

입지 유형에 따른 중부지방 소나무의 수분생리 특성

신만용¹ · 정동준² · 신창섭³

¹국민대학교 산림자원학과, ²경희대학교 생명과학대학 생태시스템공학 전공, ³충북대학교 산림자원학과
(2004년 1월 16일 접수; 2004년 2월 20일 수락)

Characteristics of Water Relation Parameters for *Pinus densiflora* at Different Aspects in Central South Korea

Man Yong Shin¹, Dong-Jun Chung² and Chang-Seob Shin³

¹Department of Forest Resources, Kookmin University, Seoul, Korea.

²Department of Ecosystem Engineering, Kyunghee University, Suwon 449-701, Korea

³Department of Forest Resources, Chungbuk University, Cheongju, Korea.

(Received January 16, 2004; Accepted February 20, 2004)

ABSTRACT

This study was conducted to provide a national forest management method for natural *Pinus densiflora* forest stands in central South Korea based on growth characteristics and water relations. Average stand volume per hectare was 259.3m³ in the pine study site. Basal area, volume, annual mean increment and periodic annual increment of DBH for 10 years at each slope aspect appeared to decrease as the aspect shifts from north to south. Stems per hectare showed the lowest value at the northern aspect. Maximum water potentials measured between 12 and 14 o'clock were analyzed by aspect and elevation. Water potential of pine decreased as the aspect changed from north to south, and water potential increased at lower elevations. Soil water content for the pine stands tended to decrease as the aspect shifted from north to south. Water potential and soil moisture content were highly correlated. Soil water deficits indicate that pines have a higher moisture requirement on the ridge and the southern aspect.

Key words : environmental factors, growth, *Pinus densiflora*, pressure chamber, water potential

I. 서 론

소나무 속은 지구 전체에 약 100여종이 있는데 전부 북반구에만 나타나는 것이 특징적이다. 북으로는 극지방에서 과테말라, 서인도제도, 북아프리카, 인도네시아까지 나타난다. 특히 소나무(*Pinus densiflora* Sieb. & Zucc.)는 한국, 중국 동북지방의 압록강 연안, 산둥반도, 일본의 시코쿠(四國), 규슈(九州), 혼슈(本州)에서 자란다(Mirov, 1967).

우리나라에서는 북위 33°20'으로부터 43°20'에 이르

기까지 전국의 고산지대를 제외한 온대림지역의 대부분을 점유하여 1개 수종으로서는 우리나라 수종 중 최대 면적을 차지한다. 소나무는 북위 37°~38°사이에서 가장 많이 나타나나 남부 도서지방에 있어서는 해송에 피압 되어 그 영역이 감소되었으며 북부에 있어서는 신갈나무림 지역 및 고원 또는 심산지대에는 침입하지 못하고 다만 산록지대 또는 부락 부근에서 단순림 혹은 산생(散生)상태로 잔존하였을 뿐이다. 소나무림은 모든 방위에서 분포하나 일반적으로 남향이나 서향보다는 북향이나 동향에서 생장이 양호하다. 지형

별 생육상태는 상층사면보다 하강사면에서 생장이 양호하다(임업연구원, 1999).

산복에서 산정으로 갈수록 생장이 불량한 것은 지형 특성상 토양수분조건이 생장 제한 요인이기 때문이다. 소나무는 건조하고 입지 비옥도가 낮은 능선 사면부나 침식이 발생된 입간 나지 등에서도 잘 적응하여 생육할 수 있으나 이들 지역이 소나무림의 생장 적지라는 의미는 아니며 산록이나 계곡부의 양분이나 수분조건이 양호하고 활엽수류의 경쟁이 배제된 지역에서 양호한 생육상태를 보인다(임업연구원, 1999).

따라서 본 연구는 한국 중부지방에 분포하고 있는 소나무 천연 임분을 대상으로 사면별(북, 서, 남) 소나무 단순림의 생장을 추정하며, 또한 입지환경별 수분생리 특성을 구명하여 다양한 산림의 기능과 생태적으로 안정되며 지속적으로 생산이 가능한 산림 경영체계의 구축에 필요한 기초 자료를 제공하기 위하여 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 연구재료

본 연구의 조사지는 공주영림서 충주관리소 관내에서 비교적 생장 상태가 양호한 소나무림을 대상으로 수행하였다. 조사지의 해발고도는 200~600m의 범위에 속하고 경사는 25~30°로 비교적 심하며, 능선의 방향은 북, 남 그리고 서향으로 구분되어져 있다. 능선으로부터 하부까지 고르게 소나무가 분포하며 특히 각 사면 능선에는 소나무 단순림 형태로 구성되어 있다.

조사지의 소나무림을 대상으로 남사면, 북사면 그리고 서사면에 대한 입지와 생육분포를 고려하여 표본점을 설정하였다. 표본점의 형태는 원형으로 하였으며, 표본점 내에 평균 30~40본이 포함되도록 표본점의 크기를 0.05ha(반경 12.62m)로 설정하였다. 표본점의 수는 사면 및 고도별로 9개씩을 설치하였다. 설치된 각 표본점별로 표본점의 중심점과 개체목간의 방위와 수평거리를 측정하여 개체목들의 위치를 파악하였으며, 각 개체목에 대해 흉고직경, 수고, 지하고, 수관폭(4방향)을 측정하였다. 또한 직경의 연년생장량을 측정하기 위해서 생장추를 이용하여 각 표본점마다 10cm 간격의 흉고직경급에 따라 목편을 채취하였고, 채취된 목편의 연륜폭은 정밀 연륜측정기를 이용하여 수피부분에서 안쪽 방향으로 1/100mm 단위로 측정함으로써

수령과 흉고직경의 연년생장 자료를 분석하였다.

2. 입지환경별 토양 분석과 수분포텐셜 측정

소나무의 수분특성을 알기 위하여 수분 결차에 따른 생세포군의 팽압, 침투압, 원형질분리점의 침투압과 상대흡수율 등의 수분특성을 Tyree and Hammel(1972)의 P-V곡선법에 의해 측정하였다.

소나무 가지 중에서 충분히 광을 받고 생장하는 가지를 약 60cm 정도로 절취하여 10시간 이상 포수시킨 후, 다시 약 3~5cm 정도로 물 속에서 재 절단하여 압력통(pressure chamber)의 시료로 사용하였다. 압력통의 각 압력단계에 있어서 엽으로부터 침출되는 침출수량을 측정하기 위하여 흡습지를 vinyl tube(내경 15mm, 길이 5cm)속에 넣어 이것을 시료의 절단면에 접촉시켜 흡수시킨 후, 그 무게의 증감을 침출이 끝날 때까지 매 10분 간격으로 측정하였다. 압력통내의 압력은 O₂ gas를 사용했으며 침출량의 측정은 최초 2bar에서 시작하여 3bar씩 증압하면서 38bar까지 각각의 압력단계별로 측정했다. 시료는 입목에서 절취 후 24시간 이상의 것을 사용했고 측정후 80°C로 48시간 건조한 후 건물중을 측정하였다. 엽의 세포군내의 팽압, 침투압, 원형질분리점의 침투압과 세포의 내건성에 관계되는 수분특성인자의 측정은 Tyree and Hammel(1972)의 P-V곡선이론을 적용시켜 구했으며, 실험방법은 Cheung et al.(1975)과 한과 김(1980)의 방법에 따라 측정하였으며 이상과 같은 방법에 의하여 산출한 소나무 수분특성인자는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1은 입력통의 평형압 P의 역수인 $\frac{1}{P}$ 과 각각의 평형압단계에서 침출된 침출수량 V_e 의 관계를 나타낸 그림으로 이들 관계를 식으로 표현하면 다음 식과 같다.

$$\frac{1}{P} = \frac{V}{RTN_s - F(v)}$$

여기서 $V = V_0 - V_e$, V_0 = 최대포수시의 전세포군내의 침투수량, V_e = 압력통으로 어떤 압력을 가했을 때 팽압에서 엽세포로부터 침출된 수분량, N_s = Osmole 수, $F(v)/v$ = 세포의 팽압, R = 가스 정수(0.08207), T = 절대온도이다.

또한 소나무에 대한 입지환경별 최대 및 최소 수분포텐셜(water potential: Ψ_w) 측정을 위해, 항상 일정한 높이(수관 침투부로부터 3번째 측지의 양엽)의 남쪽으로 향한 측지의 일부분을 고지 전정 가위로 절단·채

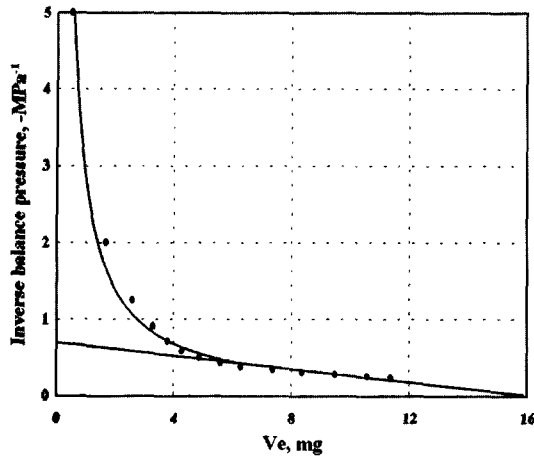


Fig. 1. Pressure-Volume curve on *Pinus densiflora*.

취하고, 동시에 임분내 온도를 측정하였으며, 채취된 잎을 Scholander *et. al.*(1965)이 고안한 압력통 방법을 통하여 해뜨기 전과 정오경 12~14시 사이에 “Pre-dawn”법에 의해 같은 개체목에서 5 반복으로 총 86개의 소나무의 수분포텐셜, 생중량과 건중량을 측정하였다. 또한 수분포텐셜을 측정한 각 소나무로부터 1m 떨어진 부위의 토심 30cm 내에서 토양을 채취하여 물리적 성질, 화학적 성질, 그리고 토양수분 함량을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 입지별 소나무의 생장 비교

전체 조사지 내에서 측정된 소나무에 대한 평균 ha 당 본수, 단면적, 단면적 평균직경, 단면적 평균수고, 재적, 흉고직경 평균 생장량, 흉고직경 정기평균 생장량 그리고 수령에 대한 조사 자료는 표 1에 요약하였다.

소나무의 수균 연령은 56년이었으며, ha당 평균 본수는 697본이었다. 재적은 ha당 259.3m³이고 단면적 평균직경이 29.7cm로서 매우 양호한 생육본수와 생장

을 나타내고 있다. 방위별 재적은 북사면이 322.6m³/ha로 가장 높는데, 이는 입목 본수가 평균 550본으로 다른 사면 보다 가장 적었지만 단면적 평균직경이 34.7cm와 수고가 14.7m로 월등히 큰 크기를 갖기 때문이다. 그러나 남사면의 평균 생장량과 최근 10년간의 정기평균 생장량은 높은 임분밀도로 인한 종내경쟁에 의하여 가장 적은 값을 보이고 있다(Table 1).

2. 입지별 소나무의 수분포텐셜 비교

수목의 생장에 필요한 여러 가지 물질 가운데 가장 많은 양이 필요한 것이 수분이다. 따라서 산림생태계에서 식물 생육에 적합한 온도가 갖춰진 지역에서 수목이 자랄 수 있는 가능성은 수분에 의해 결정된다. 수목에 있어서 수분 이동과 생리 연구를 위한 중요한 에너지량은 수분포텐셜(Ψ_w)이다. 표 2는 중부지방 소나무의 수분특성을 알기 위하여 수분결차에 따른 생체포군의 팽압, 침투압, 원형질분리점의 침투압과 상대습수율 등의 수분특성인자를 P-V곡선법에 의해 얻어진 결과이다. 침투압 π_o 와 초기원형질분리점의 침투압으로 그 값이 낮을수록 건조에 강한 것으로 말할 수 있는데, Table 2의 중부지방 소나무의 π_o , π_p 값은 각각 -1.43와 -2.32Mpa으로 한 등(1985)이 보고한 강원도 소나무(-2.12, 12.67Mpa)의 값보다 높은 값을 보였으며, 그 외 수분 특성인자들은 한 등(1985)의 값들과 다소의 차이는 있으나 비슷한 값들을 나타내고 있다. 이것은 내건성에 관계되는 π_o , π_p , V_p/V_o , RWC^{dp} 등의 값을 고려할 때 중부지방 소나무가 강원도 소나무보다 비교적 내건성에 약한 것으로 볼 수 있다.

Scholander *et. al.*(1965)은 수분포텐셜을 직접 측정하기 위하여 압력통을 제작하여 통속에 방금 자른 나뭇가지를 꽂고, 질소가스를 투입하면서 끊어진 가지 표면에 물방울이 다시 나타나는 때의 압력을 측정하여 나뭇가지의 수분포텐셜을 추정하였다. 본 연구에서는 Scholander *et. al.*(1965)에 의해 고안된 압력통을 이

Table 1. Summary of stand attributes by aspects in study area.

Aspect	N/ha	BA(m ² /ha)	dg(cm)	hg(m)	V(m ³ /ha)	MAI(mm/yr)	PAI(mm/yr)	Age
N	550	50.2	34.7	14.7	322.6	5.90	3.28	56
W	700	47.0	29.2	11.8	260.9	5.88	2.80	54
S	840	41.1	25.1	10.3	194.6	4.93	2.63	58
Average	697	46.1	29.7	12.3	259.3	5.57	2.90	56

N: Stems per hectare, BA: Basal Area(m²/ha), dg:Quadratic mean DBH(cm), V: Volume(m³/ha), hg:Quadratic mean Height(m), MAI: Mean annual increment of DBH(mm/yr), PAI: Periodic annual increment of DBH in 10 years(mm/yr)

Table 2. Water relations parameter of *Pinus densiflora*.

π_o -Mpa	π_p -Mpa	Vp/Vo%	Vo/Vt%	Va/Vt%	RWC ^{dp} %
-1.43	-2.32	71.61	67.9	32.1	87.65

π_o : the original osmotic pressure, π_p : the osmotic pressure at incipient plasmolysis, Vo: the osmotic water volume at full hydration, Vp: the osmotic water volume at incipient plasmolysis, Vt: the volume of symplasmic and apoplastic water at maximum turgor, Va: the apoplastic water volume, RWC^{dp}: the relative water content at incipient plasmolysis.

Table 3. Estimates of water potential(bar) by aspects and altitude in study area.

Aspect/Altitude	n	max.	midday	night	midday/night
N	26	-29.0	-26.7 4.4	-19.4 4.6	7.3 3.2
W	30	-29.5	-27.2 2.1	-16.6 4.0	10.6 5.4
S	30	-33.0	-28.5 6.4	-19.5 0.7	9.0 5.7
upper	16	-37.0	-32.0 4.6	-20.2 5.7	9.0 5.4
middle	24	-33.0	-26.0 4.4	-17.9 3.7	8.6 4.6
lower	23	-30.0	-23.8 4.4	-17.5 1.7	6.3 2.7

용하여, 오후 12~14시 사이에 측정된 최대 수분포텐셜을 각 방위 및 고도별로 구분 측정하였다(Table 3).

북사면에서의 소나무 수분포텐셜은 맑은 한낮의 정오시간에 최대값이 -29 bar로 다른 사면 보다 높은 값을 보인 반면 남사면에서 가장 낮은 -33 bar 값을 나타냈다. 한밤의 최소값도 최대값과 같이 북사면에서 서사면을 지나 남사면으로 가면서 감소하는 경향을 나타내고 있다. 해발고도별로 살펴보면, 상부 능선에서의 최대값이 -37 bar로 가장 낮았으며 하부로 내려가면서 증가하였는데 최소값도 동일한 경향을 보이고 있다 (Table 3).

Fig. 2는 엽의 수분함량(%)과 최대 및 최소의 수분포텐셜과의 관계를 나타낸 것으로, 회귀분석 $\Psi_w = (0.15+803/\text{엽의 수분함량}^2)$ 의 함수식으로 분석되었으며 결정계수 $R^2 = 0.96$, $S_{xy} = \pm 1.7$ 으로 고도의 유의성을 나타내고 있다.

소나무 잎의 수분포텐셜과 토양내의 수분함량과의 관계를 입지별(방위별)로 살펴보기 위해 수분포텐셜을 측정된 각 소나무로부터 1m 떨어진 부위의 토심 30cm 내에서 토양을 채취하여 물리적 성질, 화학적 성질, 그리고 토양수분 함량을 분석한 결과는 Table 4 과 같다. 각 방위별 pH값은 모두 강산성의 사질양토를 띄고 있으며, 염기포화도(Exchangeable cations : cmolc/kg) 과 양이온 치환용량(C.E.C : cmolc/kg)는 북사면에서 각각 133.0과 151.5로 가장 양호하였고 남사면으로 갈수록 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 토양내의

수분함량(%)은 남사면에서 8.8%로 북사면의 10.6% 보다 약 2%정도 낮은 것으로 분석되었다.

토양 수분함량에 따른 소나무 잎의 수분함량과의 관계를 Fig. 3에 나타냈으며, 회귀분석한 결과 토양내 수분함량 증가에 따라 잎의 수분 함량도 증가하는 양의 상관관계를 보이고 있다. 여기서 소나무는 토양내 수분함량(%) = $109+7.58 \times \text{잎의 수분함량}(\%)$ 으로서 결정계수 $R^2 = 0.58$, $S_{xy} = 20.4$ 로 분석되었다. 이것은 토양 수분조건이 열악할수록 잎의 수분함량도 적어짐을 알 수 있다. Fig. 4는 토양 수분함량에 따른 소나무의 수분포텐셜의 관계를 회귀분석한 것으로 비교적 높은 음의 상관관계를 나타냈다. 여기서 소나무는 $\Psi_w = 44.6-2.334 \times \text{토양수분함량}(\%)$ 으로서 결정계수 $R^2 = 0.73$,

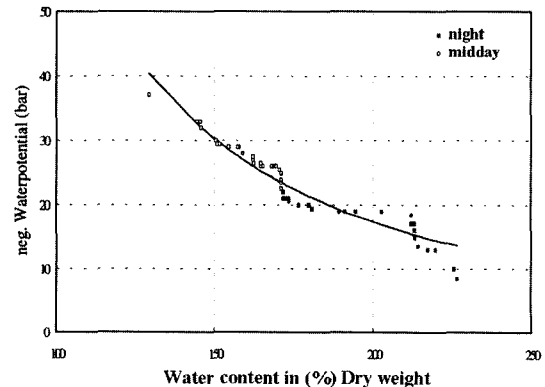


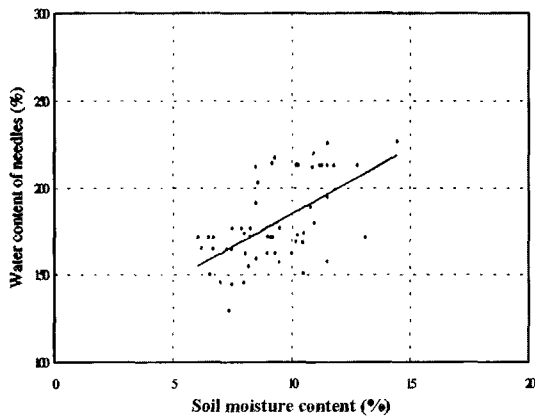
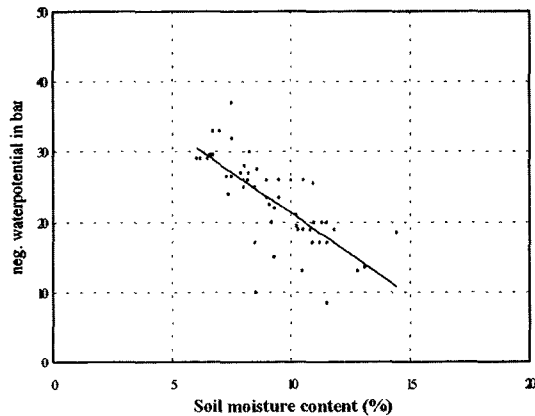
Fig. 2. Relation between water content in % dry weight and water potential(Ψ_w) of *Pinus densiflora*.

Table 4. Physical and chemical properties of soil by aspects in study area.

Aspects	H(%)	Na(%)	K(%)	Ca(%)	Mg(%)	Fe(%)	Mn(%)	Al(%)	C.E.C (cmolc/kg)
N	1.61(0.89)	1.12(0.87)	2.29(1.87)	95.2(64.7)	35.5(20.9)	0.15(0.12)	1.84(1.51)	13.8(9.1)	151.5
W	1.50(1.26)	1.07(0.90)	1.30(1.13)	57.1(45.15)	18.6(15.3)	1.32(1.18)	1.01(0.88)	40.2(34.6)	121.8
S	0.35(0.33)	1.06(0.98)	0.94(0.74)	69.2(63.8)	21.1(19.5)	0.00(0.00)	1.15(1.06)	14.7(13.53)	108.5

Aspects	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	Texture	Sand	Silt	Clay	W.C.(%)	Exchangeable cations (cmolc/kg)(%)
N	4.7	4.0	SiL	16.1 ± 5.6	72.1 ± 3.5	11.8 ± 3.4	10.6 ± 1.6	133.0(70.4)
W	4.4	3.7	SiL	10.6 ± 1.2	75.4 ± 2.4	14.0 ± 2.5	9.4 ± 1.5	77.2(61.6)
S	4.7	4.0	SiL	10.0 ± 2.5	72.3 ± 3.2	17.6 ± 4.4	8.8 ± 1.6	91.2(84.1)

$S_{xy} = 4.2$ 로 분석되었다. 이것은 토양 수분조건이 열악할수록 잎의 수분포텐셜은 낮은 값을 나타내 뿌리에서 수분을 빨아드리려는 흡수력이 커지는 것으로 해석할 수 있다.

**Fig. 3.** Water content of *Pinus densiflora* by soil moisture content.**Fig. 4.** Water potential of *Pinus densiflora* by soil moisture content.

결론적으로 소나무는 남사면의 생육 본수가 다른 사면 보다 매우 많은 것으로 나타났으며, 또한 토양내 수분함량이 낮아 이에 따른 소나무의 수분포텐셜은 열악한 입지환경 조건과 심한 종내경쟁에 의하여 매우 낮은 값을 보였다. 따라서 소나무의 연평균 및 최근 10년간 직경성장량은 북사면에서 남사면으로 가면서 낮은 값을 나타내 남사면은 시급히 간벌이 시행되어야 할 것으로 판단된다.

IV. 적 요

본 연구는 우리나라 중부지방의 소나무 천연 임분을 대상으로 입지환경별 성장 및 수분생리 특성을 파악하여 합리적인 경영방안을 제시하기 위하여 수행되었다. 연구 대상지의 소나무림은 평균 206.5m³/ha를 나타냈으며, 각 방위별로 본수, 단면적, 재적 등의 임분 통계량을 보면 북사면에서 남사면으로 갈수록 증가하는 경향을 보이고 있지만 연년성장량과 10년간의 정기평균 성장량은 반대로 남사면에서 가장 낮은 값을 나타내고 있다.

오후 12~14시 사이에 측정된 최대 수분포텐셜(Ψ_w)을 각 방위 및 고도별로 구분하여 분석한 결과 소나무는 북사면에서 남사면으로 가면서 수분포텐셜이 낮아지는 경향을 보였으며, 고도별 수분포텐셜은 상부에서 하부로 가면서 증가하였다. 각 방위별 토양 수분함량은 북사면에서 남사면으로 가면서 감소하는 경향을 나타냈고, 토양 수분함량에 따른 소나무의 수분포텐셜은 고도의 음의 상관관계를 나타냈다. 따라서 연구 대상지의 소나무는 남사면과 능선에서 수분 요구도가 높은데, 이는 이곳에서의 많은 증발량에 따른 수분 결핍에 의한 종내 수분 경쟁의 결과로 판단된다.

인용문헌

- 임업연구원, 1999: 소나무 소나무림, 205pp.
- 한상섭, 김광윤, 1980: 수목의 수분특성에 관한 생리·생태학적 해석 (I).-Pressure Chamber technique에 의한 내건성 수종의 진단-. *한국임학회지*, (50), 25-28.
- 한상섭, 전두식, 최홍선, 1985: 수목의 내건성에 관한 연구. 강원대학교 임과대학 연습림연구보고(5), 3-7.
- Cheung, Y. N. S., M. T. Tyree, and J. Dainty, 1975: Water relations parameters on single leaves obtained in a pressure bomb and some ecological interpretations. *Canadian Journal of Botany*, **53**, 1342-1346.
- Mirov, N. T., 1967: The Genus *Pinus*. The Ronald Press Company, New York, 260-283.
- Scholander, P. E., Hammel, H. T., Bradstreet, E. D. and Hemmingsen, E. A., 1965: Sap pressure in vascular plants. *Science*, **148**, 339-346.
- 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. *Journal of Experimental Botany*, **23**, 267-282.