

청주시 가로수 은행나무(*Ginkgo biloba*)와 플라타너스(*Platanus orientalis*)의 생리생태적 특성

윤용한* · 인형민** · 박봉주*** · 김원태*

*건국대학교 산림과학과 · **건국대학교 대학원 산림과학전공 · ***건국대학교 자연과학연구소

I. 서론

최근 대기오염이 도시에서 문제로 떠오르면서 도시 가로수와 도시림에서의 대기오염물질(O₃, NO₂, SO₂, Acid rain)이 수목에 미치는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 청주시는 60만 여명의 시민이 생활하는 도시이며 산업의 발달, 인구나 자동차의 급속한 증가로 시민들이 느끼는 대기오염현상은 날로 심각해지고 있는 실정이다. 국내에서도 대기오염과 가로수 및 식물에 대한 연구를 여러 방면에서 추진하고 있다. 그러나 지금까지의 연구는 대기오염이 식물생장에 미치는 현상을 확인하는 정도로 머물고 있으며, 공해에 저항성을 가지거나 반대로 대기오염에 아주 약한 개체가 왜 다른 반응을 보여 주는지를 명확하게 설명하지 못하고 있다. 광합성 능력은 식물의 생리적인 생장에 가장 큰 요인이며, 이는 다양한 환경적 요인에 의해 영향을 받는다. 식물의 생장은 세포의 분열과 성장속도, 그리고 새로운 원형질과 세포벽의 합성에 필요한 유기, 무기화합물의 공급에 의해 조절된다. 특히 세포의 생장은 세포의 팽압과 관계되고, 줄기와 잎의 신장은 수분 부족에 의해 억제된다(Salisbury and Ross 1992). 수분함량의 감소는 광합성을 억제하고, 호흡률과 기타 효소 관련 대사속도를 감소시킨다. 즉, 수분함량의 감소는 팽압의 소실과 위조, 세포생장의 중지, 기공폐쇄, 광합성량 감소 및 여러 가지 기초대사활동의 감소를 수반한다. 식물의 수분상태는 야외조건, 특히 수분스트레스를 받았을 때 식물의 생리적인 반응을 나타내는 척도가 된다.

이에 본 연구는 청주시의 가로수를 대상으로 용도지역이 서로 다른 지역에서 생육하고 있는 은행나무(*Ginkgo biloba*)와 플라타너스(*Platanus orientalis*)를 선정하여 개체간의 광합성 능력과 수분이용효율의 차이를 비교분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 가로수 선정

2007년 8월에 우리나라 가로수와 공원수로 많이 이용되고

있는 은행나무와 플라타너스를 청주시 4개의 용도지역(주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역) 별로 각 수종별 3그루씩 총 24그루를 선정하여 생리적 특성을 비교분석하였다.

2. 광합성 및 토양용적수분 측정

각 지역의 은행나무와 플라타너스의 광합성 변화는 portable infra-red gas analyzer(LI-6400, LI-COR, Lincoln, NE)를 사용하여 식물의 생장과 모든 생리적인 활성이 최고에 이른 8월에 조사하였다. 광합성 측정 시 leaf chamber의 조건은 온도 22°C, 습도 RH 60%, leaf chamber 내 CO₂ 농도는 CO₂ injector system을 이용하여 400 μmol mol⁻¹로 유지하였다. 측정 시 chamber는 받침대로 고정하여 잎에 가하여지는 스트레스를 최소화하였으며 주어진 광도 당 측정 시간은 최소 100초~최대 300초 간 측정을 실시하였고, 6400-02 LED light source를 이용하여 PPFD 0, 20, 50, 100, 200, 500, 800, 1,000, 1,500, 1,800 μmol · m⁻² · s⁻¹에서의 광합성능력 변화를 측정하였다. 순 광합성량은 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$An = \frac{U_e(C_e - C_a)}{100s} - C_e E \quad \text{식 (1)}$$

where An Net Photosynthesis(molCO₂m⁻²s⁻¹), U_e mole flow rate of air entering the leaf chamber(mols⁻¹), C_e mole fraction of CO₂ in the leaf chamber(molCO₂mol⁻¹air), C_a mole fraction of CO₂ entering in the leaf chamber(molCO₂mol⁻¹ air), s leaf area(cm²), E transpiration(mmol H₂O m⁻² s⁻¹)

기공전도도는 광합성 측정 시 leaf chamber의 조건은 온도 22°C, 습도 RH 60%, leaf chamber 내 CO₂ 농도는 CO₂ injector system을 이용하여 400 μmol mol⁻¹로 유지하였다. 이때, 기공 conductance 단위는 mol H₂O m⁻² · s⁻¹로 사용하였다. 수분이용효율은 광합성 능력/증산량(Wang, 2001; Ashraf et al., 2002)으로 계산하였다. 수분이용효율의 계산에 사용한 광합성 능력과 증산량은 1,000 μmol m⁻² · s⁻¹ 광도에서 22°C로 측정하였다. 토양 용적수분은 수분측정기(Thetaprobe)를 이용해 토양표면에서

부터 토양 하부 7cm까지의 용적수분함량을 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 광합성 능력

광합성 능력은 일정한 광도에서 녹지지역, 주거지역, 상업지역, 공업지역의 순으로 은행나무와 플라타너스 두 수종이 비슷한 경향을 나타내었다(그림 1, 2 참조). 은행나무와 플라타너스 모두 광합성률은 공업지역이 가장 낮았고, 녹지지역이 가장 높은 것으로 나타났다. 이 같은 결과는 식물의 생장이 시작되는 아침부터 저녁까지 하루 종일 광합성 능력이 차이가 많이 나는 것을 의미한다. 이는 도심부의 교통량이나 공단에 의한 매연 등 대기오염과도 밀접한 관련이 있는 것으로 사료되며, 따라서 공업지역과 상업지역의 대기오염이 높기 때문에 가로수의 광

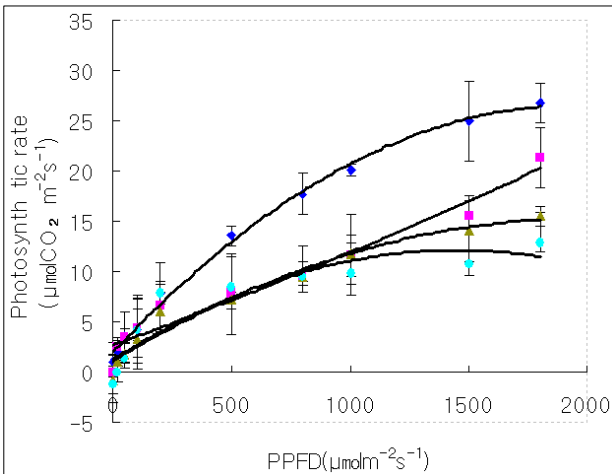


그림 1. 용도지역별 은행나무의 광합성 능력
범례: ◆ 녹지, ◆ 주거, ▲ 상업, ● 공업

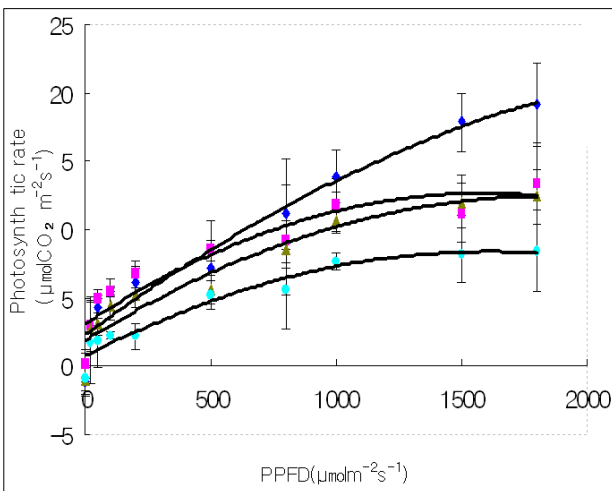


그림 2. 용도지역별 플라타너스의 광합성 능력
범례: ◆ 녹지, ◆ 주거, ▲ 상업, ● 공업

합성 능력이 주거지역이나 녹지지역보다 낮아졌을 것이라고 추정된다.

광합성 능력은 기공의 개폐 정도와도 밀접한 관련성을 보인다. Faria *et al.*(1996)은 기공 닫힘이 순광합성 능력을 제한하는 중요한 요소이기 때문에 기공전도도와 순광합성 능력 사이에는 정의 상관관계가 있다고 하였다. 용도지역별 가로수에서 기공전도도가 차이가 나타났는데, 이것은 광합성 능력과 기공 개폐가 정의 상관관계가 있다는 것을 설명한다(Hinckely and Bratane, 1994). 또한, 광합성 능력이 낮은 가로수들이 대부분 기공전도도가 낮은 경향을 보이는데, 이는 광합성에 필요한 CO₂ 가스교환이 제한을 받기 때문이고, 이로 인해서 광합성 능력이 저하된다(Reich *et al.*, 1985). 광합성 능력이 높은 지역의 가로수는 기공전도도가 높게 나타나는 경향을 보아 기공전도도가 광합성 능력에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

2. 토양용적수분 및 수분이용효율

용도지역별 은행나무의 토양수분함량에 있어서는 공업지역과 상업지역의 토양수분이 낮게 나타났다. 녹지지역의 토양수분은 다른 용도지역에 비해서 높게 나타났다. 플라타너스의 엽록소 함량에 있어서는 상업지역과 공업지역의 토양수분과 녹지지역에 비해 낮게 나타났다. 용도지역별 수분이용효율을 비교하면 일반적으로 공업지역과 상업지역이 높게 녹지지역이 낮게 나타났다. 즉, 수분이용효율은 용도지역별로 약간의 차이는 있지만 녹지지역의 가로수가 건전한 수목이기 때문에 수분이용효율이 낮다는 것을 의미한다(임종환 등, 2006). 수분이용효율은 광합성 동화산물에 대한 수분손실률로서 기공전도도 감소에 따라 증산량이 감소되기 때문에 일시적으로 수분이용효율이 증가할 수 있다. Hamerlynck and Knapp(1996)와 Penuelas *et al.*(1998)은 낮은 기공전도도는 높은 수분이용효율로 연결된다고 보고하고 있다. 본 연구에서도 가장 높은 수분이용효율을 나타낸 지역의 가로수에서 가장 낮은 기공전도도를 보이고 있어 유사한 결과를 보였다.

수분이용효율은 일반적으로 공업지역이 다른 지역의 수분이용효율보다 높은 것으로 나타났다. 그리고 녹지지역이 낮은 수분이용효율이 나타났으며, 이는 광합성 능력의 차이가 수분이용효율이 다른 것으로 추정된다. 생육기가 되어서 지상부가 생육을 시작했는데도 수분공급이 원활하게 이루어지지 않는다면 스트레스를 받은 상황이 될 것이고, 식물의 광합성능력은 온화한 기온 때문에 높아지고 토양에서의 수분공급이 이루어지지 않는다면 일시적으로 수분이용효율이 높은 것처럼 보이지만 장기적으로는 생리적인 장애를 가져올 수 있는 것이며, 이러한 현상은 스트레스 피해를 받은 식물들에서 흔하게 나타나는 현상이다(Binkley *et al.*, 1994; Blank *et al.*, 1990). 식물이 대기오염 피해를 받게 되면 기공이 닫혀서 일반적으로 증산량이 크

게 낮아지게 되며, 이로 인해 일시적으로 수분이용효율이 증가하는 현상을 보일 수 있는 것이다(임종환 등, 2006). 본 연구에서 용도지역별 수분이용효율이 녹지지역보다 상업지역과 공업지역의 가로수가 일반적으로 높은 값을 보였는데, 이는 스트레스로 인한 증산량의 감소로 생긴 현상으로 여겨진다. 이러한 현상이 지속적으로 유지되면서 토양으로부터 적당한 수분이 공급이 되지 않고 증산량이 감소하며, 가로수가 스트레스를 받아서 생장에 악영향을 받을 것으로 사료된다.

광합성 능력과 기공전도도, 토양수분, 수분이용효율이 서로에 미치는 영향을 알아보기 위하여 상관분석을 실시한 결과, 각각의 변수사이의 유의수분은 높게 나타났다. 광합성과 기공전도도의 상관계수는 0.223, 0.266으로 정의 상관관계로 광합성이 높으면 기공전도도도 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 반면 광합성과 수분이용효율, 기공전도도와 수분이용효율의 상관계수는 -0.654, -0.472와 -0.622, -0.842로 나타나 부의 상관관계를 보였으며, 광합성이 높으면 수분이용효율이 낮게 나타나고 기공전도도가 높으면 수분이용효율이 낮은 것을 알 수 있다. 또한, 토양용적수분 수분이용효율의 상관계수는 -0.581, -0.771로 부의 상관관계이며, 토양용적수분이 높으면 수분이용효율은 낮아지는 것을 알 수 있다. 이상의 결과를 종합해 보면 토양수분이 높으면 광합성은 높고 수분이용효율은 낮게 나타나며, 토양수분이 낮으면 그 반대의 결과를 예상할 수 있다. 또한, 광합성이 높으면 수분이용효율은 낮아지며 광합성이 낮아지면 그 반대의 결과를 예상할 수 있다.

IV. 결론

본 연구는 청주시 용도지역별 생육하는 가로수의 광합성 능력과 수분이용효율을 비교 분석하였다. 용도지역에 따라 녹지지역과 주거지역에서 높게, 상업지역과 공업지역이 낮은 것으로 나타났다. 기공전도도는 광합성 능력과 정의 상관관계를 보였으며, 토양수분은 녹지지역이 높게, 상업, 공업지역이 상대적으로 낮게 측정되었다. 반면에 수분이용효율은 반대로 상업지

역과 공업지역이 높고, 녹지지역과 주거지역에서 낮은 것으로 나타났다. 광합성 능력과 수분이용효율을 상관분석한 결과 변수 사이의 유의수준이 인정되었고 광합성 능력과 수분이용효율은 부의 상관관계가 나타났다.

인용문헌

1. 임종환, 우수영, 권미정, 천정화, 신준환(2006) 한라산 구상나무 건전개체와 쇠약개체의 온도변화에 따른 광합성 능력과 수분이용효율. 한국임학회지 95(6): 705-710.
2. Ashraf, M., M. Arfan, M. Shahbaz, A. Ahmad and A. Jamil(2002) Gas exchange characteristics and water relations in some elite okra cultivars under water deficit. *Photosynthetica* 40(4): 615-620.
3. Binkley D., Y. W. Son and Z. S. Kim(1994) Impacts of air pollution on forests: A summary of current situations. *Jour. of Korean For. Soc.* 83(2): 229-238.
4. Blank L. W., H. D. Payer, T. Pfirmann and K. E. Rehfuss(1990) Effects of ozone, acid mist and soil characteristics on clonal Norway spruce-overall results and conclusions of the joint 14 month tree exposure experiment in closed chambers. *Environ. Pollut.* 64: 385-395.
5. Faria, T., J. I. Garcia-Plazaola, A. Abadia, S. Cerasoli, J. S. Pereira and M. M. Chaves(1996) Diurnal changes in photoprotective mechanisms in leaves of cork oak(*Quercus suber*) during summer. *Tree Physiology* 16: 115-123.
6. Hamerlynck, E. P. and A. K. Knapp(1996) Early season cuticular conductance and gas exchange in two oaks near the western edge of their range. *Trees* 10: 403-409.
7. Hinckley, T. M. and J. H. Braatne(1994) Stomata. In Wilkinson, R.E. (eds.) *Plant-Environment Interactions*. Dekker, New York, p.323-355.
8. Penuelas, J., I. Filella, J. Llusia, D. Siscart and J. Pírol(1998) Comparative Field study of spring and summer leaf gas exchange and photobiology of the mediterranean trees *Quercus ilex*, and *Phillyrea latifolia*. *J. Experimental Botany* 319: 229-238.
9. Reich, P. B., A. W. Schoettle, H. F. Stroh, J. Troiano and R. G. Amundson(1985) Effects of O₃, SO₂ and acidic rain on mycorrhizal infection in northern red oak seedlings. *Canadian Journal of Botany* 63: 2049-2055.
10. Salisbury F. B. and C. W. Ross(1992) *Plant Physiology*, 4th ed., Wadsworth Publishing Company, Belmont, USA.
11. Wang, R. Z.(2001) Photosynthesis, transpiration and water use efficiency of vegetative and reproductive shoots of grassland species from north-eastern China. *Photosynthetica* 39(4): 569-573.