

칩(*Pueraria thunbergiana*) 조직수분관계의 일변화 특성

박 용 목 · 최 창 렬
청주대학교 이공대학 생물학과

The Characteristics of Diurnal Changes in the Tissue-Water Relations of *Pueraria thunbergiana*

Park, Yong-Mok and Chang-Youl Choi
Department of Biology, College of Natural Science & Engineering,
Chongju University, Chongju 360-764, Korea

ABSTRACT

The diurnal changes of the stomatal conductance, transpiration and leaf water potential were measured in order to assess the water relations characteristics of *Pueraria thunbergiana* in August of 1995 and 1996. The results showed two different responses depending on the duration of rainless days. The microclimatic conditions were highly stressful on 2 August. Daily maximum temperature reached to 39.0°C and vapor pressure deficit was 3.55 KPa. During this time the leaf water potential decreased to -1.02 MPa and a marked reduction of stomatal conductance was shown. However, on 15 August the stomatal conductance increased with increment of photon flux density, and transpiration was highly maintained during the day time. Minimum leaf water potential was only -0.47 MPa in spite of high transpiration rate. Furthermore, on 15 August reduced leaf water potential during the day time was recovered rapidly with decrease of photon flux density, whereas recovery of leaf water potential on 2 August was delayed. However, reduced leaf water potential on 2 August was recovered until the next dawn. Osmotic potential at turgor loss point of *Pueraria thunbergiana* on 2, 3 and 15 August was -1.79, -1.70 and -1.60 MPa, respectively. The vapor pressure deficit is more contributive to the regulation of stomatal conductance than leaf water potential.

Key words: Leaf water potential, Osmotic potential, Stomatal conductance, Transpiration, Vapor pressure deficit, Water relations characteristics.

서 론

식물에 있어서 물, 광, 영양염류와 같은 자원들은 생존을 결정짓는 중요한 환경요인이다. 자연 생태계에 있어서 이들 환경요인들은 양적으로 동일하게 분포하는 것이 아니라 시간적으로 공간적으로 변화한다(Fitter

and Hay 1987, Larcher 1995). 또한 이들 환경요인에 대한 식물의 요구도도 종에 따라 달라, 환경에 대한 생물 종간에 적응의 차가 생기게 되며, 그 결과, 지리적으로 뿐만 아니라, 같은 지리적 조건 하에서도 국지적으로 서로 다른 식생이 나타나게 된다(Woodward 1987). 따라서 고착생활을 하는 식물이 주어진 환경요인에 잘 적응하는 것은 다른 종에 대한 경쟁력을 높여 그 종의 분

본 연구는 '96~'97학년도 청주대학교 특별연구비에 의하여 연구되었음.

포를 확대시키며, 또한 적응도를 높이는데 크게 기여한다(Mooney and Gulmon, 1979, Solbrig, 1981).

수분요인은 온도요인과 함께 식물의 분포를 결정짓는 중요한 역할을 할 뿐만 아니라, 광요인, 영양염 등과 함께 식물의 물질생산과 생장에 영향을 미침으로써 어떤 지역에서의 국지적인 종의 분포와 식생을 결정하는 중요한 환경요인으로 작용한다(Kramer 1983, Turner and Begg 1981). 어떤 주어진 시간에서의 식물의 수분상태는 뿌리로부터의 흡수속도와 증산속도의 균형에 의해 결정되며, 낮 동안 기공을 열고 광합성을 하는 식물 종은 광합성량의 수 십배에서 수 백배가 넘는 물을 증산에 의해 잃게 된다(Kramer and Boyer, 1995). 잎에서의 증산은 세포의 수분포텐셜을 감소시켜 식물에 수분스트레스를 발생시키며, 그 결과, 생장의 정지, 기공폐쇄, 그리고 광합성 저하 등이 발생하여 식물에 여러 가지 영향을 미친다(Hsiao, 1973). 그러므로 여름철의 식물은 낮 동안 심한 수분스트레스를 받기 쉽다(Kramer 1983, Kramer and Boyer 1995).

최근 도시화의 진행은 식생의 파괴를 가속화시키고 있으며, 식생의 파괴 이후에는 덩굴식물과 귀화식물이 그 분포를 급격히 확대해 가고 있는 것이 알려지고 있다(김 등 1993, 박 등 1995). 그러나 이러한 종들이 어떻게 식생이 파괴된 곳을 중심으로 분포를 확대하는가 하는 기작에 대한 실험적 연구의 예는 거의 없는 실정이다. 특히 초본식물과 목본식물의 중간 위치를 차지하고 있으며 그 생활사 전략이 특이한 다년생 초본식물에 관한 생태학적 연구는 식물의 진화과정을 파악하는데 중요하다(Harper 1987, Grime *et al.* 1988). 뿐만 아니라, 환경 변화에 따른 자연생태계의 보전과 이용을 위해서도 이들 종의 생태학적 특성을 파악하는 것은 중요한 과제일 것이다.

본 연구에서는 다년생 덩굴식물인 짚을 재료로 수분스트레스가 발생되기 쉬운 여름철 맑은 날에 있어서 잎의 수분관계를 파악함으로써 건조하기 쉬운 식생파괴 지역에서의 덩굴식물의 분포확대 기작에 대한 실마리를 제공하고자 한다.

조사지 개요

조사지는 충청북도 음성군 생극면 차곡리에 위치한 묵밭으로(동경 128°18′ 북위 36°6′), 이곳은 경작을 그만둔 후 짚이 침입하여 대군락을 형성하고 있다. 조사지의 북쪽 16km에 위치한 음성 기상관측소의 기상자료

(Anonymous 1995, 1996)에 의하면 조사기간 중 이 지역의 연 평균기온은 10.6℃이며 월 평균기온은 최저치가 1월에 -4.2℃, 최고치가 8월에 26.3℃를 나타내었다.

재료 및 방법

환경요인의 일변화는 식물의 수분관계에 영향을 미치는 일사량, 기온 그리고 상대습도의 일변화를 측정하였다. 일사량은 Quantum sensor(LI-190SA, Li-Cor, Nebraska, USA)를 이용하여 측정하였다. 온도와 상대습도는 높이 약 1.5m에서 직사광이 닿지 않도록 하여 디지털 온습도계(HN-K, Chino, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다.

야외에서는 잎의 기공전도도와 수분포텐셜의 일변화를 측정하였으며, 기공전도도는 태양광에 잘 노출된, 성숙한 잎을 선택하여 steady-state porometer(LI 1600, Li-Cor, Nebraska, USA)를 이용하여 측정하였다. 잎의 수분포텐셜은 기공전도도를 측정할 잎을 재료로 압력통을 이용하여 측정하였다(P.M.S., Covallis, Oregon, USA). 기공전도도와 잎의 수분포텐셜은 5~7회씩 측정하여 평균값을 이용하였다. 압력포텐셜은 삼투포텐셜과 수분포텐셜의 차이로 구했으며, 잎의 삼투포텐셜을 측정하기 위하여 미리 100℃에서 10분 이상 끓여 공기를 제거한 물을 준비한 다음, 물 속에서 줄기를 채취하고, 이것을 다시 물 속에서 자른 뒤 연구실로 운반하여 폴리에틸렌 백으로 덮어 썬워 상온 하의 암소에서 24시간 흡수시켰다. 충분히 흡수한 잎을 시료로 pressure-volume(P-V) method를 이용하여 잎의 수분특성을 결정하였다(Tyree and Hammel 1972). 얻어진 P-V 곡선으로부터 충분히 흡수했을 때의 삼투포텐셜(Ψ_s^sat)과 압력포텐셜이 0이 되었을 때의 삼투포텐셜(Ψ_s^0)을 구하였다. 모든 측정은 야외에서 시료 채취 후 3일 이내에 행해졌으며 매회 3회씩 반복 측정하여 평균값을 이용하였다. 측정은 비온 3일 후인 1995년 8월 11일, 2일 후인 8월 15일 그리고 비온 후 5일과 6일째인 1996년 8월 2일과 3일에 행해졌으며, 이 중에서 흐린 날인 1995년 8월 11일을 제외한 3일의 수분관계를 중심으로 해석을 행하였다.

결과 및 고찰

지상부의 미기상 환경을 비교해 보면, 측정기간 중에

서 가장 높은 광도는 1995년 8월 15일에 보여졌으며, 이날 아침녘에는 안개가 끼어 광도가 낮았지만 안개가 걷힌 8시 이후부터 광도의 급격한 상승으로 12시 30분에는 $1,860 \mu\text{mole m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 를 기록하여 측정일 가운데 가장 높은 광도를 나타내었다(Fig. 1A). 약간 구름이 끼었던 1996년 8월 3일은 광도의 많은 변화를 나타내었으며, 8월 2일은 아침 6시부터 광량이 증가하기 시작하여 최고 $1,770 \mu\text{mole m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 을 나타내었다(Fig. 1A). 일 최대 광도는 측정일 모두에서 낮 12시 경에 나타났다. 이러한 광도의 변화는 온도의 변화를 가져왔다(Fig. 1). 측정일 가운데 가장 높은 기온은 39°C 를 기록한 8월 2일 오후 1시에 보여졌으며, 8월 3일과 8월 15일은 일 최고기온이 각각 36.1°C 와 37.8°C 를 기록하였다. 또한 8월 2일과 3일은 광도의 변화에 따라 기온이 변화하는 거의 동조적 변화를 나타내었으나 8월 15일은 광의 변화와 기온의 변화가 일치하지 않았다. 일반적으로 일사량이 증가하여 기온이 상승하면 포화수증기압이 증가함으로써 습도가 낮아지고 대기의 수증기 요구도는 커지게 된다(Gates 1980). 그러나 대기의 수증기 요구도는 이들 변화와 반드시 일치하지는 않았다. 대기의 수증기 요구도는 잠열의 변화, 토양 수분의 상태 그리고 대기의 흐름에 의한 수증기 공급 등에 따라서도 달라질 수 있다(Gates 1980, Monteith 1973). 8월 15일의 대기의 수증기 요구도는 오후 1시에서 4시 이전까지 높게 나타났으나 아침 8시 이전과 오후 6시 이후에는 현저하게 낮았다(Fig. 1C). 8월 15일의 이러한 현상은 7일 전에 210 mm와 2일 전에 54mm의 강우로 인하여(Anonymous, 1995) 토양 수분이 충분하여 잠열에 의한 대기로의 수증기 공급이 많았기 때문으로 사료된다. 반면, 8월 2일은 5일 전에 26.5mm의 비가 내렸으나 그 이전에도 충분한 강우가 없었으므로 토양 함수량이 8월 15일에 비해 감소하여 대기로의 수분공급이 충분하지 않았기 때문으로 추측된다. 또한 8월 2일과 3일에서 보여진 기온과 대기의 수증기 요구도의 차이는 광량의 차이에 의한 에너지 부하의 차이로 생각된다(Fig. 1).

일반적으로 토양 함수량이 충분할 때, 기온의 상승과 함께 낮 동안 저하한 상대습도는 오후 기온의 저하와 함께 다시 증가하여 대기의 수증기 요구도를 감소시키지만(Kramer 1983, Slatyer 1967), 토양 함수량이 저하하면 낮에 저하한 상대습도는 오후를 회복하지 못하여 식물에 수분스트레스가 발생할 위험성이 커진다(Slatyer 1967, Larcher 1995). 이러한 미기상 환경의 변화는 식물의 수분관계에 영향을 가져온다. 비온 후 5일이 경과

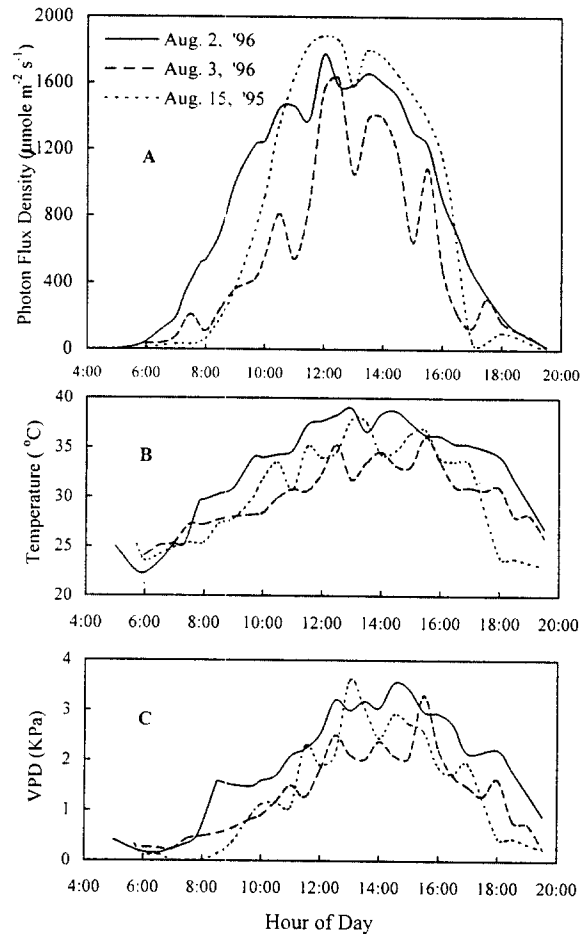


Fig. 1. Diurnal changes of (A) photon flux density, (B) air temperature and (C) vapor pressure deficit (VPD).

한 8월 2일은 증가하는 광량에 따라 아침 6시 경부터 기공전도도가 증가하여 8시 30분에는 최고치인 2.49 cm/s 를 나타내었으나 곧이어 10시 경에는 일 최저치를 나타내었으며, 이러한 패턴은 증산 패턴과 일치하였다(Figs. 2A, B). 그러나 10시 이후의 증산 속도의 변화는 기공전도도의 변화 패턴과 다르게 나타났다. 증산은 잎과 대기의 수분포텐셜 구배에 비례해서, 그리고 기공 저항과 경계층 저항에 반비례해서 일어난다(Gates 1980, Kramer 1983). 비온 후 2일째인 8월 15일은 안개가 개기 시작한 아침 8시 30분 이후 광량의 증가와 함께 기공전도도와 증산 속도가 증가하여 한 낮에 일시적인 저하를 보였지만 전체적인 증산의 변화 양상은 기공전도도의 변화에 일치하는 동조적 반응을 나타내었다(Fig. 2A, B). 그러나 8월 2일과 3일은 아침 10시

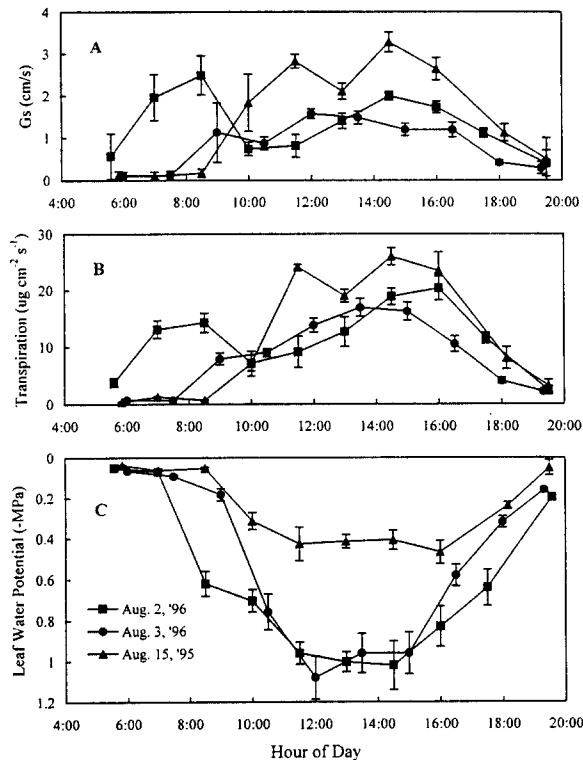


Fig. 2. Diurnal changes of (A) stomatal conductance (G_s), (B) transpiration and (C) leaf water potential of *Pueraria thunbergiana*. Vertical bars indicate standard errors ($n=5$ to 7).

까지는 증산 속도의 변화가 기공전도도의 변화에 동조적이었으나, 그 이후에는 서로 다른 패턴을 나타내었다 (Figs. 2A, B). 이것은 토양 수분이 충분한 8월 15일의 증산에는 기공전도도가 가장 크게 기여했다는 것을 나타내며, 8월 2일과 3일은 토양 수분이 충분하지는 않았지만, 아침녘에는 수분의 공급이 비교적 원활하여 증산의 기공전도도에의 의존성이 높았다는 것을 시사해 준다. 기공전도도는 일사량, 잎과 대기의 수증기압의 차이, 잎의 압력포텐셜 그리고 토양의 수분포텐셜 등에 영향을 받는다 (Davies *et al.* 1979, Schulze and Hall 1982, Turner and Begg 1981, Zhang and Davies 1988). 수분스트레스 하에서 식물이 보이는 여러 가지 반응 중의 하나가 효율적인 기공조절이며, 이것은 특히, 토양 수분이 충분할 때 증산 속도와 흡수 속도의 불균형에 의해 발생하는 한 낮의 약한 수분스트레스 하에서 식물의 물 이용효율을 높인다 (Cowan and Farquhar 1977, Turner and Begg 1981). 이러한 기공조절의 결과로 증산의 일변화에는 두 가지 패턴이 보여진

나 (Larcher, 1975). 하나는 수분스트레스가 심한 한 낮 12시 전후에 일시적으로 기공을 닫았다가 오후 수분스트레스가 완화되면 다시 기공을 열어 광합성을 재개하는 식물로, 스트레스에 비교적 민감한 건조회피형에서 볼 수 있는 기공조절의 형태이며, 또 다른 하나는 한 낮 동안의 수분스트레스 하에서도 기공을 열고 계속 광합성을 하며 오후 일사량의 감소와 함께 기공을 닫는 건조내성형 식물에서 보여지는 기공의 조절형태이다 (Larcher 1975, Levitt 1972, Schulze and Hall 1982). 토양 수분이 충분하였던 8월 15일에 보여진 한 낮의 일시적인 기공전도도의 저하는 이러한 현상의 하나로 생각되며, 특히 비교적 도관이 큰 덩굴식물 (Carquist 1975)은 수분스트레스가 증가할 경우 물기동에 공동현상을 일으키기가 쉽다는 것 (Carquist 1975, Ritman and Milburn 1991, Zimmermann 1983)을 고려할 때 토양 수분이 충분할 때 보인 잎의 기공전도도의 반응은 건조회피성 식물임을 보여주는 것이라고 할 수 있을 것이다 (Fig. 2A). 식물은 아침 일사량의 증가와 함께 기공을 열고 광합성을 행하며, 광합성이 행해지고 있는 동안 기공을 통하여 광합성 양의 수 십배, 수 백배에 달하는 물을 증산에 의해 대기 중으로 방출한다 (Davidoff and Hanks 1988, Kramer 1983). 증산에 영향을 미치는 요인으로서 일사량, 기온, 엽온, 습도, 풍속, 토양 함수량 등이 있으며, 증산에 의해 잎의 함수량이 감소하면 잎의 수분포텐셜이 저하하여 식물에 수분스트레스가 발생한다 (Hsiao 1973, Salisbury and Ross 1996). 잎의 수분포텐셜의 변화를 보면 8월 2일과 3일은 오전 8시 이전에는 비교적 높은 수분포텐셜을 유지하고 8시 이후 급격히 감소하여, 각각 오후 2시 30분과 12시에 최저값인 -1.02 , -1.08 MPa를 기록하였다 (Fig. 2C). 그러나 8월 15일은 측정일 중에서 가장 높은 기공전도도와 증산속도를 나타내었음에도 불구하고 8월 2일과 3일에 비해 훨씬 높은 수분포텐셜을 유지하여 최저치가 -0.47 MPa에 불과하였다 (Fig. 2C). 식물의 수분스트레스는 토양 수분이 충분한 경우에도 증산속도에 비해 흡수속도의 지연에 의해 발생하지만, 이 경우의 약한 수분스트레스는 오후 일사량 감소에 따라 기공전도도가 감소하면 저녁 무렵에는 완전히 회복된다 (Kramer 1983, Slatyer 1967). 따라서 수분의 이동이 없고 토양과 식물체 사이에 수분평형이 이루어진 새벽녘 해뜨기 전의 잎의 수분포텐셜은 토양 수분포텐셜의 지표로 이용된다 (Hinckley *et al.* 1983, Parker *et al.* 1982, Slatyer 1967). 그러나 토양 수분의 부족으로 발생하는 수분스트레스는 밤 동안에도 완전히

회복되지 못하고, 토양의 수분포텐셜이 낮을수록 회복도 어려워 식물의 수분스트레스도 더욱 심해진다(Kramer 1983, Slatyer 1967). 8월 15일은 낮 동안 저하한 잎의 수분포텐셜이 오후 기공전도도의 저하와 함께 회복되어 일몰시에는 새벽녘의 수준까지 완전히 회복되었다(Fig. 2C). 잎의 수분포텐셜의 이러한 빠른 회복은 토양 함수량이 포장용수량 이상을 유지하여 물의 이동에 대한 저항이 아주 작았다는 것을 나타내 준다(Hillel 1980, Kramer 1983). 반면, 8월 2일과 3일은 낮 동안 저하한 잎의 수분포텐셜이 저녁 무렵에 회복을 보였으나 완전히 회복하지는 못하였다(Fig. 2C). 그러나 양일 모두 아침에는 잎의 수분포텐셜이 8월 15일 수준으로 높게 유지되었다. 이것은 8월 2일과 3일 토양의 수분포텐셜 감소로 수분이동에 대한 저항이 증가하여 원래의 수분포텐셜로 회복하는 데는 8월 15일보다 더 많은 시간이 걸리지만 영구위조점에 달할 정도의 심한 수분스트레스는 발생하지 않았던 것을 나타낸다(Hillel 1980, Kramer 1983). 한 낮 잎의 수분포텐셜이 저하할 때 압력포텐셜의 저하는 세포의 성장을 저하시키고, 기공의 폐쇄를 가져오며 광합성 속도를 저하시킨다(Boyer 1970, Hsiao 1973). 그러므로 잎의 수분포텐셜이 저하할 때 압력포텐셜을 높게 유지시키는 것은 식물에 있어서 대단히 중요하며 일반적으로 수분스트레스에 생리적으로 적응한 종 가운데는 그러한 방법의 하나인 삼투조절을 행하는 식물이 있는 것이 알려져 있다(Turner and Jones 1980). 잎의 압력포텐셜은 압력포텐셜이 zero가 될 때의 잎의 삼투포텐셜(Ψ_{up}), 충분히 흡수했을 때의 삼투포텐셜(Ψ_{sat})과 그 때의 잎의 수분포텐셜과의 관계로부터 파악할 수 있다(Doi *et al.* 1986, O'neil 1983, Tyree *et al.* 1978). 세 측정일에서의 이들 값은 8월 15일에서의 Ψ_{up} 가 -1.60 ± 0.04 MPa, 8월 2일에서 -1.70 ± 0.03 MPa, 8월 3일에서 -1.79 ± 0.02 MPa이었으며, Ψ_{sat} 은 각각 -1.04 ± 0.10 MPa, -1.14 ± 0.12 MPa, -1.12 ± 0.06 MPa이었다. 비록 이 실험이 조절된 환경조건 하에서 이루어진 것이 아니라 하더라도 이상의 결과로 미루어 볼 때 이 식물은 삼투조절은 행하지 않는 것으로 판단된다(Fig. 2C). 식물의 증산은 광량, 온도, 습도, 풍속 그리고 토양 수분에 영향을 받으며 또한 이들 요인들 간에도 서로 영향을 미친다(Gates 1980, Salisbury and Ross 1996, Schulze and Hall 1982). 그러므로 기공전도도나 증산의 패턴만으로 식물의 수분스트레스에 대한 종 특성을 판단하기는 힘들며, 증산과 잎의 수분포텐셜과의 관계를 파악하는 것도 하나의 방법이다. Fig.

3A는 잎의 증산과 잎의 수분포텐셜과의 관계를 나타내 주고 있다. 8월 15일은 증산량에 비례해서 잎의 수분포텐셜도 감소하지만 수분포텐셜 저하의 정도는 낮았다. 그러나 8월 2일과 3일은 증산량이 적음에도 불구하고 수분포텐셜이 크게 저하했다. 이러한 차이는 토양에서부터 식물체로 연결되는 수분의 흐름에 대한 저항의 차이를 나타내며, 보통 토양 함수량이 감소할수록 수분 이동에 대한 저항이 커지므로 증산에 대한 수분포텐셜의 저하는 더욱 커진다(Passioura 1988, Sharp and Davies 1985). 또한 야외 환경에서 보여진 잎의 기공전도도에 미치는 수분포텐셜과 대기의 수증기 요구도의 영향을 보면 대기의 수증기 요구도가 잎의 수분포텐셜보다 기공전도도에 더 많은 영향을 미치고 있다는 것을 나타내

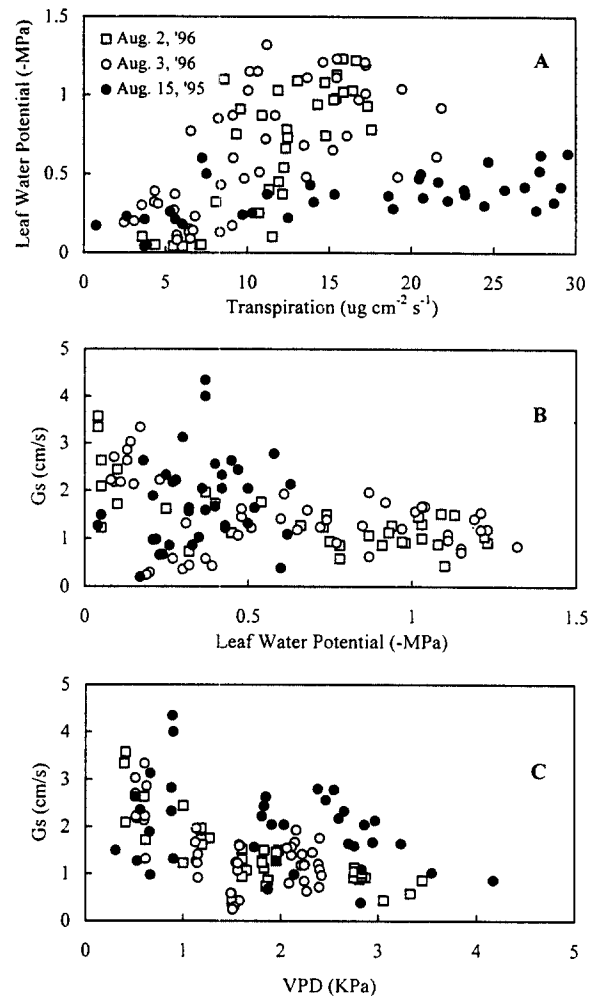


Fig. 3. Relationships between transpiration and leaf water potential (A), stomatal conductance and leaf water potential (B) and vapor pressure deficit (C) in *Pueraria thunbergiana*.

고 있다(Figs. 3B, C). 이것은 잎의 기공전도도가 잎의 수분상태나 대기의 수증기 요구도 혹은 대기와 잎의 수증기압차보다는 토양의 수분포텐셜에 직접적으로 반응한다는 의견과는 다른 것이다(Davies and Zhang 1991). 그러나 도관이 굵은 덩굴식물인 칩과 같은 식물재료는 이러한 류의 실험재료로 사용되지 않았다는 점을 감안하면 칩의 기공전도도에 가장 결정적으로 작용하는 요인을 찾아내는 것은 의미있는 일이 될 수 있을 것이다. 왜냐하면 칩과 같은 덩굴식물은 다른 식물을 타고 수관층까지 올라감으로써 물질 생산면에서는 유리하지만 수분스트레스를 받기 쉬워 물의 효율적인 이용을 위한 기공조절이 무엇보다도 중요하기 때문이다. 따라서 칩과 같은 다년생 덩굴식물의 생활사 전략을 파악하고 식생과 지역에서의 분포확대 기작을 밝히기 위해서는 야외에서의 생태적 특성 규명과 더불어 조절된 환경조건 하에서 여러 가지 환경요인에 대한 반응기작을 밝히는 것이 요구되고 있다.

적 요

환경이 파괴된 지역을 중심으로 그 분포를 확대해 가고 있는 덩굴식물인 칩(*Pueraria thumbergiana*)을 재료로 1995년과 1996년의 여름철 4일을 택해 환경요인 및 식물 수분상태의 일반화를 추정하고 그 중 맑은 날 3일을 선택하여 해석을 실시하였다. 토양 수분이 충분한 8월 15일은 측정일 중에서 가장 높은 광량을 나타내었으나 기온이 8월 2일보다 낮았으며, 아침 일사량의 증가와 함께 높은 기공전도도와 높은 증산 속도를 유지하였고, 이러한 높은 증산 속도에도 불구하고 잎의 수분포텐셜이 -0.47 MPa로 높게 유지되었다. 또한 낮 동안 저하한 잎의 수분포텐셜도 오후 기공전도도의 감소와 함께 회복하였다. 한편, 비온 후 6일째 되는 8월 3일은 오전의 이른 시각에는 광량의 증가에 따라 높은 기공전도도와 높은 증산 속도를 나타내었으나 10시 이후에는 8월 15일에 비해 낮은 기공전도도와 증산을 나타내었다. 또한 낮 동안 수분포텐셜이 크게 저하하여 -1.08 MPa까지 감소하였으며, 저하한 잎의 수분포텐셜은 저녁 무렵에도 회복하지 못하고 이튿날 아침녘에서야 8월 15일과 같은 수준으로 회복하였다. 그러나 실험기간 중에는 새벽녘에까지 잎의 수분포텐셜이 회복하지 못하는 심한 수분스트레스는 발생하지 않았다. 그리고 이 기간 중에는 잎의 수분포텐셜보다는 대기의 수증기 요구도가 칩의 기공조절에 더욱 영향을 미치는 것으로 나타났다.

인 용 문 헌

- 김종원, 김순득, 정용규, 김정준. 1993. 수도권 매립지의 식생자연지, 수도권 매립지 종합 환경조사 연구보고서. 수도권 매립지 운영관리조합.
- 박명진, 박용삼, 최기봉, 박용복. 1995. 미국자리공의 생장에 관한 생리생태학적 연구, 한국생물과학협회 학술발표대회 초록집. 156p.
- Anonymous. 1995. Annual Weather Report. Korea Meteorological Administration.
- Anonymous. 1996. Annual Weather Report. Korea Meteorological Administration.
- Boyer, J.S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. *Pl. Physiol.* 46: 233-235.
- Carquist, S. 1975. Ecological Strategies of Xylem Evolution. University of California Press, Berkley. 259p.
- Cowan, I.R. and G.D. Farquhar. 1977. Stomatal function in relation to leaf metabolism and environment. In D. H. Jennings(ed.) *Integration of Activity in the Higher Plants*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 471-505.
- Davidoff, B. and R.H. Hanks. 1988. Sugar beet production as influenced by limited irrigation. *Irrigation Science* 10: 1-7.
- Davies, W.J., T.A. Mansfield and A.R. Wellburn. 1979. A role for abscisic acid in drought endurance and drought avoidance. In F. Skoog(ed.), *Plant Growth Substances*. Springer-Verlag, Berlin. pp. 242-253.
- Davies, W.J. and J. Zhang. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annu. Rev. Pl. Physiol. Pl. Mol. Biol.* 42: 55-76.
- Doi, K., Y. Morikawa and T.M. Hinckley. 1986. Seasonal trends of several water relation parameters in *Cryptomeria japonica* seedlings. *Can. J. For. Res.* 16: 74-77.
- Fitter, A.H. and R.K.M. Hay. 1987. *Environmental Physiology of Plants*. Academic Press, London. 423p.

- Gates, D.M. 1980. Biophysical Ecology. Springer-Verlag, New York. 611p.
- Grime, J.P., J.G. Hodgson and R. Hunt. 1988. Comparative Plant Ecology. Unwin Hyman, London. 742p.
- Harper, J.L. 1987. Population Biology of Plants. Academic Press, New York. 893p.
- Hillel, D. 1980. Fundamentals of Soil Physics. Academic Press, New York. 428p.
- Hinckley, T.M., R.O. Teskey, F. Duhme and H. Richter. 1983. Temperate hardwood forests. In T.T. Kozlowski(ed.), Water Deficits and Plant Growth. Vol. II. Academic Press, New York. pp. 154-208.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. Ann. Rev. Pl. Physiol. 24: 519-570.
- Kramer, P.J. 1983. Water Relations of Plants. Academic Press, New York. 489p.
- Kramer, P.J. and J.S. Boyer. 1995. Water Relations of Plants and Soils. Academic Press, New York. 495p.
- Larcher, W. 1975. Physiological Plant Ecology. Springer-Verlag, Berlin. 252p.
- Larcher, W. 1995. Physiological Plant Ecology. Springer-Verlag, Berlin. 506p.
- Levitt, J. 1972. Responses of Plants to Environmental Stresses. Academic Press, New York. 697p.
- Monteith, J.L. 1973. Principles of Environmental Physics. Edward Arnold Press, London. 258p.
- Mooney, H.A. and S.L. Gulmon, 1979. Environmental and evolutionary constraints on the photosynthetic characteristics of higher plants. In O.T. Solbrig, S. Jain, G.B. Johnson and P.H. Raven (eds.), Topics in Plant Population Biology. Columbia University Press, New York. pp. 316-337.
- O'Neil, S.D. 1983. Role of osmotic potential gradients during water stress and leaf senescence in *Fragaria virginiana*. Pl. Physiol. 72: 938-944.
- Parker, W.C., S.G. Pallady, T.M. Hinckley and R.O. Teskey. 1982. Seasonal changes in tissue water relations of three woody species of the *Quercus-Carya* forest type. Ecology 63: 1259-1267.
- Passioura, J.B. 1988. Water transport in and to root. Annu. Rev. Pl. Physiol. Pl. Mol. Biol. 39: 245-265.
- Ritman, K.T. and J.A. Milburn. 1991. Monitoring of ultrasonic and audible emissions from plants with or without vessels. J. Expt. Bot. 42: 123-130.
- Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1996. Plant Physiology. Wadsworth Publishing Company, California. 682p.
- Schulze, E.D. and A.E. Hall. 1982. Stomatal responses, water loss and CO₂ assimilation rates of plants in contrasting environments. In O.L. Lange, P. S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler(eds.), Encyclopedia of Plant Physiology. Springer-Verlag, Berlin, pp. 181-230.
- Sharpe, R.E. and W.J. Davies. 1985. Root growth and water uptake by maize plants. J. Expt. Bot. 36: 1441-1456.
- Slatyer, R.O. 1967. Plant Water Relationships. Academic Press, New York. 366p.
- Solbrig, O.T. 1981. Energy, Information and Plant Evolution. Blackwell Scientific, Oxford. 355p.
- Turner, N.C. and J.E. Begg. 1981. Plant water relations and adaptation to stress. Plant and Soil 58: 97-131.
- Turner, N.C. and M.M. Jones, 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment. In N.C. Turner and P.J. Kramer(eds.), Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress. Wiley, New York. pp. 87-103.
- Tyree, M.T., Y.N.S. Chenug, M.E. Macgregor and A.J.B. Talbot. 1978. The characteristics of seasonal and ontogenic changes in the tissue-water relations of *Acer*, *Populus*, *Tsuga* and *Picea*. Can. J. Bot. 56: 635-647.
- Tyree, M.T. and H.T. Hammel. 1972. The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure-bomb technique. J. Expt. Bot. 23: 267-282.
- Woodward, F.I. 1987. Climate and Plant Distribution. Cambridge University Press. Cambridge. 174p.
- Zhang, J. and W.J. Davies. 1988. Abscisic acid pro-

duced in dehydrating roots may enable the plant to measure the water status of the soil. *Plant Cell and Environment* 12: 73-81.

Zimmermann, M.H. 1983. *Xylem Structure and the Ascent of Sap*. Springer-Verlag, Berlin. 143p.

(1997년 12월 20일 접수)