성장량을 나타내었지만 잎과 가지의 질소함량은 가장 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 뿌리에서 흡수된 NO₃⁻가 질산환원(Nitrate reduction)에 의해 수체내로 전달되어 필수아미노산 합성에 사용되고 성장을 촉진시켜야 되지만 양돈분뇨 처리에 따른 여러 가지 스트레스로 인해 탄수화물의 공급이나 대사활동이 느려져 잎과 가지에 질소가 축적되어 있어 질소함량이 높은 것으로 판단된다.

포플러 클론 및 기타 속성수의 잎의 인산 함량을 조사한 결과, 양돈분뇨를 처리한 처리구와 처리하지 않은 대조구가 각각 1.5%, 1.1%로 나타나 처리구가 조금 높게 나타났으며, 우산고로쇠, 대왕참나무, Dorskamp 및 Eco28 클론만이 처리구와 대조구간에 유의차(P<0.01)가 인정되었다. 가지의 인산 함량을 조사한 결과, 양돈분뇨를 처리한 처리구와 처리하지 않은 대조구가 각각 0.8%, 0.6%로 나타나 처리구가 높게 나타났으며, 메타세쿼이아, 우산고로쇠 및 대왕참나무만이 처리구와 대조구간에 유의차(P<0.01)가 인정되었다. 이러한 결과는 비록 통계적인 차이는 크게 나타나지 않지만 양돈분뇨를 처리한 처리구가 처리하지 않은 대조구보다 잎과 가지의 질소 및 인산 함량이 높게 나타났기 때문에 양돈분뇨에 포함된 질소와 인산이 토양에 시용될 때 포플러 클론 및 기타 속성

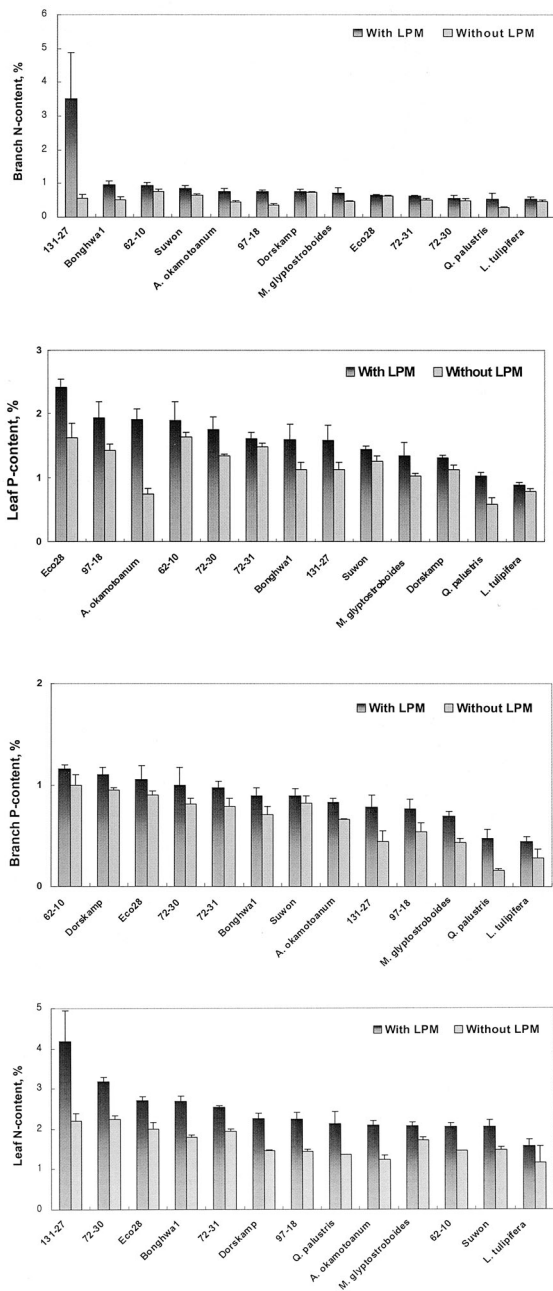


Fig. 6. Total nitrogen and phosphorus concentration in leaf and shoot of poplar clone and fast growing tree with liquid pig manure.

수가 양분으로 흡수하는 것으로 판단된다.

토양의 이화학적 특성 변화 양돈분뇨를 처리한 처리구의 토양과 처리하지 않은 대조구의 토양을 깊이별로 조사하여 분석한 결과를 Table 2에 나타내었다. 처리구와 대조구의 깊이별 토양 pH는 처리구와 대조구간에 유의성이 나타났으며, 처리구의 토양 pH 값이 조금 높게 나타났다. 토양의 pH는 식물체가 양분을 흡수하는데 영향을 미치는 중요한 인자로서, pH 값이 낮아질수록 식물체의 생장에 도움이 되는 치환성 양이온이 분리되지만, 너무 낮아져 산성토양이 되면 치환성 양이온의 용탈현상에 의해 식물체가 이용하는데 어려움이 있을 수 있다.

양돈분뇨를 처리한 처리구와 처리하지 않은 대조구의 깊이별 토양 T-N과 T-P를 분석한 결과, T-N은 처리구가 대조구보다 50 cm, 100 cm 깊이에서 각각 3.6배, 1.9배 높게 나타났으며 T-P의 경우 50 cm 깊이에서는 대조구가 처리구보다 1.5배, 100 cm 깊이에서는 처리구가 대조구보다 1.06배 높게 나타났다. 처리구의 NH₄-N은 깊이가 깊을수록 높게 나타났으며, 이는 질산화박테리아의 활동이 50 cm 깊이의 토양에서 보다 활발하지 못하였기 때문이라 판단된다. 양돈분뇨에 함유된 고농도의 암모늄태(NH₄⁺) 질소는 토양에서 질산화박테리아(Nitrifying bacteria)에 의해 질산태(NO₃⁻) 질소의 형태로 바뀌며, 이러한 질산태 질소는 식물에 의한 직접적인 흡수와 물에 의한 용탈, 유거 및 환원조건에서의 탈질작용으로 인해 대부분 제거된다(Jeong et al., 2003). 따라서 Table 2에 나타난 바와 같이 깊이별 처리구와 대조구의 질산태 질소의 경우 깊이 내려갈수록 그 양이 줄어드는 것으로 나타났으며, Yeo et al. (2003)이 시험림에 축우분뇨를 처리하였을 때의 토양 질소 및 인산의 농도와 비슷하여 양돈분뇨의 공급에 대한 질소와 인산의 축적에 따른 2차 오염피해는 크지 않을 것으로 판단되지만, 본 연구에서는 짧은 기간 동안 양돈분뇨를 처리하였기 때문에 장기적으로 처리를 할 경우 피해가 발생할 수도 있다. 따라서 차후 계속된 연구를 통하여 질소와 인산의 축적에 따른 2차 오염에 대하여 구명할 필요가 있을 것으로 판단된다.

Table 2. Chemical characteristics of soil at the experimental site.

Treatment	Soil depth cm	pH	mg kg ⁻¹			
			T-N	T-P	NH ₄ -N	NO ₃ -N
With	50	6.4±0.04*	627.0±17.5**	183.2±1.2*	5.9±0.6	31.6±11.5*
SWW	100	6.1±0.03*	85.8±8.2**	217.2±18.9	9.0±0.6**	14.7±4.6*
Without	50	6.2±0.06	173.2±50.4	272.6±48.7	11.7±3.6	7.6±6.1
SWW	100	5.9±0.09	45.5±10.6	203.9±27.8	5.6±0.6	5.0±1.8

* and ** show significance at the 0.05 and 0.01 level, respectively

지하수의 NO₃-N 변화 시험림을 통과하는 지하수의 상류와 하류에 관정을 설치한 다음, 양돈분뇨 처리가 지하수에 미치는 영향을 조사하였으며, 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 2008년 7월 지하수의 질산태 질소는 상류와 하류가 각각 2.05 mg L⁻¹, 0.51 mg L⁻¹로 나타나 오히려 시험림을 통과한 하류의 지하수 질산태 질소가 낮게 나타났다. 2008년 8월과 9월의 경우에는 시험림을 통과한 하류의 지하수 질산태 질소가 높게 나타났다. 암모늄태 질소는 질산화박테리아에 의해 질산태 질소로 바뀌고 대부분의 식물은 토양으로부터 질산태의 형태로 질소를 흡수한다. 하지만 양돈분뇨에 포함된 고농도의 암모늄태 질소가 질산태 질소로 바뀌어 수목들이 생장에 이용한다 하더라도 많은 양의 질산태 질소는 토양용액에 녹아 있다. 이러한 질산태 질소는 식물이 흡수 이용하거나 토양이 환원될 조건에서 탈질될 수도 있지만, 강우시 쉽게 용탈되는 단점이 있다. 따라서 지하수의 질산태 질소의 농도 변화는 앞으로 양돈분뇨를 시험림에 처리하기 위해 중요한 지표가 될 것으로 판단된다. Fig 7에 나타난 바와 같이 현재까지는 상류와 하류 모두 0.5~2.05 mg L⁻¹의 범위로 나타나며, 질산태 질소의 음용수 기준인 10 mg L⁻¹ 보다 낮게 나타나 현재까지는 지하수 오염이 발생하지 않은 것으로 나타났다. 하지만 계속되는 양돈분뇨 처리에 의한 토양의 질산태 질소 축적 및 지하수로의 2차 오염에 관한 연구는 앞으로 계속 모니터링 한 다음, 판단해야 될 것이다.

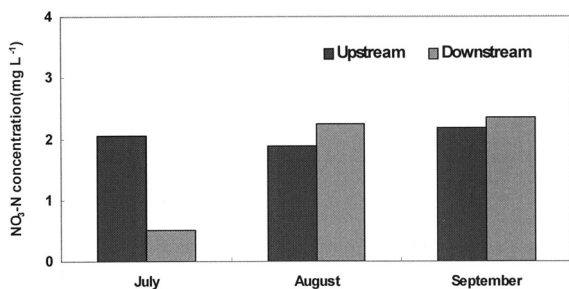


Fig. 7. Changes of NO₃-N concentration in groundwater by liquid pig manure treatment.

결 론

양돈분뇨 처리에 따른 포플러 클론 및 기타 속성수의 생존율은 처리구가 평균 83.7%, 대조구가 평균 96.6%로 나타났으며, 처리구의 포플러 클론 등이 생존율이 높았다. 수고 성장량은 처리구가 평균 103 cm, 대조구가 85 cm로 양돈분뇨 처리에 의한 효과가 나타났다. 또한 이태리 포플러인 Eco28, 현사시인 72-30, 72-31클론이 양돈분뇨 처리에 의한 효과가 우수하게 나타났다. 양돈분뇨 처리에 대한 흉고직경 성장량

은 처리구가 평균 4.9 mm, 대조구가 평균 3.3 mm로 나타났으며, 흉고직경 성장량 역시 Eco28, 72-30 및 72-31클론이 양돈분뇨 처리에 의한 효과가 우수하게 나타났다. 또한 양돈분뇨 처리에 따른 잎과 가지의 질소 및 인산 함량도 양돈분뇨 처리구가 높게 나타나 양돈분뇨에 함유된 질소 및 인산을 흡수한 것으로 판단된다. 따라서 양돈분뇨의 내성 및 적응능력이 뛰어난 품종 및 클론은 이태리 포플러인 Eco28클론, 현사시인 72-30, 72-31클론이라고 판단된다. 하지만 아직까지 양돈분뇨 처리에 대한 속성수의 유시 성장반응으로써 향후 지속된 연구에 의해 양돈분뇨의 내성 및 적응능력을 구명해야 될 것이라 생각된다.

양돈분뇨 처리에 대한 토양의 깊이별 이화학적 특성은 pH의 경우, 처리구와 대조구간에 유의차 ($P < 0.05$)는 인정되었지만, 실제 그 값의 차이는 크지 않으며, 질소의 경우 토양이 깊을수록 암모늄태 질소와 질산태 질소의 함량이 높았지만 그 양이 크지 않아 수목 및 지표식생 등에 의해 제거될 것이라 판단된다.

양돈분뇨 처리에 대한 2차 오염의 지표가 되는 지하수의 질산태 질소 함량을 분석한 결과, 2008년 7월부터 9월까지 시험림을 통과하는 상류와 하류의 질산태 질소 함량은 0.5~2.05 mg L⁻¹의 범위에 있으며, 질산태 질소의 음용수 기준인 10 mg L⁻¹보다 낮게 나타났다. 따라서 현재까지 양돈분뇨 처리에 의한 2차 오염은 발생하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 양돈분뇨를 지속적으로 처리할 경우 오염물질 축적에 의한 지하수 오염의 가능성도 발생할 여지가 있으므로 꾸준한 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

- Ahn, Y.S., K.K. Kang, S.G. Kim, K.A. Roh, and M.E. Park. 1998. Assessment of the functions of vegetation and soil on the nutrient cycling in paddy field ecosystem with inflow of animal wastes. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31(2):162-169.
- Cho, J.C., H.B. Cho, and S.J. Kim. 2000. Heavy contamination of a subsurface aquifer and a stream by livestock wastewater in a stock farming area, Wonju, Korea. *Env. Poll.* 109:137-146.
- Cunningham, S.D., W.R. Berti, and J.W. Huang. 1995. Agronomic remediation of contaminated soils. *Chemosp.* 50:807-811.
- Dix, M.e., N.B. Klopfenstein, J.W. Zhang, S.W. Workman, and M.S. Kim. 1997. Potential use of *Populus* for phytoremediation of environmental pollution in riparian zones, USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. 297:206-211.
- GARES. 2008. Methods of soil and compost analysis. Gyeonggido Agricultural Research and Extension Services, Hwaseong, Korea.
- George, E. and B. Seith. 1998. Long-term effects of a high nitrogen supply to soil on the growth and nutritional status of young Norway spruce trees. *Env. Poll.* 102:301-306.

- Jeong, B.R., J.B. Chung, S.H. Kim, Y.D. Lee, H.J. Cho, and N.J. Baek. 2003. Rhizosphere enhances moval of organic matter and nitrogen from river water in floodplain filtration. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36(1):8-15.
- Kim, J.G., S.K. Lim, S.H. Lee, C.H. Lee, and C.Y. Jeong. 1999. Evaluation of heavy metal pollution and plant survey around inactive and abandoned mining areas for phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Korean J. Env. Agri.* 18:20-34.
- Kim, J.H., C.H. Park, J.D. Han, and B.G. Park. 2001. Determining the optimum number of livestock considering regional pollution load. *Korean J. Agricultural Management Policy.* 28:255-277.
- Licht, L.A. and J.G. Isebrands. 2005. Linking phytoremediated pollutant removal to biomass economic opportunities. *Biom. and Bioe.* 28:203-218.
- Ok, Y.S., S.H. Kim, D.Y. Kim, H.N. Lee, S.K. Lim, and J.G. Kim. 2003. Feasibility of phytoremediation for metal-contaminated abandoned mining area. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36:323-332.
- Wade, A., B. Maher, I. Lawrence, N. Davis, C. Zoppou, and C. Bell. 1998. Estimating the allowable ammonia concentrations in wastewater treatment plant discharge to ensure protection of aquatic biota. *Env. Tech.* 19:749-754.
- Woo, K.S., Y.S. Kim, Y.B. Koo, and J.K. Yeo. 2006. Growth comparison of poplar clones under swine wastewater treatment. *KFRI. J. For. Sci.* 69:196-205.
- Yeo, J.K., I.S. Kim, Y.B. Koo, Y.J. Kim, and S.H. Joo. 2003. Growth and absorption of livestock wastewater of poplar species at test plantation. *J. Korea Soc. of Waste Manage.* 20:747-749.
- Yeo, J.K., Y.B. Koo, and D.S. Son. 2001. Growth response and absorption capacity of poplar on livestock wastewater. *Jour. Korean For. Soc.* 90(6):734-741.