

畜產廢水 處理에 따른 포플러類의 生育反應 및 畜產廢水 吸收能力¹

呂珍基^{2*} · 具永本² · 孫斗植³

Growth Response and Absorption Capacity of Poplars on Livestock Waste Water¹

Jin Kie Yeo^{2*}, Yeong Bon Koo² and Doo Sik Son³

要　　約

수질오염원인 축산폐수에 대한 포플러류의 수종 및 품종별 생육반응 및 흡수능력을 조사하기 위하여 삽목 당년생 현사시 (*P. alba × glandulosa*), 이태리포플러(*P. euramericana*), 양황철 (*P. maximowiczii*) 각각 5클론에 대하여 축산폐수와 지하수를 처리하였다. 묘고생장량은 현사시가 가장 우수하였고 각 수종 공통적으로 축산폐수 처리구의 생장량이 지하수 처리구의 생장량 보다 다소 우수한 경향을 보였다. 현사시의 품종들은 축산폐수에 대하여 클론간 차이가 없이 우수한 묘고생장을 보였으나 이태리포플러와 양황철은 클론간에 많은 차이를 나타냈다. 축산폐수 처리는 모든 수종에 대하여 엽 및 shoot 전중량 증가와 같은 지상부 biomass를 증가시킨 반면 뿌리의 전중량은 감소시켰다. 또한 축산폐수는 포플러류의 엽특소 함량을 증가시켰다. 처리 기간동안 수종별 축산폐수 흡수량은 시기별로 차이를 보였고 모든 수종 공히 축산폐수 흡수량이 지하수 흡수량보다 다소 낮았다. 총 흡수량은 현사시가 가장 많았으며 전체 15개 클론중 현사시 72-16호 클론이 가장 우수한 것으로 조사되었다.

ABSTRACT

The two-month-old rooted-cuttings of *Populus alba × glandulosa*, *P. euramericana* and *P. nigra × maximowiczii* clones were exposed to livestock waste water - one of major water pollutants, and ground water in order to determine the effects of livestock waste water on growth response and absorption capacity of the species. For this purpose, 5 clones of each species were used. In all the species, the height growth of rooted-cuttings was better in livestock waste water treatment than in ground water. Of all the poplar species compared, the height growth was best in *P. alba × glandulosa*. In the cases of *P. euramericana* and *P. nigra × maximowiczii*, the height growth in the livestock waste water treatment was statistically different among clones, whereas there was no significant difference among *P. alba × glandulosa* clones. Aboveground biomass such as leaf and shoot dry weight of all the species increased in the livestock waste water treatment, while root dry weight decreased. In addition, chlorophyll contents in leaf of all the poplar species increased in the livestock waste water treatment. All the poplar trees showed temporal variation in the absorption amount of livestock waste water during the experimental period. In all the poplar species, the absorption amount of livestock waste water was less than that of ground water. Of 3 poplar species, *P. alba × glandulosa* was best in the absorption capacity of livestock waste water. Of all 15 poplar clones compared in this study, the 72-16 clone of *P. alba × glandulosa* showed the best absorption capacity.

Key word : Livestock waste water, Populus, growth response, clone, phytoremediation

¹ 接受 2001年 8月 13日 Received on August 13, 2001.

審查完了 2001年 9月 25日 Accepted on September 25, 2001.

² 임업연구원 육종과 Division of Tree Breeding, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-350, Korea.

³ 경북대학교 농과대학 임학과 Department of Forestry, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea.

* 연락처자 E-mail : jkyeo@foa.go.kr

서 론

지구 환경은 화석연료의 연소, 채광, 제련, 화학비료의 사용 및 생활하수 등으로 인해 산업혁명 이후부터 급속도로 악화되어 왔다 (Salt 등, 1995). 지금까지 오염토양 개량을 위해 물리, 화학, 생물학적 방법들이 적용되고 있다. 전통적인 공학적 기술을 이용한 오염된 토양의 정화방법은 토양 1톤을 정화하는데 약 50~500달러의 비용이 필요하다. 또한 특수한 기술을 이용하여 오염된 토양을 정화시킬 경우 톤당 1,000 달러 이상의 막대한 비용이 소요되며 (Cunningham 등, 1995), 토양 구조 파괴와 양분분실과 같은 문제점이 나타날 수 있다 (Greger and Landberg, 1999). 오늘날 오염된 토양 및 수질을 경제적이고 효과적으로 정화시킬 수 있는 기술 개발을 위한 다양한 방법들이 시도되고 있다.

식물은 토양내 유해물질을 그들의 체내로 이동시켜 축적하는 phytoextraction (Kumar 등, 1995), 뿌리를 이용하여 폐수에 포함된 유해중금속을 침전, 축적하고 흡수하는 rhizofiltration (Dushenkov 등, 1995) 및 유해중금속의 유출을 줄이는 phyto-stabilization (Salt 등, 1995)의 메카니즘을 통해 오염물질을 정화하는 기능을 가지고 있다. 이와 같은 phytoremediation은 경제적이고 친자연적이며 지속적으로 광범위한 오염지역에 적용할 수 있는 장점이 있다 (Greger and Landberg, 1999; Salt 등, 1995; Cunningham 등, 1995).

오늘날 농업 기계화로 인해 농업용 가축의 수는 줄어들었지만 육류 소비 증가추세에 따라 육류용 가축의 수는 크게 증가할 전망이다 (양운진, 1997). 실질적으로 우리 나라의 1996년 말 기준 가축 사육두수는 1990년과 비교하여 약 48% 증가하였고 단위축산농가별 사육규모는 점차 대형화되고 있으며, 이들로부터 발생되는 하루 약 197 천톤의 축산폐수는 하천 수질악화는 물론 호수의 부영양화와 악취 등 생활환경을 악화시키는 주요한 요인으로 되고 있다 (환경부, 1998). 축산폐수에는 질소와 인산 등이 높은 농도로 함유되어 있는데 이들이 지표수에 과잉 유입되면 수계 부영양화, 어류의 암모니아 독성 및 암모니아로 인한 염소 처리효과 감소 등의 피해가 나타날 수 있다 (양운진, 1997; Wade 등, 1998). 실제로 미국 Delaware 주 근처 Sussex 지방의 가축 사육장이 밀집된 지역의 우물 231개를 대상으로 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도를 조사한 결과

1/3이 미국 EPA의 음용수 허용 기준치 (10mg/l)를 초과하는 것으로 나타났다 (Andres, 1995).

또한 하천으로 유입된 암모늄태 질소는 하천 하류의 약 2마일까지 오염시키는 것으로 조사되었다 (Ackerman and Taylor, 1995).

질소와 인산은 식물체의 필수 영양소로서 아미노산과 단백질 및 핵단백질과 인지질의 구성성분이며 효소, 염록소 및 생장조절물질의 생성과 에너지 전달에 중요한 역할을 담당하고 있다 (Kramer and Kozlowski, 1979). 축산폐수의 주요 성분인 이들 질소와 인은 직접적인 수질오염원인 반면 식물체에 대하여는 생장을 촉진시키는 효과도 있어, 1940년대 화학비료의 개발 이전까지 약 2000년 동안 축분은 농작물의 주요 영양 공급원으로 사용되었다 (Sims, 1995). 그러나 고농도의 무기태 질소를 3년생 독일가문비나무에 처리하였을 때 지상부 biomass는 증가시키지만 일부 양이온의 흡수를 저해하여 전체적으로 수세가 약화되는 경향을 보이기도 하였다 (Seith 등, 1996).

포플러는 환경에 쉽게 적응하고 생장이 빠른 수종이며, 높은 종사량과 넓게 퍼지는 근계는 토양 침식을 방지함은 물론 오염물질을 흡수하여 오염농도를 낮추고 흡수된 오염물질을 분해하는 기능을 가지고 있어 phytoremediation에 적합한 수종으로 알려져 있다 (Dix 등, 1997). 또한 교잡종 포플러류의 물 소비량을 보면 1파운드의 전증량을 생산하는데 약 600-1,000 파운드의 물을 소비한다고 한다 (Madison and Licht, 1994). 구 등 (1998)은 쓰레기매립지에서 발생하는 고농도의 질소 및 염분이 함유된 침출수의 흡수실험을 통해 삽목 1년생 교잡종 포플러류 1본이 하루 약 391~484ml의 침출수를 흡수·제거함을 밝힌바 있다. 본 연구에서는 위와 같은 장점을 가진 포플러류에 수질 오염원인 축산폐수 처리 후 그에 따른 흡수량과 생육에 미치는 영향을 밝혀 임목을 이용한 축산폐수의 생물학적 정화 및 오염지 복구의 가능성을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

1. 대상수종 및 처리

본 연구를 위하여 1999년 3월 초순 경기도 수원 소재 임업연구원 임목육종부 채수포에서 각각 5클론의 혼사시 (*Populus alba* × *glandulosa*; 65-22-4, 72-16, 72-17, 72-19, 72-30), 이태리포풀러

(*P. euramericana*, SanMartino, Eco28, I-476, V-211, V-435), 양황철 (*P. nigra* × *maximo-wiczii*; 62-1, 62-2, 62-7, 62-62, 63-82)의 1년 생 삼수를 사용하였다. 온실내에서 삼수의 길이를 약 20cm의 길이로 잘라 모래와 황토가 2 : 1(v : v)의 비율로 채워진 직경 20cm, 높이 70cm의 PVC column에 각각 1본씩 클론 당 5반복으로 삽목 후 일정 기간 동안 지하수로 관수하였다. 정상적인 활착이 이루어지고 맹아지 길이가 30cm 이상 자랐을 때인 5월 21일 40cm(D) × 70cm(W) × 20cm(H) 크기의 하나의 플라스틱 용기에 같은 클론의 column 5개를 수직으로 세워 3수종 전체 15클론을 처리별로 배치하였다. 이때 축산폐수 원액과 지하수를 용기 높이 약 10cm까지 채워 묘목이 column 배양토의 모세관을 통해 축산폐수와 지하수를 스스로 흡수하도록 하였다. 그후 매 15일 간격으로 줄어든 축산폐수와 지하수의 양을 매스실린더로 측정하여 흡수량을 추정하였다. 같은 방법으로 묘목 없이 배양토만으로 채워진 column이 5반복으로 배치된 용기에 축산폐수와 지하수를 처리하여 축산폐수와 지하수 각각의 자연 증발량을 추정한 다음 클론별 전체 흡수량에서 자연 증발량을 제한 나머지 값을 묘목에 의한 순수 흡수량으로 간주하였다. 본 실험에서 사용된 축산폐수는 인근 젖소 축산농가의 축사에서 배출되는 폐수를 사용하였으며 수질오염공정시험법(환경부, 1996)으로 분석한 축산폐수와 지하수의 화학적 성분은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical characteristics of livestock waste water and ground water used for the present study.

Treatment	pH	T-P	PO ₄ -P	TKN*	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N
		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
Livestock waste water	8.23	11.07	2.40	982.8	859.6	4.75	21.4
Ground water	6.79	0.14	0.08	1.96	1.26	ND	0.12

* TKN : Total Kjeldahl Nitrogen

2. 生육특성 조사

묘고는 축산폐수 처리 전 및 처리 후 매 15일 간격으로, 그리고 염수 및 염록소 함량은 처리 후 매 15일 간격으로 모두 조사하여 지하수를 처리한 대조구와 비교하였다. 묘고 생장량은 수확직후

측정한 묘고에 처리 전 측정한 묘고의 값을 제하여 처리기간 동안 생장한 양으로 산출하였다. 염록소 함량은 SPAD-502 meter (Minolta, Japan)로 개체 당 성숙잎 5개의 염록소 함량을 조사하였다. 처리 108일째인 9월 4일 클론당 1본씩 수확하여 Li-3100 Area Meter (Licor Inc.)를 이용하여 개체당 전체 염면적을 측정한 다음 잎, 줄기, 뿌리로 각각 분리하여 80°C의 dry oven에 2일간 건조시킨 후 부위별 전중량을 조사하였다.

3. 통계분석

2요인 완전임의배치법의 분산분석에 의해 처리간 및 수종간 차이를 비교하였고, 수종별 클론간 비교는 일원분산분석법에 의해 실시되었다. 컴퓨터 통계분석을 위해서는 MS Office 97, Excel 프로그램을 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 묘고 생장

실험기간동안 축산폐수 및 지하수 처리구의 묘고생장량은 처리후 30일째부터 수종간 및 처리간에 차이를 보이기 시작하여 처리 후 90일째인 8월 19일에는 고도의 유의성을 나타냈다 (처리 : $F_{1,14} = 12.20$; 수종 : $F_{2, 14} = 250.9$; 전체 $P < 0.01$). 축산폐수 처리구의 수종간 묘고생장 추이는 지하수 처리구와 유사하게 나타난 것으로 보아 이는 축산폐수 처리에 의한 효과가 아닌 수종 고유의 특성에 기인한 것으로 생각된다 (Figure 1). 아래 리포플러의 일부 클론은 처리 중반부부터 축산폐

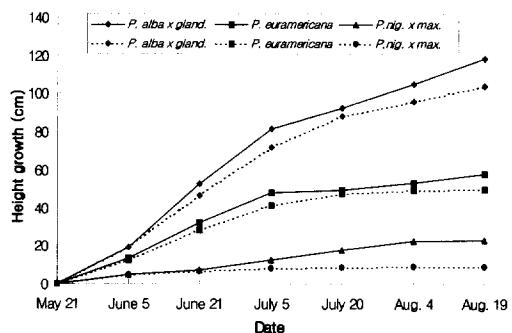


Figure 1. Temporal changes of the height growth of two month old rooted cuttings for 3 poplars under livestock waste water (solid lines) and ground water (dotted lines) treatments.

수로 인해 잎 가장자리가 갈변하면서 조기 낙엽되는 등의 피해를 보이며 생장이 둔화되다가 처리 후반부에는 다소 회복되는 추세를 보이기도 하였으며, 양황철도 이와 같은 피해 증상과 함께 처리 후반부에 생장이 둔화되는 경향을 보였다. 그러나 현사시는 다른 수종에 비해 축산폐수에 의한 별다른 피해증상이 나타나지 않았으며 생장량 증가 추세도 뚜렷하였다. 축산폐수 및 지하수 처리구의 묘고 생장량은 현사시, 이태리포풀러, 양황철의 순으로 높게 나타났으며 세 수종 모두 축산폐수 처리구가 지하수 처리구 보다 묘고 생장량이 우수한 경향을 보여 축산폐수의 주요 성분인 질소 및 인산 등이 다소 식물의 생장 촉진에 영향을 미친 것으로 생각된다.

Figure 2는 축산폐수 및 지하수 처리기간 중의 클론별 묘고 생장량을 나타낸 것으로 축산폐수 처리구에서 현사시를 제외한 두 수종은 클론간에 고도의 유의차를 보였고 (이태리포풀러 : $F_{1, 20}=7.0$; 양황철 : $F_{1, 20}=15.9$; 전체 $P<0.01$), 일부 클론의 경우 축산폐수의 피해로 인해 지하수 처리구 보다 생장이 감소하였다. 이러한 현상은 수종 및 품종에 따라 식물의 필수 영양소인 질소의 흡수 이용 기작이 다르고, 축산폐수에 포함된 고농도 질소의 과다 흡수에 의한 하나의 피해 증상으로 생각된다 (Seith 등, 1996; Shedley 등, 1995). 따라서 본 실험에서 사용된 포플러를 축산폐수 오

염지 복구를 위해 식재할 경우 현사시는 전체 5클론 모두 우수한 적응력을 보일 것으로 생각되지만 이태리포풀러와 양황철의 경우는 클론에 따라 적응력에 많은 차이가 있을 것으로 추정되어 이들 수종의 식재시 적응력이 우수한 클론을 선정하는 것이 정상적인 생장 증가와 함께 축산폐수 및 오염물질 흡수량도 증가할 것으로 추정된다. 전체 15개 클론의 묘고 생장량은 현사시 65-22-4호가 가장 우수하였고 양황철 62-7호가 가장 불량한 것으로 나타났다.

2. 엽 특성

개체당 전체 엽수는 수종 및 처리간에 큰 차이를 보였다 (처리 : $F_{1, 144}=6.84$; 수종 : $F_{2, 144}=71.59$; $P<0.01$). 엽 수는 현사시, 양황철, 이태리포풀러의 순으로 많았고 전체 수종 공히 축산폐수 처리구에서 지하수 처리구 보다 다소 적었다. Figure 3은 축산폐수 및 지하수 처리에 따른 클론별 엽수를 나타낸 것으로, 축산폐수 처리구 내 엽수는 현사시의 경우 클론간에 차이가 없었으나 이태리포풀러 및 양황철은 클론간에 고도의 유의차가 있었다 (이태리포풀러 : $F_{1, 20}=6.16$; 양황철 : $F_{1, 20}=5.67$; $P<0.01$). 전체 15클론 중 현사시 65-22-4호 및 72-30호의 엽수가 가장 많았고 이태리포풀러 SanMartino가 가장 적은 것으로 나타났다.

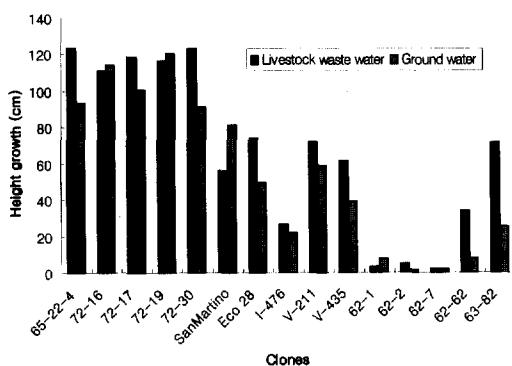


Figure 2. Height growth of two-month-old rooted-cuttings for 15 poplar clones under livestock waste water and ground water treatments. *P. alba* × *glandulosa* clones : 65-22-4, 72-16, 72-17, 72-19, 72-30; *P. euramericana* clones : SanMartino, Eco 28, I-476, V-211, V-435; *P. nigra* × *maximowiczii* clones : 62-1, 62-2, 62-7, 62-62, 63-82.

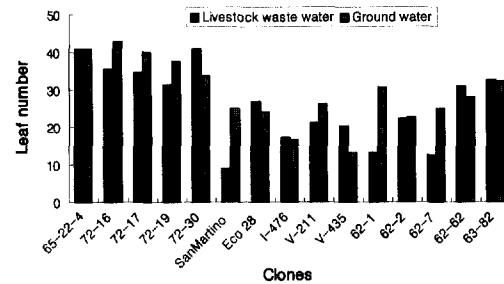


Figure 3. Number of leaves for 15 poplar clones under livestock waste water and ground water treatments. Clones correspond to those of Figure 2.

Figure 4는 수종별 5클론의 개체별 총 엽면적 평균을 나타낸 것으로 수종간에 큰 차이를 보였다 ($F_{2, 24}=19.09$; $P<0.01$). 처리간에는 통계적인 유의성을 인정할 수 없었지만 ($F_{1, 24}=4.18$; $P=0.052$) 현사시의 경우 축산폐수 처리구가 지하수

처리구에 비해 엽면적 생장의 증가가 관찰되었다 ($F_{1,4}=14.09$; $P<0.01$). 이는 축산폐수의 처리가 현사시의 엽면적 생장을 촉진시키는 효과를 가져다주는 것으로 생각된다. 수종별로는 현사시, 이태리포플러, 양황철의 순으로 높았고 특히 현사시의 경우 다른 수종에 비해 월등히 높은 결과를 보였다.

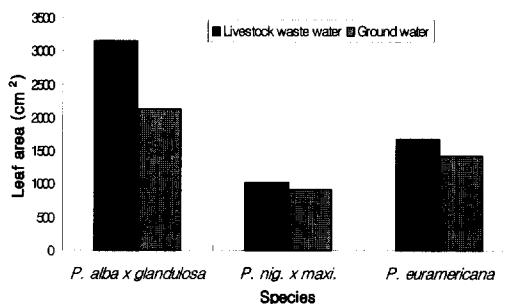


Figure 4. Leaf area of 3 poplars under livestock waste water and ground water treatments.

3. 엽록소 지수

잎으로부터의 엽록소 추출을 통한 분석방법 (Arnon, 1949)은 잎내의 엽록소 함량을 직접적으로 정량할 수 있어 보다 정확한 정보를 얻을 수 있지만 이를 위해 묘목의 잎을 제거할 경우 증산량 감소 및 스트레스를 초래할 수 있다. 본 실험에서는 이런 문제점을 방지하기 위해서 엽록소 함량 비교를 위해 SPAD-502의 지수를 사용하였다. 이 SPAD-502 지수의 엽록소 함량과의 직접적인 연관성과 이를 통한 비교분석 사례는 이미 여러 차례 보고된 바 있다 (우수영 등, 2001; 김종진과 홍성각, 1998). 엽록소 함량은 수종별 ($F_{2,144}=36.24$; $P<0.01$), 처리별 ($F_{1,144}=96.10$; $P<0.01$)로 고도의 유의차를 보였고 축산폐수 처리구가 지하수 처리구에 비해 엽록소 함량이 높아 축산폐수의 처리가 포플러 잎의 엽록소 함량을 증가시키는 것으로 추정된다. 축산폐수 처리구에서 이태리포플러는 클론별로 엽록소 함량의 차이가 나타났으나 ($F_{4,20}=8.77$; $P<0.01$), 나머지 2수종은 차이를 보이지 않았다 (Figure 5). 축산폐수 처리구의 클론별 엽록소 함량 순위는 지하수 처리구의 순위와 유사한 경향을 보여 클론별 엽록소 함량의 차이는 클론 고유의 특성에 기인한 것으로 생각된다. 수종별 엽록소 함량은 양황철, 현사시, 이태리포플러의 순으로 높게 나타났으나 양

황철의 묘고 생장은 3 수종 가운데 가장 낮은 것으로 조사되었고 각 클론별 엽록소 함량은 묘고 생장과 밀접한 연관성이 없었다. 이와 같은 결과로 볼 때 엽록소 함량을 통한 수종 및 클론간의 생장능력 평가는 다소의 문제점이 있을 것으로 생각된다. 축산폐수 처리구내 전체 15클론 중 현사시 72-16호 클론의 엽록소 함량이 가장 높았고 이태리포플러 SanMartino 클론이 가장 낮은 것으로 조사되었다.

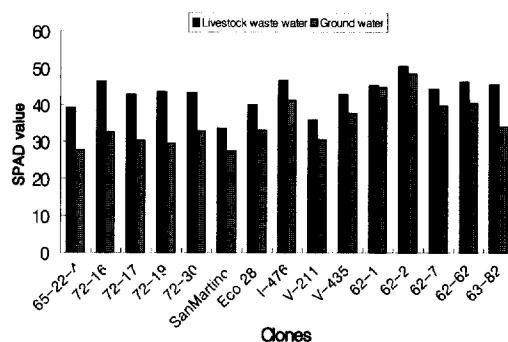


Figure 5. Chlorophyll contents of 3 poplars under livestock waste water and ground water treatments. Clones correspond to those of Figure 2.

4. 건물질 생산량

실험 종료 후 수확한 포플러 3수종의 평균 건중량은 축산폐수 및 지하수 처리구에서 현사시, 이태리포플러, 양황철의 순으로 높았다 (Figure 6). 잎과 줄기의 건중량을 합한 shoot의 건중량은 수종간에 큰 차이를 보였다 ($F_{2,24}=17.90$; $P<0.01$). 처리간에는 통계적 차이가 없었지만 3수종 모두 축산폐수 처리구가 지하수 처리구에 비해 다소 높은 경향을 보였다. 뿌리의 건중량은 처리간에 고도의 유의차를 나타냈고 ($F_{2,24}=13.86$; $P<0.01$), 축산폐수 처리구의 뿌리의 건중량은 지하수 처리구에 비해 감소하였으나 수종간에는 차이를 보이지 않았다. 이와 같은 결과는 축산폐수 주 성분중의 하나인 질소가 (Table 1) 포플러류의 shoot 생장을 촉진하고 뿌리의 생장을 감소시키는 것으로 생각되며, 이는 Seith (1996) 등이 3년생 독일가문비에 대해 7개월 동안 무기태 질소 (NH_4NO_3)를 처리하였을 때 shoot 수 및 shoot 건중량 증가 및 뿌리의 건중량을 감소시키는 것과 유사한 경향을 보였다. 고농도의 무기태 질소는 지상부의

biomass를 증가시키지만 일부 양이온의 흡수를 저해하여 전체적으로 수세를 약화시킬 수 있는 부정적인 요소도 있으므로 (Seith, 1996) 축산폐수 유출지 혹은 축산폐수 오염지에 포플러를 식재하여 장기적인 축산폐수 공급을 통한 포플러의 생육 상황을 계속적으로 관찰할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

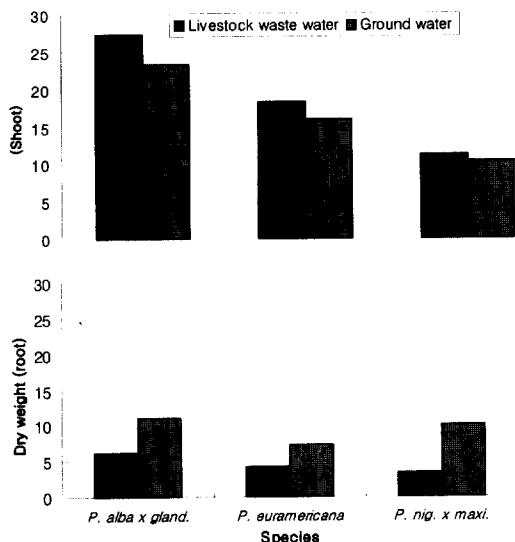


Figure 6. Dry weight (g) of shoot and root in 3 poplars under livestock waste water and ground water treatments.

5. 축산폐수 흡수량

포플러류의 시기별 축산폐수 흡수량은 양황철을 제외하고는 실험 초기에는 지하수에 비해 다소 우수한 경향을 보였으나 후반부로 갈수록 지하수 흡수량에 비해 현저히 감소하는 경향을 보였다 (Figure 7). 또한 흡수량은 생장량 증가와 함께 서서히 증가하는 경향을 보이다가 대기 조건이 습한 장마기에 접어들면서 감소하였다. 그후 묘목의 2차 생장이 시작되면서 다시 증가하였으나 8월 중순 이후 식물 생장 정지기에 접어들면서 실험 종료일인 9월 4일에는 다시 감소하는 경향을 보였다. 축산폐수의 수종별 흡수량은 처리 초기에는 이태리포플러가 다른 수종에 비해 많았으나 처리 개시 약 1개월 이후부터 축산폐수에 의한 일부 잎의 갈변 및 조기낙엽 등과 같은 가지적 피해의 발생과 동시에 흡수량도 점차 감소하는 경향을 보인 반면 처리 후반부에서는 축산폐수에 대해 상대적으로 적응력이 우수한 현사시의 흡수량이 많은 것

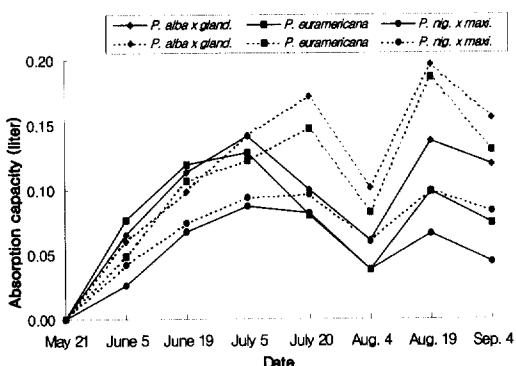


Figure 7. Temporal changes of the absorption capacity of 3 poplars under livestock waste water (solid lines) and ground water (dotted lines) treatments.

으로 나타났다. 양황철은 축산폐수에 대한 피해가 비교적 심하였고 흡수량도 다른 수종에 비해 가장 적은 것으로 나타났다. 구 등 (1998)의 쓰레기매립지 침출수 흡수실험에서 50% 회석액 처리 시 침출수 흡수량이 이태리포플러, 현사시, 양황철의 순으로 우수하던 것이 원액을 처리하였을 때 침출수에 대한 적응력이 우수한 현사시의 흡수량이 가장 많았다. 또한 포플러류 삽목 당년생의 쓰레기매립지 침출수 원액 처리에서도 현사시의 흡수량이 가장 많았다 (구영본 등, 1999). 이러한 결과는 어떤 스트레스가 없는 정상적인 환경조건 하에서 이태리포플러의 수분 흡수력은 다른 수종에 비해 우수하지만 고농도 질소 및 중금속 등의 오염물질이 함유된 폐수의 처리시 상대적으로 적응능력이 뛰어난 현사시류의 흡수능력이 우수하였던 것으로 보아 축산농가 주변의 축산폐수 유출 저감 및 오염토양 정화를 위해서는 현사시를 식재하는 것이 보다 나은 결과를 보일 것으로 생각된다. 축산폐수 처리구의 클론별 흡수능력은 현사시류의 클론들이 비교적 우수하고 클론간 차이가 적은 반면 이태리포플러와 양황철은 클론에 따라 흡수능력에 많은 차이를 보였다 (Figure 8).

처리기간 (105일) 동안 클론별 축산폐수 총 흡수량은 이태리포플러 Eco 28호를 제외한 모든 클론에서 비교로 판수한 지하수의 흡수량보다 적은 경향을 나타냈다. 비교적 축산폐수에 의한 피해가 나타나지 않은 현사시류의 클론들이 총 흡수량에서 우수하였고 이와는 반대로 축산폐수에 의한 피해를 나타낸 양황철 클론들이 흡수량 또한 저조한 경향을 보였다. 전체 15개 클론 중 72-16호 및 이

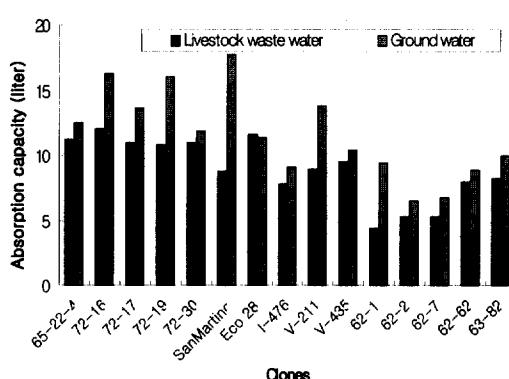


Figure 8. Total absorption capacity of 15 poplar clones for 3 months under livestock waste water and ground water treatments. Clones correspond to those of Figure 2.

태리포풀러 Eco28호 클론이 처리기간동안 약 12.0 l 와 11.6 l 의 축산폐수를 각각 흡수하여 가장 우수하였고, 양황철 62-1호 클론이 약 4.4 l 를 흡수하여 가장 낮은 경향을 보였다. 이태리포풀러 SanMartino 클론은 지하수 흡수량이 모든 클론중 가장 많았으나 축산폐수 처리구에서는 축산폐수의 피해로 인해 다른 클론에 비해 좋은 결과를 나타내지는 못했다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 본 연구에서 사용된 현사시류의 모든 클론들과 이태리포풀러의 Eco28호 클론이 다른 클론에 비해 축산폐수에 대한 내성 및 흡수능력이 비교적 우수할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

1. 구영본 · 김인식 · 여진기 · 이상현 · 주창한. 1999. 속성수를 이용한 쓰레기매립지 침출수 및 오염도양의 정화. 포플러 16 : 26-36
2. 구영본 · 노의래 · 우수영 · 이성규. 1988. 포플러를 이용한 쓰레기매립지의 녹화 및 침출수 처리. 포플러 15 : 19-29
3. 김종진 · 홍성각. 1998. 자작나무 컨테이너묘의 경화단계생장에 미치는 UV-B와 수분 스트레스의 효과. 한국임학회지 87(4) : 601-610
4. 양운진. 1997. 환경식물학. 동화기술. 250p
5. 우수영 · 이동섭 · 김동근 · 김판기. 2001. 생활쓰레기매립지 침출수가 이태리포풀러와 자작나무 묘목에 미치는 영향(II). 한국임학회지 90(1) : 55-63
6. 환경부. 1996. 수질오염 공정시험방법. 환경부 고시 제 96-32호
7. 환경부. 1998. 환경백서 622 p
8. Ackerman, E.O. and A.G. Taylor. 1995. Stream Impacts due to Feedlot Runoff. In : Steele, K. (Ed.), Animal Waste and the Land-Water Interface, Lewis Publishers, Boca Raton, London, pp. 119-125
9. Andres, A.S. 1995. Nitrate Loss via Ground Water Flow, Coastal Sussex County, Delaware, Animal Waste and the Land-Water Interface. In : Steele, K. (Ed.), Animal Waste and the Land-Water Interface, Lewis Publishers, Boca Raton, London, pp. 69-76
10. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24 : 1-15
11. Cunningham, S.D., W.R. Berti and J.W. Huang. 1995. Phytoremediation of contaminated soils. Trends Biotechnology 13 : 393-397
12. 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. RM-GTR-297
13. Dushenkov, V., P.B.A.N. Kumar, H. Motto and I. Raskin. 1995. Rhizofiltration : The use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. Environmental Science and Technology 29(5) : 1239-1245
14. Greger, M. and T. Landberg. 1999. Use of willow in phytoextraction. International Journal of Phytoremediation. Vol. 1 : 115-123
15. Kramer, P.J. and T.T. Kozlowski. 1979. Physiology of Woody Plants. Academic Press Inc. 811p
16. Kumar, P.B.A.N., V. Dushenkov, H. Motto and I. Raskin. 1995. Phytoextraction - the use of plants to remove heavy metals from soils. Environmental Science & Technology 29 : 1232-1238
17. Madison, M.F. and L.A. Licht. 1994. Land application on poplar trees with the Ecolotree

- BufferTM. "Broadening Our Perspectives" Pacific Northwest Pollution Control Association 1994 Annual Conference, Spokane, WA
18. Salt, D.E., M. Blaylock, N.P.B.A. Kumar, V. Dushenkov, B.D. Ensley, I. Chet and I. Raskin. 1995. Phytoremediation : A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. Bio/Technology 13 : 468-474
19. Seith, B., E. George, H. Marschner, T. Wallenda, C. Schaeffer, W. Einig, A. Winger and R. Hampp. 1996. Effects of varied soil nitrogen supply on Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.). Plant and Soil 184 : 291-298
20. Shedley, E., B. Dell and T. Grove. 1995. Diagnosis of nitrogen deficiency and toxicity of *Eucalyptus globulus* seedlings by foliar analysis. Plant and Soil 177 : 183-189
21. Sims, J.T. 1995. Characteristics of animal wastes and waste-amended soils : an overview of the agricultural and environmental issues. In : Steele, K. (Ed.), Animal Waste and the Land-Water Interface, Lewis Publishers, Boca Raton, London, pp.1-13
22. 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. Environmental Technology 19 : 749-754