

## 돈분침출수 처리에 의한 이태리포플러와 현사시나무의 생리적 특성 및 항산화효소 활성

제선미<sup>1</sup> · 우수영<sup>2\*</sup> · 구영본<sup>3</sup> · 우관수<sup>3</sup> · 여진기<sup>3</sup> · 양수진<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 산림환경부, <sup>2</sup>서울시립대학교 환경원예학과,  
<sup>3</sup>국립산림과학원 산림유전자원부

### Physiological Characteristics and Antioxidant Enzyme Activity of *Populus euramericana* and *Populus alba* × *Populus glandulosa* under Livestock Waste Leachate Treatment

Sun Mi Je<sup>1</sup>, Su Young Woo<sup>2\*</sup>, Yeong Bon Koo<sup>3</sup>, Kwan Soo Woo<sup>3</sup>,  
Jin Ki Yeo<sup>3</sup> and Soo Zin Ryang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Forest Environment, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

<sup>2</sup>Department of Environmental Horticulture, University of Seoul, Seoul 130-143, Korea

<sup>3</sup>Department of Forest Genetic Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-350, Korea

**요 약:** 이태리 포플러와 현사시를 대상으로 야외에서 돈분침출수를 관수하고 광합성특성, 엽록소함량, 증산량, 세포 내 이산화탄소농도, ascorbate peroxidase, glutathione reductase 효소의 활성을 조사, 분석하였다. 이태리 포플러의 경우 엽록소 함량, 광합성률, 증산률, 기공전도도, 엽육세포내 CO<sub>2</sub> 농도가 돈분침출수 처리구가 대조구에 비해 높은 경향을 보였다. 또한 현사시의 엽록소 함량은 돈분처리구에서 대조구와 비슷하였지만 광합성률과 증산률, 기공전도도가 돈분침출수 처리구에서 대조구에 비해 약간 감소하는 경향을 보였다. 이로 미루어 이태리포플러를 돈분침출수가 유출되는 지역의 phytoremediation으로 활용하면 좋을 것으로 판단된다.

**Abstract:** We examined two *Populus* species (*Populus euramericana* and *Populus alba* × *Populus glandulosa*) trees grown under livestock waste leachate treatment in the field. We investigated their physiological properties (photosynthetic rate, chlorophyll contents, transpiration rate and intercellular CO<sub>2</sub> concentration) and antioxidant enzyme activities. Ascorbate peroxidase and glutathione reductase were analyzed. According to our measurements, *P. euramericana* at control site showed a lower total chlorophyll contents, photosynthetic rate, intercellular CO<sub>2</sub> concentration, transpiration and stomatal conductance than those of trees at treatment site. *P. alba* × *P. glandulosa* showed low stomatal conductance and low photosynthetic rate.

**Keywords :** Chlorophyll contents, livestock waste leachate, photosynthetic rate, *Populus euramericana*, *P. alba* × *P. glandulosa*, transpiration rate

## 서 론

축산분뇨가 토양으로 집적되면 생태계의 부하를 가져올 수 있으며, 지하수 오염의 원인이 될 수 있다. 또한 탈질소 반응으로 인한 대기 중의 질소농도 증가로 적외선의 흡수를 도와 온실가스를 증대시키거나 광화학 반응을 통해 오존과 같은 대기 오염물질을 발생시킬 수 있다(Fujino et al., 2005). 그러나 축산분뇨의 주요 성분인 질소, 인, 칼

륨은 식물체의 필수 영양소로서 축산분뇨의 적절량 시비는 식물의 생장을 도와 줄 뿐만 아니라 토양의 미생물체량을 증대시키는 등(원향연 등, 2004), 땅을 비옥하게 할 수 있다. 식물의 엽내 질소함량은 광합성능력과 카르복실화 능력(carboxylation capacity), 전자전달물과 같은 광합성과 관계하는 주요 요소들과 밀접하게 관련되어 있다. 또한, 엽내 질소의 반 이상은 광합성을 하는데 필요한 단백질로 배분되어 짐으로써(Makino and Osmond, 1991), 축산분뇨의 가장 많은 부분을 차지하고 있는 질소는 식물의 생장에 중요한 인자가 된다. 질소결핍과 관련된 식물의 생

\*Corresponding author  
E-mail: wsy@uos.ac.kr

리적인 반응들은 이미 여러 연구들을 통해 엽면적과 엽내 질소함량의 감소, 낮은 기공전도도 그리고 광합성률을 감소시키는 것으로 나타났다(Zhao *et al.*, 2005; Maranville and Madhavan, 2002). 그러나 고농도의 질소 집적 또한 식물에게 환경스트레스를 줄 수 있는 것의 하나로 간주된다. 질소가 적정 요구량보다 초과되어 공급될 경우, 토양의 산성화를 가져올 수 있거나, 또는 식물의 질소 수준의 불균형으로 인하여 수종의 성장과 생리적 감소를 초래할 수 있다(Nakaji and Izuta, 2001). 질소 공급의 결핍이나 과잉은 식물에 피해를 줄 수 있지만 적절한 양의 질소공급은 식물의 생리적인 활동을 극대화시킬 수 있다. 이러한 관점에서 돈분침출수의 비료료써의 사용은 축산농가의 돈분침출수처리로 인한 정화시설비의 경제적 부담을 절감시키고, 비교적 간단한 방법으로 자원을 재활용할 수 있는 이점이 있다. 이에 다양한 환경에 쉽게 적응하고 생장이 빠르며, 높은 증산량으로 오염물질을 흡수하고 분해하는 능력이 뛰어난 포플러 수종 중 *Populus euramericana*와 *Populus alba* × *Populus glandulosa*의 축산분뇨 처리 시 생리적인 특징 비교를 통하여 돈분침출수의 액비로서의 가능성뿐만 아니라(여진기 등, 2002; 2003), 축산분뇨로 인한 오염지의 phytoremediation의 가능성을 생각해 볼 수 있다. 구영분 등(2002)에 의하면 쓰레기 매립지에 적응력이 강한 품종을 선발하기 위해 포플러류를 식재하였을 때, 현사시가 생존율 69%로 가장 우수하였고, 이태리 포플러의 경우 43%생존율을 보였다. 마찬가지로 여진기 등(2002)에서 현사시 클론들이 축산분뇨처리에 대한 내성이 비교적 높은 것으로 나타났다. 이를 통하여 현사시가 다른 포플러류에 비하여 축산분뇨처리에 대한 적응성이 높음을 알 수 있다. 그러나 실내의 실험 연구결과를 야외조건에 적용하는 것은 많은 환경요인을 고려해야한다. 여진기 등(2003)은 3년 동안 젓소 사육장의 분뇨폐액을 야외 시험림의 세 가지 포플러류에 처리하였는데, 그 중 현사시 수종이 가장 성장량이 좋은 것으로 나타나 현사시 수종을 축산폐수 흡수-제거용 정화림으로의 긍정적인 활용가능성을 제시한 바 있다. 본 실험은 야외에서 현사시와 이태리 포플러를 대상으로 돈분침출수처리 할 경우 두 수종의 생리적인 차이점을 밝히는데 목적이 있다.

### 재료 및 방법

#### 1. 공시재료 및 침출수처리

수원에 위치한 국립산림과학원 유전자원부 야외 실험구 총 494m<sup>2</sup>(19m×26m)에 2003년에 1년생 삼목묘로 식재된 *Populus euramericana*와 *Populus alba* × *Populus glandulosa* 를 대상으로 2003년부터 4년 동안 양돈분뇨

침출수 원액을 처리하였다. 각 수종은 1열 당 11본씩 3열 33본을 2개 반복을 두어 총 132본을 식재하였다. 본 실험은 2006년 잎이 성장하기 시작하는 5월부터 수목의 성장능력이 감소하는 시기인 9월까지 한달에 한번씩 주기적으로 조사하였다. 본 실험구는 중간의 길 양옆으로 침출수 처리구와 대조구 그리고 각각의 처리구와 대조구 안에 *Populus euramericana*와 *Populus alba* × *Populus glandulosa*를 각 구역마다 서로 다른 위치로 식재하여 풍향이나 풍속, 또는 토양성분의 차이와 같은 입지조건에 따른 환경적 차이를 최소화하였다. 침출수 3,000L를 탱크에 저장하여 우천시를 제외하고 표토가 건조해 질 때마다 매일 또는 수일 간격으로 한 나무 당 10L씩 지속적으로 침출수 원액을 처리하였으며, 대조구의 경우 지하수를 다른 탱크에 저장하여 양돈분뇨 침출수 처리와 동일하게 지속적으로 처리하였다(Figure 1).

#### 2. 엽록소 함량

실험구에서 수종 당 3그룹에서 무작위로 3개의 잎을 샘플링하여 잎을 80% 아세톤 용액에 넣어 추출한 후, spectrophotometer(UV/Visible Diode Array, Walden Precision-UK)를 사용하여 파장 663 nm와 645 nm에서 측정하여 다음의 식으로 환산(Arnon, 1949) 하였다.

$$\text{Chlorophyll a} = 12.7 A_{663} - 2.69 A_{645}$$

$$\text{Chlorophyll b} = 22.9 A_{645} - 4.68 A_{663}$$

$$\text{Total Chlorophyll}(a + b) = 20.29 A_{645} + 8.02 A_{663}$$

#### 3. 광합성율

처리구당 3그룹을 임의로 선정하였다. 각 수종의 광합성능력(Net photosynthesis rate; An), 기공증산속도(stomatal transpiration rate; E), 기공전도도(stomatal conductance; gH<sub>2</sub>O), 엽육 세포내 CO<sub>2</sub>농도는 Licor-6400 Portable

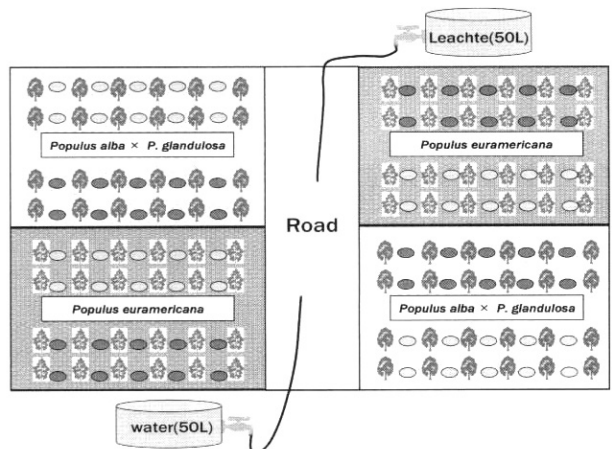


Figure 1. Experimental design in this study.

Photosynthesis System(Li-cor Inc., USA)을 이용하여 측정하였다. 이때 leaf chamber에 유입되는 공기의 유량은  $500 \mu\text{mol s}^{-1}$  이며, Chamber 온도는  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{CO}_2$  농도는  $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$  습도는 40-50% RH로 조절하였다. 순광합성 능력은 광도를PPFD 0, 50, 100, 300, 500, 800, 1000, 1500, 2000  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 변화를 주어 Light curve를 그려 각 지점의 광합성 특성을 비교하였다.

4. 수분이용효율

수목의 수분이용효율은 광합성능력/증산량(Ashraf *et al.*, 2002; 재선미 등, 2006)으로 계산하였다. 수분이용효율의 계산에 사용한 광합성능력과 증산량은  $1,000 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  광도에서 Licor-6400 Portable Photosynthesis System (Li-cor Inc., USA)을 이용하여 측정하였다.

$$\text{WUE} = \text{Pn}/\text{Tr}$$

WUE : 수분이용효율 ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ )

Pn : 광합성 속도 ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )

Tr : 증산속도 ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )

5. 항산화 효소활성 분석

Ascorbate peroxidase(APX)의 활성분석은 잎 단편 0.2 g에 1M 아스코르빈산(AsA)과 pH가 7.4로 보정된 100 mM 인산칼륨 완충액(K-P buffer)을 함유한 추출용액 2 mL를 가하여 균질화하였다. 이를 16,000 rpm에서 30분간 원심분리한 후 추출액 60  $\mu\text{L}$ 를 취하여 반응액[ $\text{H}_2\text{O}$  2.34 mL, 1M K-P buffer(pH 6.5) 300  $\mu\text{L}$ , 10 mM AsA 180  $\mu\text{L}$ , 5 mM  $\text{H}_2\text{O}_2$  120  $\mu\text{L}$ ]과 잘 혼합한 후 UV spectrophotometer(UV-2100, Shimadzu, Japan)를 사용하여 파장 290 nm에서  $\text{H}_2\text{O}_2$ 에 의한 30초간의 아스코르빈산 산화도(extinction coefficient of  $2.8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ )를 측정하였다. Glutathione reductase(GR)의 활성 분석은 잎 0.15 g을 취한 후 추출용액(50 mM K-P buffer, 5% PVP, 5 mM AsA,

5 mM DTT, 5 mM EDTA, 0.1M NaCl 함유)을 2 mL 가하여 균질화하였다. 12,000 rpm에서 5분간 원심분리한 후 상정액 150  $\mu\text{L}$ 를 취하여 반응액[ $\text{H}_2\text{O}$  2.43 mL, 1M K-P buffer(pH7.8) 300  $\mu\text{L}$ , 10 mM GSSG 60  $\mu\text{L}$ , 10 mM NADPH 60  $\mu\text{L}$ ]과 혼합하였다. 이때의 산화·환원 반응을 파장 340 nm에서 90초간의 흡광도 변화로 측정하였다(extinction coefficient of  $6.2 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ). 모든 효소활성은 단백질 1 mg을 기준으로 산정하였으며, 단백질 정량은 Bradford(1976)가 기술한 바와 같이 Bio-Rad Protein assay (Bio-Rad Laboratories, U.S.A) 5배 희석액에 엽 추출액을 100:1로 가하여 반응시킨 후 파장 595 nm에서의 흡광도를 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 엽록소 함량

돈분침출수 처리로 인한 엽록소 함량은 계절적 차이가 가장 뚜렷하게 나타났는데( $P < 0.001$ ) 두 수종 모두 6, 7월에 높은 엽록소 함량을 보이는 반면 8월과 9월, 생육이 접어드는 시기로 가면서 점차 엽록소 함량이 감소하는 경향이 나타났다. 이태리 포플러의 경우 돈분침출수 처리구에서 더 높은 엽록소 함량 값을 보였지만 현사시의 경우 처리구와 대조구간의 엽록소 함량 값의 차이가 크지 않았다. 두 수종간의 엽록소 함량의 차이는 이태리 포플러에 비해 현사시가 비교적 높은 엽록소 함량을 가지는 것이 나타났다( $P \leq 0.05$ )(Figure 2).

엽내 질소 함량과 엽록소 함량은 식물의 N status를 판별할 수 있는 중요한 생리적 변수이다. 풍부한 엽내 질소 함량은 일반적으로 토양의 N status에 근거할 수 있으며, 엽내 질소함량과 엽록소 함량은 선형적인 관계를 가진다(Zhao *et al.*, 2005). 이태리 포플러의 경우 고농도의 침출수 처리에 있어서 현사시 수종에 비해 엽록소 함량에 있어 질소 의존적인 경향이 있음을 알 수 있다.

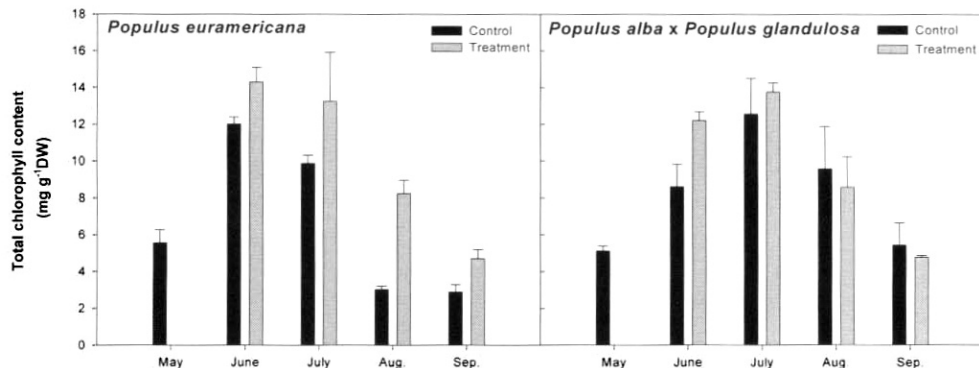


Figure 2. Total Chlorophyll contents in leaves of *Populus euramericana* and *Populus alba* × *Populus glandulosa* grown in different treatment. Values are means (±SD) of three measurements.

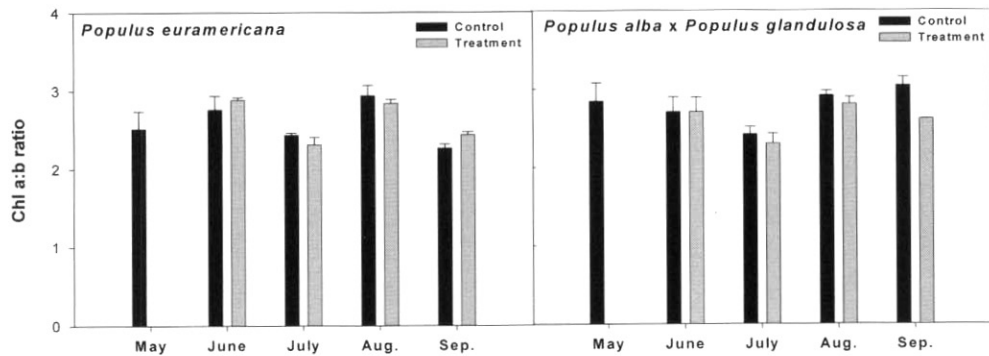


Figure 3. Rate of chlorophyll a and b in leaves of *Populus euramericana* and *Populus alba* × *Populus glandulosa* grown in different treatment, Values are means (± SD) of three measurements.

있으므로 흡수되는 빛 에너지는 광계에서 광화학적 작용을 하는 엽록소 광수확복합체(LHC-Light-harvesting complex)에 의해 흡수되는데, 이것은 엽록소 a:b의 비율로 추정될 수 있다(Boardman, 1977). 총 엽록소 함량이 계절적 변화를 뚜렷하게 나타냈던 것에 비해 엽록소 a:b의 비율의 계절적 차이는 크게 나타나지 않았다. 또한 이태리 포플러의 경우 총 엽록소 함량의 값이 침출수 처리구에서 두드러지게 높게 나타난 것에 비해 두 수종 모두 엽록소 a:b의 비율은 처리간의 차이는 나타나지 않았으며, 두 수종 모두 비슷한 값을 보였다(n.s). 광계의 빛 흡수 능력은 두 수종 간 또는 처리 간 차이가 거의 없음을 알 수 있다(Figure 3).

2. 광합성율

총엽록소 함량이 이태리 포플러의 경우 돈분침출수 처리구에서 더 높았던 것과 관련하여(Figure 2), 이태리 포플러의 광합성율이 돈분침출수 처리구에서 더 높은 경향이 나타났지만 그 차이는 크지 않았다. 한편 현사시의 경우 반대로 대조구에 비해 돈분침출수 처리구가 현저히 낮은 광합성율을 보였는데 특히 그 차이는 9월에 더욱 크게 나타났다(Figure 4).

3. 기공 조절작용(증산율, 수분이용효율, 기공전도도, 엽육 세포내 CO<sub>2</sub> 농도)

현사시의 침출수처리구와 대조구 간의 차이는 이태리 포플러에 비해 크게 나타났다. 그래프에 나타나지 않았지만 7월의 현사시 경우 대조구의 증산율이 침출수 처리구의 증산율에 비해 뚜렷하게 높은 값을 나타냈으며 9월에 접어들면서 대조구의 증산율은 더 높아지고, 침출수 처리구의 증산율은 더 낮게 나타났다(Figure 5A). 이와 반대로 이태리포플러의 경우 침출수처리구의 증산율이 대조구에 비해 높게 나타나는 경향을 나타냈으며, 마찬가지로 그래프에 나타나지 않았지만 7월의 증산율과 그리고 Figure 5A의 9월 증산율의 차이는 현사시에 비해 크지 않았다. 전체적인 증산율의 경향은 광합성률의 변화

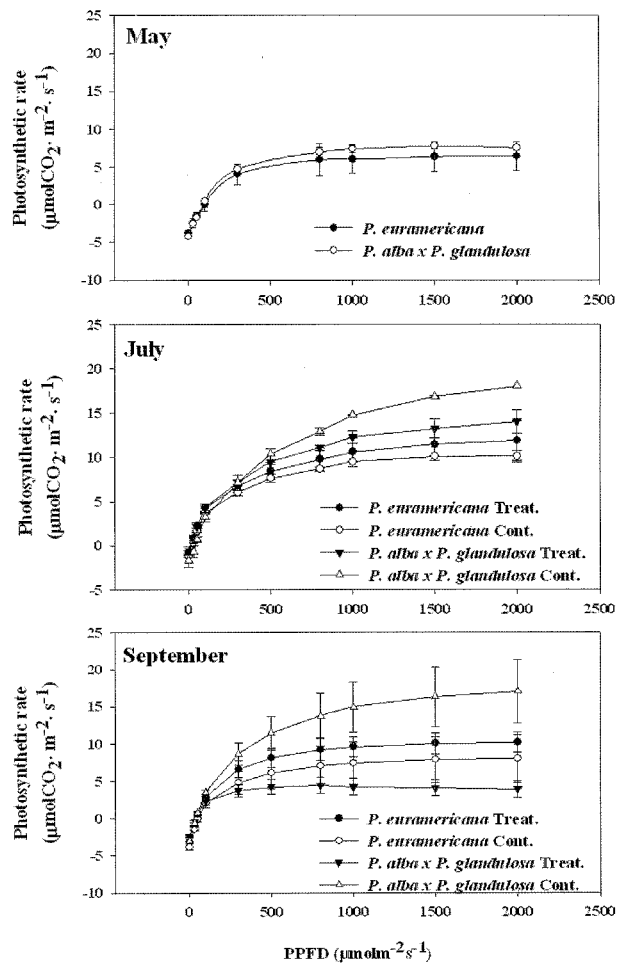


Figure 4. Light response curves of photosynthetic rate in leaves of *Populus euramericana* and *Populus alba* × *Populus glandulosa* grown in non-treatment (control) and treatment of livestock leachate (treatment). Values are means (±SD) of three measurements. (—○—: *P. euramericana* Cont., —●—: *P. euramericana* Treat., —△—: *P. alba* × *P. glandulosa* Cont., —▼—: *P. alba* × *P. glandulosa* Treat.).

와 같은 결과가 나타났다. 현사시의 포플러의 수분이용효율은 두 수종 간 차이나 처리 간 차이가 크게 나타나지 않았다(Figure 5C).

본 실험에서 나타난 수분이용효율의 결과를 통해 보았

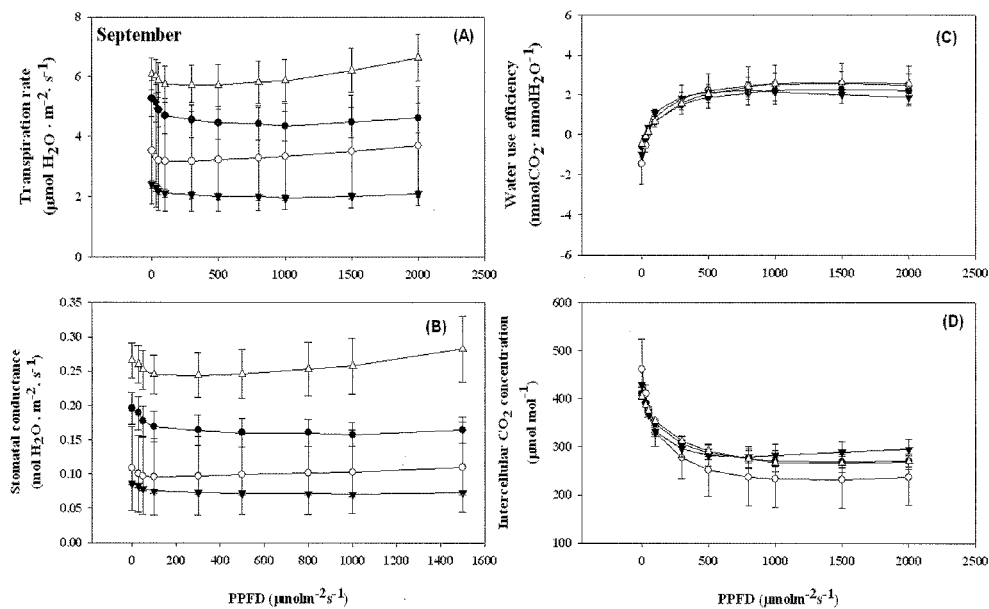


Figure 5. Light response curves of transpiration(A), stomatal conductance(B), Water use efficiency(C) and intercellular CO<sub>2</sub> concentration(D) in leaves of *Populus euramericana* and *Populus alba* × *Populus glandulosa* grown in non-treatment (control) and treatment of livestock leachate on September. Values are means (±SD) of three measurements. (—○—: *P. euramericana* Cont., —●—: *P. euramericana* Treat., —△—: *P. alba* × *P. glandulosa* Cont., —▼—: *P. alba* × *P. glandulosa* Treat.).

을 때 광합성률의 감소는 기공전도도와 밀접한 관련이 있는 것으로 추정된다. 마찬가지로 Figure 5B는 증산률과 광합성률의 결과와 밀접한 관련성을 보였다. 이태리 포플러의 침출수처리구에서 대조구에 비해 높은 기공전도도가 나타났으며, 현사시의 경우는 이와 반대로 침출수처리구에서 오히려 대조구에 비해 낮은 기공전도도를 나타내며 그 차이 또한 크게 나타남을 알 수 있다.

기공의 움직임은 일반적으로 잎에서 엽내 CO<sub>2</sub> 농도와 외부 CO<sub>2</sub> 농도차이에 따라 유지한다고 알려져 있다. Zhao *et al.*(2005)와 Maranville와 Madhavan(2002)에 의하면 질소가 부족한 식물이 질소가 충분한 조건에서 생육한 식물에 비해 기공전도도가 감소하여 이것이 엽육 세포내 CO<sub>2</sub> 농도의 감소를 가져와 결국 엽내 광합성률 감소를 초래하였다. 본 실험결과를 통해 볼 때, 이태리 포플러의 대조구에서 침출수처리구에 비해 낮은 엽육세포내 CO<sub>2</sub> 농도는 낮은 기공전도도를 관찰할 수 있었다. 현사시의 경우 침출수처리구의 엽육 세포내 CO<sub>2</sub>의 농도 차이가 거의 없었는데(Figure 5D), 이태리 포플러와 반대로 침출수 처리구에서 오히려 낮은 기공전도도를 나타낸 것으로 미루어 현사시 수종에 있어 돈분침출수 처리가 고농도의 질소 집적 피해를 가져온 것으로 짐작된다(Nakaji and Izuta, 2001).

같은 농도의 돈분침출수 처리에서 두 수종간의 다른 생리적 반응 차이는 질소이용효율의 차이로 이해할 수 있다. 엽내 질소 함량은 잎의 광합성능력에 있어 중요한 결정인자로 간주되지만, 질소함량과 광합성률이 엽면적을 근간으로 대등하게 구상되어 질 때, 그 회귀식의 기울기는 수종마다 다를 수 있다(Field and Mooney 1986). 여러 연구

결과들을 통해 볼 때 낮은 광합성 질소이용효율(PNUE: photosynthetic capacity per unit leaf nitrogen)을 가지는 수종들은 엽록체에 낮은 CO<sub>2</sub> 농도를 가지고 있으며, 광합성 기구로 엽내 질소의 적은 이동을 보고 한 바 있다 (Lloyd *et al.*, 1992; Hikosaka *et al.*, 1998). 비록 본 실험에서 두 수종의 PNUE를 조사하지는 못했지만, 돈분침출수 처리에 따른 다른 생리적 반응은 그들의 PNUE의 차이에 기인하는 것으로 짐작할 수 있다. 질소의 결핍이나 과잉시의 기공전도도 감소 결과는 서로 다른 기작에서 비롯될 수 있다. 질소 결핍의 경우 형태학적으로 기공의 수나 기공의 형태변화로 인한 기공전도도의 감소 또는 광합성기구의 질소공급부족으로 관련 효소나 기구의 활동 감소로 인해 증가하는 CO<sub>2</sub> 분압으로 인한 기공전도도의 감소를 생각해 볼 수 있다. 질소 과잉의 경우, 침출수 처리에서 기공전도도가 확연하게 감소하였지만 두 처리구간의 비슷한 CO<sub>2</sub> 분압의 결과는 CO<sub>2</sub> 농도에 따른 광합성률의 변화 곡선(A-Ci curve)의 조사를 통해 광합성기구의 변화를 좀 더 조사해 볼 필요가 있다.

#### 4. 항산화효소 활성

APX(ascorbate peroxidase)와 GR(glutathione reductase)은 ascorbate-glutathione cycle 상에서 각각 높은 독성을 가진 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)를 물(H<sub>2</sub>O)로 해독하고, 전자공여체(NADPH)로부터 전자를 받아 환원제(ascorbate)를 재생하여 활성산소종을 제거하는 역할을 한다(Inze and van Montagu, 2002).

항산화 효소 APX의 활성은 두 수종 모두 9월로 접어들

**Table 1. APX and GR activities in leaves of each species grown in different treatment. Values are means of three measurements.**

Antioxidant enzymes ( $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ protein)	Treat.	<i>Populus euramericana</i>					<i>Populus alba</i> $\times$ <i>Populus glandulosa</i>				
		May*	June	July	Aug.	Sep.	May*	June	July	Aug.	Sep.
APX activity	Cont.	0.044	0.124	0.094	0.330	0.263	0.052	0.066	0.013	0.084	0.09
	Treat.		0.028	0.040	0.461	0.262		0.058	0.012	0.075	0.087
GR activity	Cont.	0.383	0.723	0.405	0.995	1.655	2.710	0.631	0.047	2.835	2.337
	Treat.		0.367	0.367	1.610	2.066		0.735	0.148	2.952	2.431

\*Before the period of treatment of livestock leachate

면서 증가하는 경향이 나타났으며( $P < 0.05$ ), 현사시가 이태리 포플러에 비해 높게 나타났다( $P < 0.05$ ). 항산화 효소 GR의 활성 역시 APX과 마찬가지로 8월과 9월로 접어들면서 활성이 조금 증가하는 경향이 있었으며( $P < 0.05$ ), 처리 간의 차이는 크게 나타나지 않았다(Table 1). 전자 전달계의 Rubisco 활성률이 감소되면, 그 결과 엽록체에서 산소의 광환원이 증가되고(Inze and van Montagu, 2002), 활성산소 종들이 증가할 것이다. 이러한 경우에 SOD나 APX, GR과 같은 항산화 효소들의 활성산소 종을 감소시키기 위한 해독작용으로 그들의 높은 활성을 기대할 수 있다. 낮은 온도나 대기오염과 같은 식물 생장에 부적합한 환경조건일 때 환경 스트레스에 대한엽내 항산화 효소활성이나 함량의 증가에 대한 연구는 많이 보고 되고 있다(Grace and Logan, 1996; Woo and Je, 2006). 하지만 만약, 오존처럼 직접적으로 세포내로 독성물질이 녹아들어가 활성산소 종을 발생시키는 조건이 아니라면 항산화효소의 활성 증가가 나타나지 않을 수 있다(Logan *et al.*, 1999). 본 연구결과에서도 마찬가지로 처리구간의 항산화효소활성의 차이가 거의 나타나지 않았다.

## 결론

이태리 포플러와 현사시를 대상으로 야외에서 돈분침출수를 관수한 결과, 이태리 포플러의 경우 엽록소 함량, 광합성률, 증산률, 기공전도도, 엽육세포내  $\text{CO}_2$  농도가 돈분침출수 처리구가 대조구에 비해 높은 경향을 보였다. 그러나 현사시의 엽록소 함량은 돈분처리구에서 대조구와 비슷하였지만 광합성율과 증산율, 기공전도도가 침출수 처리구에서 대조구에 비해 약간 감소하는 경향을 보였다. 이를 미루어 이태리포플러를 침출수가 유출되는 지역의 phytoremediation에 좋을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

실험을 도와준 서울시립대학교 김민홍양에게 감사드립니다.

## 인용문헌

1. 구영분, 여진기, 김인식, 김태수, 김영중, 여인선. 2002. 포플러 및 버드나무 클론의 수도권매립지 적응성 검증. 한국임학회지 91(3): 405-411.
2. 여진기, 김인식, 구영분, 김태수, 손두식. 2002. 축산폐수 처리에 따른 포플러 수종 및 클론별 오염물질 흡수능력 및 내성. 한국폐기물학회지 19(8): 912-920.
3. 여진기, 김인식, 구영분, 김영중, 주성현. 2003. 시험림에서 축산폐수 처리에 따른 포플러의 생장과 축산폐수 흡수. 한국폐기물학회지 20(8): 742-749.
4. 원향연, 권장식, 신용광, 김승환, 서장선, 최무영. 2004. 돈분퇴비의 사용이 토양의 미생물체량 및 효소활성에 미치는 영향. 한국토양비료학회지. 37(2): 109-115.
5. 제선미, 손석규, 우수영, 변광욱, 김찬수. 2006. 다른 광도에서 생육한 죽절초의 광합성 기구, 엽록소 함량차이. 한국농림기상학회지 8(2): 54-60.
6. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenol-oxidase in *Betula vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-15.
7. Ashraf, M., M. Arfan, M. Shahbaz, M. Ahmad and A. Jamil. 2002. Gas exchange characteristics and water relations in some elite skra cultivars under water deficit. Photosynthetica 40(4): 615-620.
8. Boardman, N.K. 1977. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. Annual Review Plant Physiology 28: 355-377.
9. Field, C. and H. Mooney. 1986. The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants. In: On the Economy of Form and Function (ed. T. J.Givnish) pp. 25-55. Cambridge University Press.
10. Fujino, J., A. Morita, Y. Matsuoka and S. Sawayama. 2005. Vision for utilization of livestock residue as bioenergy resource in Japan. Biomass and Bioenergy 29: 367-374.
11. Grace, S.C. and B.A. Logan. 1996. Acclimation of foliar antioxidant systems to growth irradiance in three broad-leaved evergreen species. Plant Physiology 112: 1631-1640.
12. Hikosaka, K., Y.T. Hanba, T. Hirose and I. Terashima. 1998. Photosynthetic nitrogenous efficiency in woody and herbaceous plants. Functional Ecology 12: 896-905.
13. Inze, D. and M. van Montagu. 2002. Oxidative stress in

- Plants. Taylor & Francis Inc, New York, NY, p 1-32 ISBN 0-415-27214-9.
14. Lloyd, J., J.P. Syvertsen, P.E. Kriedemann and G.D. Farquhar. 1992. Low conductances for CO<sub>2</sub> diffusion from stomata to the sites of carboxylation in leaves of woody species. *Plant Cell and Environment* 15: 873-899.
  15. Logan, B.A., B. Demmig-Adams, T.N. Rosenstiel, W.W. Adams III. 1999. Effect of nitrogen limitation on foliar antioxidants in relationship to other metabolic characteristics. *Planta* 209: 213-220.
  16. Makino, A. and B. Osmond. 1991. Effects of nitrogen nutrition on nitrogen partitioning between chloroplasts and mitochondria in pea and wheat. *Plant Physiology* 96: 355-362.
  17. Maranville, J.W., S. Madhavan. 2002. Physiological adaptation for nitrogen use efficiency in sorghum. *Plant Soil* 245: 25-34.
  18. Nakaji, T. and T. Izuta. 2001. Effects of ozone and/or excess soil nitrogen on growth, needle gas exchange rates and rubisco contents of *Pinus densiflora* seedlings. *Water, Air, and Soil Pollution* 130: 971-976.
  19. Woo, S.Y. and S.M. Je. 2006. Photosynthetic rates and antioxidant enzyme activity of *platanus occidentalis* growing under two levels of air pollution along the streets of Seoul. *Journal of Plant Biology* 49(4): 315-319
  20. Zhao, D., K.R. Reddy, V.G. Kakani and V.R. Reddy. 2005. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum *European Journal of Agronomy* 22: 391-403.
- 
- (2007년 6월 5일 접수; 2007년 6월 20일 채택)