

김포 首都圈 埋立地에 植栽된 현사시나무의 環境 適應 反應(2)^{1*}

- 水分生理를 중심으로 -

金坂基² · 金宣憲³ · 李相諫⁴ · 李哲鎬⁵ · 李恩柱^{6**}

Adaptability to the Water Relations of *Populus alba* × *P. glandulosa* in 'Kimpo' Waste Landfills^{1*}

Pan-Gi Kim², Sun Hee Kim³, Sang Mo Lee⁴, Cheol-Ho Lee⁵ and Eun Ju Lee^{6**}

요 약

매립지 녹화 수종으로서 현사시나무의 적합성을 검토하기 위하여, 김포 수도권 매립지와 임업연구원 임목육종부 묘포장에 식재된 개체의 水分生理 特性을 비교 분석하였다. 그 결과 매립지에 식재된 현사시나무는 蒸散葉面積이 좁고, 잎 뒷면에 발생한 纖毛(leaf hair)의 밀도가 높았으며, 蒸散葉面積에 대한 光合成 葉肉組織(photosynthetic mesophyll)의 비율을 반영하고 있는 葉면적당 건물중(specific leaf dry mass)이 증가하였다. 그리고 매립지에 식재된 개체는 언제나 낮은 기공전도도를 유지하고 있었으며, CO₂농도증가에 따른 기공폐쇄반응이 낮은 CO₂농도에서 나타나 공변세포의 CO₂감수성이 증가하였음이 밝혀졌다. 이러한 결과로부터 현사시나무는 葉면적계층과 기공저항의 증가로 체내의 수분손실을 방지하여 높은 水分保持能力을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 그리고 매립지에 식재된 개체는 蒸散葉面積에 대한 光合成 葉肉組織의 증가로 광합성에 대한 수분이용효율이 상승되어 있음을 알 수 있었다.

ABSTRACT

This study was carried out to examine the suitability of *Populus alba* × *P. glandulosa* as a potential revegetation tree species in waste landfills. We investigated the adaptive characteristics to the water relations of *P. alba* × *P. glandulosa* grown in waste landfills in comparison to those grown in nursery sites as a reference. As the results, the poplars grown in waste landfills had smaller leaf area, denser leaf hairs, and higher specific leaf dry mass. Also the poplars grown in waste landfills maintained lower stomatal conductance and stomata closure was achieved at lower CO₂ concentration. This result meant that the poplars in landfills had more sensitive stomatal responses. Increased leaf boundary layer and stomatal resistance of landfill poplars allowed more efficient water use and higher water retentivity. These results suggested that the poplars grown in waste landfills had adaptive characteristics in water use efficiency and in photosynthetic tissue structures.

Key word : water use efficiency, stomatal conductance, water retentivity, leaf hair, water stress

¹ 接受 2002年 1月 29日 Received on January 29, 2002.

審査完了 2002年 2月 25日 Accepted on February 25, 2002.

² 서울대학교 기초과학연구원 Research Institute of Basic Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea.

³ 임업연구원 Korea Forest Research Institute, Dongdaemun-Gu, Seoul 130-712, Korea.

⁴ 서울대학교 농업과학공동기기센터 National Instrumentation Center for Environmental Management, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea.

⁵ 국립수목원 National Arboretum, Pocheon-Gun 487-821, Korea.

⁶ 서울대학교 생명과학부 School of Biological Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea.

* 본 연구는 한국과학재단의 2001년도 특정기초연구과제(R01-2000-00069)의 지원으로 수행되었음.

** 연락처자 E-mail : ejlee@plaza.snu.ac.kr

서 론

생활폐기물 매립지 내부의 폐기물이 부패되면서 발생하는 침출수가 지하수 및 지표수를 오염시키고 하천생태계를 파괴하는 요인이 되기도 한다(김경웅과 손호웅, 1994; Lee 등, 1997). 포플러류와 같은 속성수는 증·발산량이 많아 침출수를 체내에 흡수하여 오염물질을 고정하는 효과가 높다는 것이 많은 연구에서 시사되었다(구영본 등, 1997, 1998; 우수영 등, 2001; 이동섭 등, 2001). 그러나 생활폐기물 매립지는 지하로부터 발생하는 매립가스를 비롯한 많은 환경스트레스요인들이 내재되어 있다(김기대, 2001; 이상모 등, 2002). 따라서 환경스트레스에 대한 내성수준이 낮은 속성수를 매립지에 식재하여 침출수의 발생량을 감소시키기 위해서는 매립지의 입지환경에 대한 속성수의 환경적응성을 고려하여야 한다.

著者は 생활쓰레기 매립지의 입지환경에 대한 속성수의 환경적응성을 검토하기 위하여, 김포 수도권 제1매립장과 일반 포지에 식재된 현사시나무의 광합성특성을 분석하여 광합성계의 적응반응을 보고하였다(김판기 등, 2002). 이에 의하면 매립지에 식재된 현사시나무는 묘포장에 식재된 개체에 비하여 엽록소함량이 높았으며, 광-광합성곡선에서 광합성능력, 순양자수율(apparent quantum yield), 광포화점이 낮고, 암호흡과 광보상점이 높았다. 그리고 *A-Ci* curve에서는 광호흡 속도는 높은 값을 나타내고, 빛이 照射되고 있을 때의 암호흡속도(day respiration rate), 최대광합성속도(광포화점의 광도와 엽육내CO₂분압이 포화된 상태에서의 광합성), 탄소고정효율(carboxylation efficiency)은 낮은 값을 나타냈다. 그러나 CO₂보상점과 포화점은 큰 차이가 없었다. 이러한 결과로부터 매립지에 식재된 개체는 광합성계(광화학계, 탄소고정계)의 효소활성과 광합성능력이 저하되어 있음이 밝혀졌다. 순양자수율과 최대광합성속도가 저하된 점으로부터 强光阻害(photoinhibition) 현상을 확인할 수 있었으며, 광호흡의 증가와 순양자수율의 저하는 强光阻害의 방어기작이 작용한 결과로 고찰되었다. 强光阻害는 탄소고정계 효소의 활성저하에 起因함이 시사되었는데, 탄소고정계 효소의 활성저하는 CO₂확산저항에 起因한 낮은 엽육내CO₂분압 환경에 대해서 현사시나무가 적응한 결과로 고찰되었다.

본 연구에서는 김포 수도권 제1매립장과 일반 포지에 식재된 현사시나무의 형태적 특성과 잎의 水分保持能力, 광합성에 대한 수분이용효율, 기공반응 등의 수분생리특성을 조사하여, 매립지 입지환경에 대한 현사시나무의 환경적응성을 검토하고자 한다.

재료 및 방법

1. 재료

수도권 매립지 입지환경에 대한 현사시나무(*Populus alba* × *P. glandulosa*)의 환경적응성을 조사하기 위해서 사용한 공시재료와 對照를 위하여 사용한 공시재료는 前 報文(김판기 등, 2002)에 기술한 내용과 동일하다. 諸般調査는 비가 내린 다음날(2001년 8월 19일)에 수행하였으며, 先端으로부터 12-16번째 잎 중에서 외관상 병충해의 피해를 받지 않고 상처가 없는 잎을 選別하여 供試하였다.

2. 잎의 형태적 특성 조사

잎의 형태적 특성을 조사하기 위하여, 葉面積, 葉面積當 乾重(specific leaf dry mass), 葉背面(abaxial)의 기공과 纖毛(leaf hair)의 상태를 조사하였다. 엽면적은 탁상용 엽면적계(Li-3100-C, Li Cor)를 사용하여 측정하였다. 엽면적을 측정할 시료는 송풍식 건조기로 105℃에서 30분간, 85℃에서 8시간동안 건조시킨 다음 건물중을 측정하고, 葉面積當 乾重(mg cm⁻²)을 산출하였다.

葉背面의 기공과 纖毛의 상태를 관찰하기 위하여, 두 시험지에서 채취한 잎의 葉脈 좌우에서 0.5×0.5cm의 절편을 채취하였다. 절편을 2%의 paraformaldehyde와 glutaraldehyde를 첨가한 0.05M의 sodium cacodylate 완충액(pH 7.2)에 절편을 넣고 4℃에서 3시간동안 고정시키고, 동일한 완충액으로 4℃에서 10분간씩 3회 세척하였다. 그리고 1%의 osmium tetroxide를 첨가한 0.05M의 sodium cacodylate 완충액(pH 7.2)으로 4℃에서 3시간동안 다시 한번 고정시킨 다음, 증류수로 실온에서 2회 세척하였다. 고정작업을 마친 시료를 EtOH(30%, 50%, 70%, 80%, 90%, 100%)로 계열 탈수시키고 hexamethyldisilazane로 15분간 2회 치환한 다음, gold coating하여 주사현미경(JSM-5410LV, JEOL)으로 관찰하였다.

3. 잎의 水分保持能力 調査

잎의 水分保持能力은 丹下 등(1991)의 방법에 따라서 시험지에서 잎을 물 속에서 채취한 다음, 실험실의 暗所에서 약12시간동안 절단부위를 침수시켜 葉內水分이 포화상태가 되도록 하였다. 그리고 飽和水分狀態에 있는 잎의 生重量을 측정 한 다음, 잎을 데시케이터(desiccator)에 넣고 重量變化를 5~10분 간격으로 2시간동안 측정하였다. 측정을 마친 잎을 85℃에서 12시간 건조시켜 乾物重을 측정 한 다음, 식(1)에 의하여 相對含水率(relative water content)을 산출하였다.

$$RWC = (F_{wn} - D_w) \cdot (F_w - D_w)^{-1} \cdot 100 \quad (1)$$

RWC : 상대함수율(%)

F_w : 포화수분상태의 중량

F_{wn} : 생중량

D_w : 건물중

4. 수분이용효율 및 기공반응 조사

前 補文(김관기 등, 2002)에서 광합성측정에 사용한 휴대용 광합성 측정기는 葉溫, 증산속도(transpiration rate), 기공전도도(stomatal conductance), 엽육내CO₂분압 등을 동시에 측정 또는 산출하는 기기이다. 수분이용효율 및 기공반응 조사는 前 補文에서 김관기 등(2001)과 동일한 방법으로 휴대용 광합성 측정기(Li-6400, Li Cor)를 사용하여 광도에 대한 광합성반응과 PPFD 1500 μmol quanta m⁻² s⁻¹의 강광조건에서의 엽육내 CO₂분압에 대한 광합성반응 측정 자료를 사용하였다. 측정은 식물이 water stress를 적게 받는 오전 7:00~10:00 사이에 하였으며, 엽육내CO₂분압은 Farquhar와 Sharkey(1982)의 식을 적용하여 산출하였다. 광합성작용에 대한 수분이용효율(water use efficiency)은 식(2)에 의하여 산출하였다.

$$WUE = P_n / T_r \quad (2)$$

WUE : 수분이용효율(μmol CO₂ mmol⁻¹ H₂O)

P_n : 광합성속도(μmol CO₂ m⁻² s⁻¹)

T_r : 증산속도(mmol H₂O m⁻² s⁻¹)

결 과

1. 잎의 형태적 특성

수도권 매립지와 대조구로 설정한 임업연구원 임목육종부의 묘포장에 식재된 현사시나무 個葉

의 엽면적, 건물중, 엽면적당 건물중(specific leaf dry mass)을 조사하고, 葉背面을 주사현미경으로 관찰하였다.

그 결과 매립지에 식재된 개체의 個葉面積은 묘포장에 식재된 개체의 32%, 個葉의 건물중은 34%로 묘포장에 식재된 개체의 잎에 비하여 엽면적이 좁고 가벼웠다(Table 1). 그러나 엽면적당 건물중은 두 식재지 간의 차이가 매우 미세하며 통계적 유의성이 없었으나, 매립지에 식재된 개체가 묘포장에 식재된 개체에 비하여 높은 값을 나타냈다.

Table 1. Leaf area, dry weight and specific dry mass in *P. alba* × *P. glandulosa* in waste landfills and nursery(n=8).

	Waste landfill	Nursery	t-values
Leaf area (cm ² leaf ⁻¹)	63.4 (±4.3)	191.0 (±17.9)	11.99***
Dry weight (mg leaf ⁻¹)	272.4 (±40.3)	807.2 (±87.3)	9.64***
Specific dry mass (mg cm ⁻²)	4.3 (±1.8)	4.2 (±1.8)	0.22 ^{n.s.}

***P<0.001, **P<0.01, *P<0.05, ^{n.s.} not significant

주사현미경으로 관찰한 個葉의 葉背面은 兩 식재지 모두 纖毛가 대량으로 발생하여 葉背面의 표피를 덮고 있었다(Figure 1). 그리고 표피를 덮고 있는 纖毛에 의하여 기공이 가려져 기공의 형태, 밀도 등의 조사는 불가능하였으나, 수도권 매립지에 식재된 개체의 纖毛는 묘포장에 식재된 개체에 비하여 外見上 굵기가 굵고, 표피를 덮고 있는 纖毛의 밀도도 높았다.

2. 水分保持能力

매립지에 식재된 현사시나무 잎의 水分保持能力을 조사하기 위하여 포화수분상태의 切斷生葉(detached leaf)을 건조제가 들어 있는 데시케이터 속에서 넣은 후, 엽내 수분함량의 시간별 變化를 조사하여 상대함수율(relative water content)로 나타냈다(Figure 2).

데시케이터 속의 건조공기에 切斷生葉이 노출되어 葉內水分이 손실되면서 상대함수율이 감소하였다. 그런데 매립지에 식재된 개체의 切斷生葉은 상대함수율의 감소가 묘포장에 식재된 개체의 切斷生葉에 비하여 완만하게 이루어졌다. 切斷生葉을 건조공기에 노출시켜 128분이 경과하였

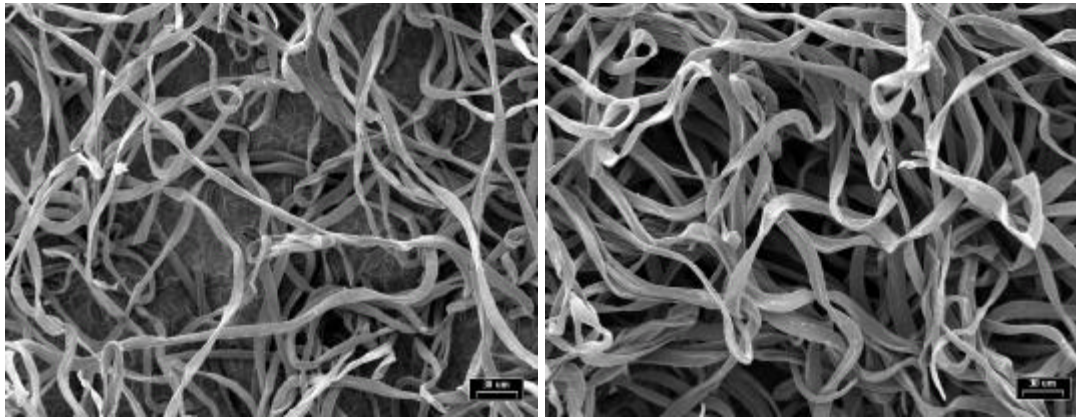


Figure 1. SEM photographs of leaf hairs of *P. alba* × *P. glandulosa* in waste landfills(right) and nursery(left).

을 때, 매립지에 식재된 개체는 26.4(±1.3)%, 묘포장에 식재된 개체는 42.0(±0.4)%의 수분이 손실되어, 매립지에 식재된 개체가 묘포장에 식재된 개체에 비하여 水分保持能力이 높게 나타났다($P < 0.001$).

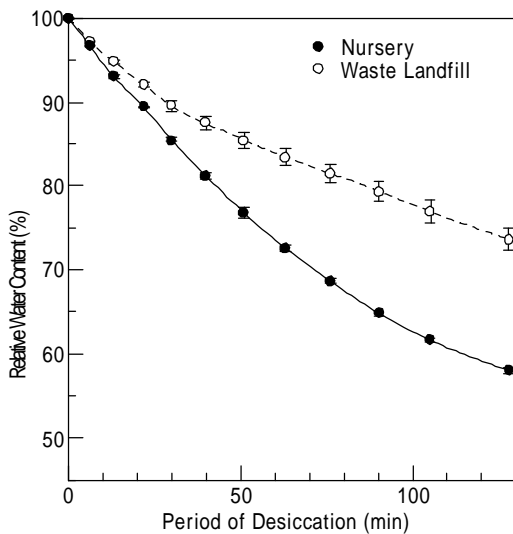


Figure 2. Water retentivity of detached leaf of *Populus alba* × *P. glandulosa* in waste landfills and nursery.

3. 수분이용효율

매립지에 식재된 현사시나무의 광합성에 대한 수분이용효율을 검토하기 위하여, 증산작용(T_r)에 의하여 樹體內 水分을 방출하는 양과 광합성(P_n)에 의하여 CO_2 를 흡수/고정하는 양의 비율(P_n/T_r)을 산출한 다음, 광-수분이용효율, 葉肉內 CO_2 分壓-수분이용효율 곡선으로 나타냈다(Figure 3).

우선 광도에 대한 수분이용효율의 변화를 살펴보면, 낮은 광도 영역에서는 수분이용효율이 낮은 값을 나타냈으나, 광도가 상승하면서 수분이용효율이 증가하였다. 특히 매립지에 식재된 개체는 묘포장에 식재된 개체에 비하여 광도상승에 따른 수분이용효율의 증가속도가 빠르게 나타나, PPFD $700 \mu mol quanta m^{-2} s^{-1}$ 에서는 묘포장에 식재된 개체보다 20.3%정도 높은 수분이용효율을 나타냈다($P < 0.05$). 그러나 PPFD $700 \mu mol quanta m^{-2} s^{-1}$ 이상의 광도에서는 두 식재지 모두 더 이상 수분이용효율이 증가하지 않았다. 매립지에 식재된 개체의 경우는 PPFD $700 \mu mol quanta m^{-2} s^{-1}$ 에서부터 오히려 수분이용효율이 저하하기 시작하여 PPFD $2000 \mu mol quanta m^{-2} s^{-1}$ 에서는 묘포장과 유사한 값을 나타냈다.

엽육내 CO_2 분압에 대한 수분이용효율의 변화에서도 엽육내 CO_2 분압이 낮은 영역에서는 수분이용효율도 낮게 나타났으나, 엽육내 CO_2 분압의 증가하면서 수분이용효율이 상승하였다. 특히 매립지에 식재된 개체는 묘포장에 식재된 개체에 비하여 급격한 증가속도를 나타냈다. 엽육내 CO_2 분압이 55~60Pa에서는 매립지에 식재된 개체가 묘포장에 식재된 개체에 비하여 현저하게 높은 값을 나타냈으나, 더 이상의 수분이용효율 증가는 나타나지 않았다.

4. 기공반응

광도와 엽육내 CO_2 분압에 대한 기공의 개폐반응

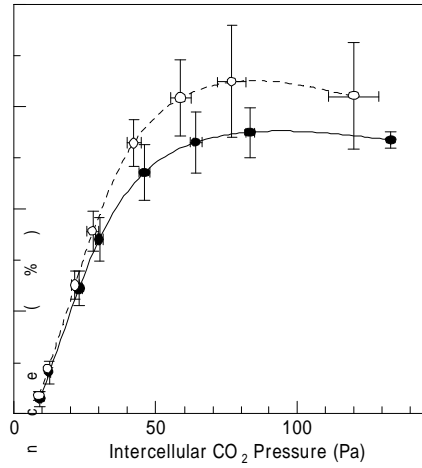
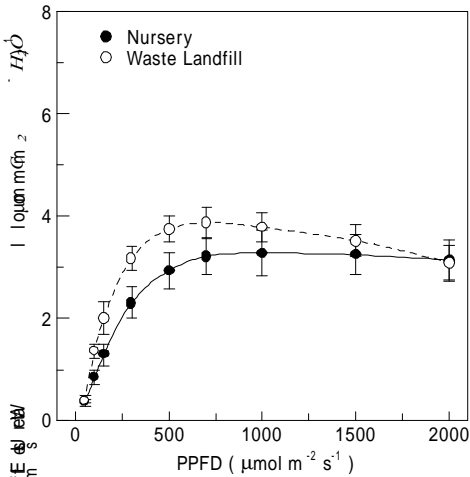


Figure 3. Changes in water use efficiency by light intensity (left) and intercellular CO₂ pressure (right).

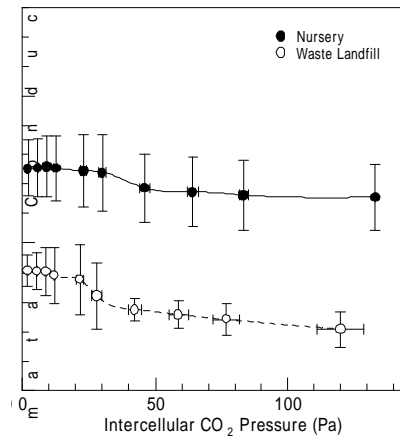
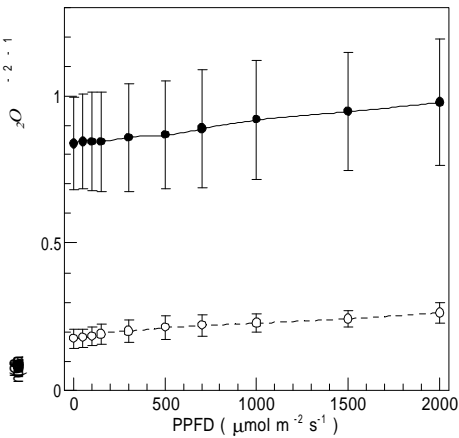


Figure 4. Changes in stomatal conductance by light intensity (left) and intercellular CO₂ pressure (right).

을 검토하기 위하여 광-기공전도도, 엽육내CO₂분압-기공전도도를 곡선으로 나타냈다(Figure 4).

광도의 상승에 따라서 기공전도도가 완만하게 증가하였는데, 매립지에 식재된 개체는 모든 광도영역에서 묘포장에 식재된 개체에 비하여 현저하게 낮은 값을 나타냈다. 그리고 묘포장에 식재된 개체는 PPFD 1000 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 광도에 따른 기공전도도의 증가속도가 완만하게 변화하였는데, 매립지에 식재된 개체는 이 보다 낮은 PPFD 300 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 완만해졌다.

한편, 엽육내CO₂분압-기공전도도 곡선에서는 매립지에 식재된 개체가 묘포장에 식재된 개체에 비하여 엽육내CO₂분압의 高低를 不問하고 기공전

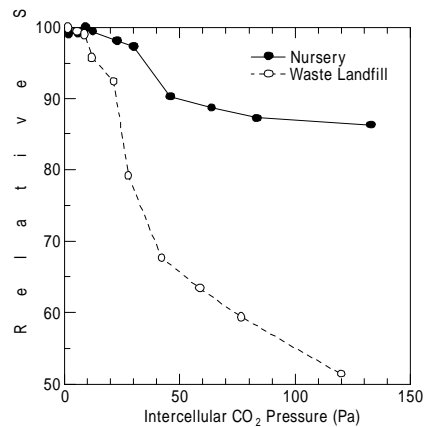


Figure 5. Changes in relative stomatal conductance by intercellular CO₂ pressure.

도도가 낮았다. 그리고 엽육내CO₂분압의 초기 상승 영역에서는 두 식재지 모두 일정한 기공전도도를 유지하였다. 그러나 묘포장에 식재된 개체는 엽육내CO₂분압이 28Pa에서 완만한 저하를 나타내고, 매립지에 식재된 개체는 이보다 낮은 12Pa에서 급격한 저하를 나타냈다. 이를 보다 면밀히 관찰할 수 있도록 최대 기공전도도를 100으로 한 상대치를 Figure 5에 나타내었다.

고 찰

1. 형태적 특성변화를 통한 엽면경계층 저항 증대

강한 바람, 물리적 자극, 토양수분부족 등의 스트레스를 받는 환경에서 장기간 생육하여 환경에 적응한 식물은 잎의 면적이 좁고, 잎 두께가 두꺼워진다(矢吹, 1990; 菅, 1986). 특히 토양내의 수분이 부족한 환경에 적응한 식물은 잎의 면적이 좁고 두꺼워서, 葉面境界層(leaf boundary layer)의 수분확산 저항이 높고 蒸散葉面積(transpiring leaf area)이 좁아 수분손실이 적다. 그리고 蒸散葉面積에 대한 光合成 葉肉組織(photosynthetic mesophyll)의 비율을 반영하고 있는 엽면적당 건물중이 높아진다(Stocker, 1976). 본 연구에서도 김포 수도권 매립지에 식재된 현사시나무는 임업 연구원 임목육종부의 묘포장에 식재된 개체에 비하여 엽면적이 좁고, 통계적 유의성은 없었으나 엽면적당 건물중도 높다(Table 1). 그리고 표면의 경계층을 두껍게 하여 葉面境界層의 저항을 높임으로써 수체내 수분손실을 방지하고, 고온조건에서 葉溫을 일정하게 유지시키는 역할을 하는 纖毛(Ehleringer와 Mooney, 1978; Fitter와 Hay, 1987)의 밀도가 높다(Figure 2). 이러한 형태적 특성 변화는 강한 바람, 물리적 자극, 토양내 수분부족 등의 스트레스에 대한 적응 반응과 일치한다. 이것은 매립지에 식재된 현사시나무가 매립가스, 토양 수분부족, 급격한 온도변화, 강한 바람 등의 환경스트레스를 받고 있으며, 이에 대한 환경적응반응으로써 잎의 엽면경계층 저항을 상승시키는 형태적 특성변화가 있었음을 示唆한다.

2. 기공의 개폐조절을 통한 체내 수분 조절

식물은 체내 수분상태, 생육환경 등의 변화에 대하여 기공을 開閉하는 민감한 반응을 나타내는데, 기공의 개폐반응은 체내의 ABA(abscisic acid)와 밀접한 관계에 있다(菅, 1986). 수체내에

수분이 부족하면 ABA의 함량이 증가하고 기공이 닫히게 되어 기공전도도가 저하한다. 그리고 토양 수분이 부족한 환경에 적응한 식물 또는 耐乾性 식물은 기공전도도가 낮게 유지되고, 수분이 부족한 환경에 처하게 되면 체내의 ABA함량이 급격하게 증가한다. ABA가 증가하면 CO₂에 대한 공변세포의 感受性이 높아지게 되어 엽육내 CO₂분압 상승에 따른 氣孔閉鎖 현상이 낮은 CO₂농도에서 나타나게 된다.

본 연구에서는 매립지에 식재된 현사시나무는 언제나 묘포장에 식재된 개체에 비하여 낮은 기공전도도를 나타내(Figure 4), 常時 氣孔開度を 낮게 유지하여 증산작용에 의한 수분손실을 억제하고 있음을 알 수 있다. 그리고 엽육내CO₂분압 상승에 따른 기공전도도의 저하가 낮은 CO₂분압에서 나타나(Figure 5), CO₂에 대한 공변세포의 感受性이 높아져 있었음이 시사되었다. 이러한 결과는 매립지에 식재된 개체가 수분 부족시 신속한 氣孔閉鎖로 수분손실을 방지하는 능력이 높아져 있음을 나타낸다.

한편, 매립지에 식재된 개체는 切斷葉에서의 水分損失이 매우 완만하게 나타나는 높은 水分保持能力을 나타낸다(Figure 2). 이것은 잎의 형태적 변화(Table 1)를 통한 엽면경계층 저항의 증대, 기공전도도 저하(Figure 4)와 CO₂에 대한 공변세포의 감수성 증대(Figure 5)를 통한 신속한 기공폐쇄로 증산작용을 억제하는 등의 복합적인 수분손실 방지 기작이 작용한 결과로 생각된다.

3. 광합성에 대한 수분이용효율성 증대

엽면경계층 저항과 기공 저항이 증가하면 증산작용이 억제되어 체내의 수분손실을 방지할 수 있다. 그러나 수분과 마찬가지로 광합성의 基質이 되는 대기중의 CO₂가 엽면경계층과 기공을 통하여 葉肉細胞로 확산된다는 점을 생각하면, 엽면경계층과 기공 저항의 증가로 증산작용뿐만 아니라 CO₂확산도 억제되어 엽육내CO₂분압이 낮아져 광합성속도도 저하한다. 일반적으로 식물은 증산작용의 억제에 의한 수분손실 방지보다는 광합성의 효율성을 높이는 방향으로 적응되어 있는 것으로 알려져 있다(김판기와 이은주, 2001a). 그런데 매립지에 식재된 현사시나무는 엽면경계층과 기공 저항의 증가로 엽육내CO₂분압이 낮아지고(Figure 6), 이로 인하여 탄소고정계의 활성이 저하하였다(김판기 등, 2002). 이것은 매립지에 식

재된 현사시나무의 생장이 수분에 의하여 영향을 크게 받아, 광합성능력의 유지보다는 체내 수분 손실방지에 치중된 환경 적응반응을 나타냈음을 의미한다.

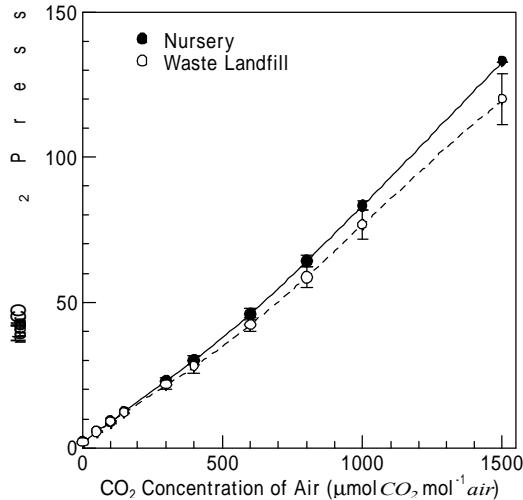


Figure 6. Changes in intercellular CO₂ pressure by CO₂ concentrations of reference air provided to the portable photosynthesis system.

한편, 식물의 광합성과 증산 작용은 모두 기공을 통하여 이루어지는 대사작용이나, 葉內의 수분이 대기 중으로 확산되는 경로는 대기중의 CO₂가 葉內로 확산되는 경로에 비하여 짧고, 대기와 葉內와의 分壓差異가 수분이 CO₂에 비하여 크다 (Fitter와 Hay, 1987). 따라서 증산작용에 의하여 방출되는 수분의 양이 광합성작용에 의하여 고정되는 양보다 많아 수분이용효율이 낮다. 그런데 매립지에 식재된 개체는 묘포장에 식재된 개체에 비하여 높은 수분이용효율을 나타낸다(Figure 3). 특히 強光阻害(photoinhibition)를 받기 쉬운 강광 조건(김판기와 이은주, 2001b)과 증산속도가 낮아 수분부족의 염려가 없는 약광조건에서는 시험기간의 차이가 없으나, 이 光域을 제외한 조건에서는 매립지에 식재된 개체가 높은 수분이용효율을 나타낸다. 이것은 매립지에 식재된 현사시나무가 수체내의 수분손실을 억제하는 적응반응뿐 만 아니라 수분의 이용효율을 높이는 광합성계의 적응반응이 있었음을 示唆한다. 이러한 점으로 보아 매립지에 식재된 현사시나무가 입지환경에 적극적인 환경적응반응을 나타내고 있음을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구에서 현사시나무 잎을 주사현미경으로 관찰하는데 많은 도움을 주신 제주대학교 농업생명과학대학 식물자원과학과의 전용철 박사님과 서울대학교 농업과학공동기기센터의 김영순 연구원님께 진심으로 감사를 드립니다.

인용문헌

1. 구영본 · 이성규 · 김판기 · 변광옥 · 우수영. 1997. 난지도 폐기물 매립지의 포플러 성장 및 오염물질 흡수 가능성. 포플러 14 : 25-32.
2. 구영본 · 노의래 · 우수영 · 이성규. 1998. 포플러를 이용한 쓰레기 매립지의 녹화 및 침출수 처리. 포플러 15 : 19-29.
3. 김기대. 2001. 서울 수도권 지역 쓰레기 매립지의 식생구조와 생태학적 복원. p. 185. 서울대학교박사학위논문.
4. 김경웅 · 손호웅. 1994. 대전시 신대동 폐기물 매립지 주변지역에서의 지하수 및 토양의 중금속오염. 한국지하수토양환경학회지 1 : 85-89.
5. 김판기 · 이은주. 2001a. 광합성의 생리생태 (1) -광도와 엽육내 CO₂분압 변화에 대한 광합성 반응. 한국농림기상학회지 3 : 126-133.
6. 김판기 · 이은주. 2001b. 광합성의 생리생태 (2) -환경변화에 대한 광합성의 적응반응. 한국농림기상학회지 3 : 171-176.
7. 김판기 · 이용섭 · 정동준 · 우수영 · 성주한 · 이은주. 2001. 광도가 내음성이 서로 다른 3수종의 광합성 생리에 미치는 영향. 한국임학회지 90 : 476-487.
8. 김판기 · 김선희 · 이상모 · 조주형 · 이은주. 2002. 김포 수도권매립지에 식재된 현사시나무의 환경 적응 반응(1) - 광합성반응을 중심으로. 한국임학회지 91(1) : 79-87.
9. 우수영 · 이동섭 · 김동근 · 김판기. 2001. 생활쓰레기 매립지 침출수가 이태리포플러와 자작나무 묘목에 미치는 영향. 한국임학회지 90 : 55-63.
10. 이동섭 · 우수영 · 김동근 · 김판기 · 권오규 · 배관호 · 이은주. 2001. 속성수를 이용한 쓰레기 매립지 침출수의 중금속 및 유해성분의 흡수, 제거 가능성. 한국농림기상학회지 3 : 81-87.

11. 이상모·이은주·김판기·이군택·김선희. 2002. 서울 수도권지역 쓰레기 매립지 토양의 이화학적 특성. 한국임학회 학술연구 발표논문집 200-201.
12. 菅 洋. 1986. 스트레스と生理活性. pp. 158-172. In : 作物の生理活性-自立生育のしくみ. 農文協
13. 丹下 健·金 坂基·佐々木惠彦. 1991. ポプラバイオマス林の樹冠各部の受光條件と葉の生理特性. BCP研報 31 : 43-55.
14. 矢吹萬壽. 1990. 大氣から葉綠體に至る關門. pp. 88-93. In : 風と光合成-葉面境界層と植物の環境對應. 農文協
15. Ehleringer, J. R. and H. A. Mooney. 1978. Leaf hairs : effects on physiological activity and adaptive value to a desert shrub. *Oecologia* 37 : 183-200.
16. Farquhar, G. D. and T. D. Sharkey. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology* 11 : 539-552.
17. Fitter, A. H. and R. K. M. Hay. 1987. Adaptations favouring survival and reproduction under conditions of water shortage. pp. 155-179. In : *Environmental physiology of plants*, Academic press, London, San Diego, New York, Berkeley, Boston, Sydney, Tokyo, Toronto.
18. Lee, K.-K., Y.-Y. Kim, H.-W. Chang and S.-Y. Chung. 1997. Hydrogeological studies on the mechanical behavior of landfill gases and leachate of the Nanjido Landfill in Seoul, Korea. *Environmental Geology* 31 : 185-198.
19. Stocker, O. 1976. The water-photosynthesis syndrome and the geographical plant distribution in the Sahara deserts. pp. 506-521. In : Lange, O. L., L. Kappen and E. -D. Schulze, Eds. *Water and plant life. Ecological Studies* 19, Springer-Verlag, Berlin.