

植物的水容特征与其耐旱性的关系*

张斌 张桃林

柳建国 柯建国

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

(南京农业大学, 南京 210095)

摘要 在自然风晾条件下,研究了不同植物器官的相对含水量、水势及比水容之间的相互关系。结果表明:植物叶片阻止体内蒸腾失水的能力大小顺序依次为:花生(*Arrachis hypogaea*)>甘薯(*Ipomoea batatas*)>大豆(*Glycine max*)>玉米(*Zea mays*),各植物茎的保水能力相差不大;甘薯的茎、叶在风晾4 h后仍未永久凋萎,其他植物的茎、叶在风晾1~3 h就出现永久凋萎;花生、甘薯、大豆和玉米叶片风晾3~4 h后,其水势的下降幅度分别为:1.00, 1.30, 1.80和2.70 mPa,花生、甘薯、大豆茎的水势下降幅度分别为:1.95, 1.40和1.30 mPa;植物茎、叶的水势与其相对含水量具有较好的对数关系;植株茎、叶的比水容值范围在0.0258~0.6835 mPa⁻¹之间,叶片的比水容大于茎的比水容。因此,植物的水容特征表明不同植物茎、叶的保水、释水能力不同,因而其耐旱、抗旱性不同。玉米和大豆的耐旱性小于花生、甘薯的耐旱性。

关键词 耐旱性;茎、叶水势;茎、叶比水容

Relationship of hydraulic capacitance and draught endurance of plants Zhang Bin, Zhang Tao-Lin (Nanjing Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing 210008), Liu Jian-Guo and Ke Jian-Guo (Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095), *J. Plant Resour. & Environ.* 1996, 5(2): 23~27

Under the simulated wind-dried condition with gentle breeze, the relationship of relative water content, water potential and specific capacitance of plants' leaf and stem was reported. The results showed that capacity of preventing water from loss through transpiration in leaf fell in the order of peanut (*Arrachis hypogaea*) (PN) > sweet potato (*Ipomoea batatas*) (SP) > soybean (*Glycine max*) (SB) > corn (*Zea mays*) (CN) and varied little in stem. Water content of SP in leaf and stem didn't reach the permanent wilting point even if SP was exposed 4 h in gentle breeze drying, but the others spent less than 1~3 h in the processing. Meanwhile, the decrease of water potential in leaf was 1.00, 1.30, 1.80 and 2.70 mPa for PN, SP, SB and CN, respectively, and in stem 1.95, 1.40 and 1.30 mPa for PN, SP and SB, respectively. Plant water potential non-linearly correlated with relative water content in leaf and stem of the crops studied and specific capacitance ranged from 0.0258 to 0.6835 mPa⁻¹ and the values of leaves were larger than those of stems. To sum up, properties of plant hydraulic capacitance indicated that the capacities of water resistance and water release greatly varied with plants and, therefore, drought endurance of sweet potato and peanut was more powerful than that of corn and soybean.

Key words drought endurance; water potential of leaf and stem; hydraulic capacitance of leaf and stem

人们对土壤-植物-大气连续体(SPAC)水分循环机制及其模拟研究过程中发现,该系统中的水流常以不同的速度运行,其原因是植物中存在一定的水分,具有调节该系统中水分运行方式的作用,因而引进水容的概念。水容表示单位水势变化引起的植物组织内含水量的变化^[1,2],可用下式表示:

$$C = \frac{dW}{d\psi} = W_{\max} \frac{d\theta}{d\psi} = W_{\max} C_1 \dots \dots \dots (1)$$

式中: C , 水容; dW , 植物组织储水量变化; $d\theta$, 植物组织含水量变化; $d\psi$, 植物组织水势变化; W_{\max} , 膨胀组织的含水量; C_1 ; 比水容。

许多研究还提出了其他形式的计算水容的公式^[3,5,6], 然而, 由于植物相对含水量(RWC)与植物水势之间存在着紧密的关系^[4], 因而经常通过这一关系求植物的比水容。植物组织的相对含水量是指当时的含水量与充分饱和时组织中水量的比值, 计算公式为:

$$RWC = \frac{W_f - W_d}{W_s - W_d} \dots \dots \dots (2)$$

式中: RWC, 相对含水量; W_f , 实际鲜重; W_d , 烘干重; W_s , 植物组织在水中浸泡 1 h 后不存在任何水量亏缺, 充分饱胀时的重量。植物组织的比水容由该组织的水势与其相对含水量曲线求导而得:

$$C_1 = \frac{dRWC}{d\psi} \approx \frac{\Delta RWC}{\Delta\psi} \dots \dots \dots (3)$$

式中: $dRWC$, 相对含水量变化; ΔRWC , 相对含水量的差值; $\Delta\psi$, 水势的差值; 其他符号同前。

由于不同植物组织的贮水量不同, 用于补充蒸腾丧失水分的能力也不相同。因而表现出不同的耐旱性。研究不同植物的耐旱性与其水容特性之间的相互关系, 既有助于理解 SPAC 的水分运移机制, 对设计合理的利用模式, 充分利用水资源也具有一定的意义。

1. 材料与 方法

自大棚中, 取田间水分条件相同的玉米 (*Zea mays*)、花生 (*Arrachis hypogaea*)、甘薯 (*Ipomoea batatas*) 和大豆 (*Glycine max*) 等植物至实验室内, 快速洗净, 吸干水分, 分别取茎和叶样品, 称重 (W_0) 并散晾在微风下备用。其中第一份样品立即浸泡 1 h, 称重 (W_f), 测定水势 (ψ), 再测得烘干重 (W_d); 其他样品每间隔一定时间 (t) 处理一组植物样品: 称重 (W_f), 同时测定水势 (ψ), 浸泡 1 h 后再称重 (W_s), 称重后烘干得烘干重 (W_d)。按公式 (2) 和 (3) 计算相对含水量和比水容。植物水势用 ZLZ-4 型植物水分状况测定仪 (压力室) 测定, 重复 3 次。

2. 结果与 讨论

2.1 植物茎、叶阻止体内蒸腾失水的能力

在本实验中, 茎、叶相对含水量 (RWC) 反映了茎、叶阻止体内蒸腾失水的能力, 即耐旱性。一定时间内, RWC 下降幅度越大, 则其保水能力越小。研究结果 (表 1) 表明: 甘薯、大豆、花生叶风晾 4h 和玉米叶风晾 3h 后, RWC 分别下降 0.374, 0.754, 0.055 和 0.499; 甘薯、大豆

表 1 不同植物茎、叶的相对含水量和水势*

Tab 1 Relative water content and water potential of leaves and stems of the plants studied

茎或叶 Stem and leaf	t (h)	W ₀ (g)	W _i (g)	W _s (g)	W _d (g)	RWC	ψ (mPa)
甘薯叶 Leaf of sweet potato				5.628	0.820	1.000	-0.80
	0	4.812	4.812	5.390	0.670	0.878	-0.90
	1	4.670	4.000	5.485	0.660	0.692	-1.40
	2	4.648	3.772	4.818	0.652	0.749	-2.00
	3	4.726	3.705	5.305	0.645	0.657	-2.05
	4	4.689	3.614	5.378	0.661	0.626	-2.10
大豆叶 Leaf of soybean				4.278	0.920	1.000	-0.85
	0	3.315	3.315	3.935	0.708	0.808	-1.10
	1	3.428	1.815	3.338	0.756	0.410	-1.45
	2	3.402	1.612	2.815	0.919	0.366	-1.75
	3	3.374	1.850	2.522	0.633	0.644	-2.40
	4	3.114	1.065	2.528	0.587	0.246	-2.65
花生叶 Leaf of peanut				5.520	1.330	1.000	-0.90
	0	6.920	6.920	7.100	1.659	0.967	-0.50
	1	6.510	5.890	6.285	1.432	0.919	-1.40
	2	6.865	6.000	6.230	1.621	0.950	-1.80
	3	6.534	5.364	5.775	1.480	0.904	-2.00
	4	6.630	5.172	5.378	1.600	0.945	-1.90
玉米叶 Leaf of corn				5.268	1.450	1.000	-1.50
	0	3.156	3.156	3.538	0.798	0.861	-1.20
	0.5	3.015	2.488	3.280	0.752	0.687	-1.80
	1	3.330	2.485	3.461	0.840	0.628	-2.00
	2	3.328	2.190	3.311	0.794	0.555	-4.20
	3	3.040	1.705	2.665	0.740	0.501	-4.00
甘薯茎 Leaf of sweet potato				4.150	0.570	1.000	-0.10
	0	3.080	3.080	3.205	0.510	0.954	-0.55
	1.5	3.015	2.755	3.115	0.362	0.869	-1.30
	2	3.162	2.865	3.248	0.355	0.868	-1.60
	3	3.190	2.750	3.368	0.371	0.794	-1.75
	4	3.510	2.932	3.512	0.481	0.809	-1.50
大豆茎 Stem of soybean				4.044	0.820	1.000	-0.15
	0	3.245	3.245	3.740	0.368	0.853	-0.15
	1	3.451	2.955	3.278	0.511	0.883	-0.70
	2	3.372	2.808	3.445	0.502	0.784	-1.10
	3	3.520	2.736	3.305	0.584	0.791	-1.90
	4	3.190	2.280	2.868	0.478	0.754	-1.45
花生茎 Stem of peanut				4.050	0.870	1.000	-0.15
	0	5.880	5.880	6.200	1.085	0.937	-0.20
	1	5.605	5.081	5.798	0.980	0.851	-0.80
	2	5.820	4.874	5.905	1.118	0.785	-0.85
	3	5.540	4.520	5.421	0.980	0.797	-1.20
	4	5.595	4.205	5.340	1.112	0.732	-2.10

* t: 时间 Time; W₀: 样品鲜重 Sample fresh weight; W_i: 样品实际鲜重 Sample actual fresh weight; W_s: 样品饱和重 Saturated sample weight; W_d: 干重 Dry weight; RWC: 相对含水量 Relative water content; ψ: 水势 Water potential

和花生茎风晾4 h后, RWC分别下降0.191, 0.246和0.268。因此, 对叶而言, 其保水能力大小次序为: 花生>甘薯>大豆>玉米, 对茎而言, 其顺序为: 甘薯>大豆>花生, 但彼此间相差不大。

2.2 失水后植物茎、叶水分恢复能力

蒸腾失水后, 茎、叶吸水后不能消除水分亏缺而恢复原状, 称为永久凋萎。实验结果(表1)表明: 风晾4 h后甘薯叶的 $W_s > W_0$, 说明仍未达到永久凋萎点; 而大豆及花生叶在1 h后, 玉米叶在2 h后均出现 $W_s < W_0$; 甘薯茎、大豆茎和花生茎分别在4 h, 1 h和3 h后出现 $W_s < W_0$ 。

由此可见, 持续干旱一定时间后, 甘薯的茎和叶仍可通过吸水, 恢复到正常状态; 而玉米叶、大豆叶和花生叶的干旱恢复力则较弱。同时, 同一植物茎和叶的干旱恢复力也不相同, 如花生茎比花生叶的恢复力强。

2.3 失水后植物茎叶的水势(ψ)变化

甘薯、大豆和花生3种作物叶片吸水膨胀后叶水势基本相同, 在 $-0.80 \sim -0.90$ mPa, 而玉米叶吸水膨胀后的水势却仅为 -1.5 mPa; 玉米叶风晾时间最短(3 h), 但其水势下降幅度最大, 为 2.70 mPa, 甘薯、大豆、花生风晾4 h后, 水势分别下降: $1.30, 1.80$ 和 1.00 mPa。甘薯茎、大豆茎和花生茎的水势变化范围分别为: $-0.10 \sim -1.50$ mPa, $-0.15 \sim -1.45$ mPa和 $-0.15 \sim -2.10$ mPa; 下降幅度分别为: $1.40, 1.30$ 和 1.95 mPa。

结果表明: 与其他3种作物相比, 玉米叶的吸水需要消耗更多的能量, 而且失水迅速; 各植物茎的水势变化幅度基本相同; 而且, 茎的水势在风晾过程中一直高于叶的水势, 说明植物具有保持体内水势梯度的内部机制, 茎和叶渗透压的差异可能是其中的主要原因。

2.4 植物茎和叶的比水容

由于茎和叶的体积大小不同, 其水容变化很大, 而且水容值的求得也较为困难, 因而常用比水容间接反映植物的水容特征。实验结果(表2)表明: 植物茎和叶的水势与其相对含水量具有较好的相关性, 且大多数呈对数函数关系, 与1991年Shao Ming-An等^[4]研究结果有所不同; 相关系数均大于0.800, 其中玉米叶的相关系数高达0.995; 植物茎的相关性高于植物叶。

植物茎和叶的比水容范围在 $0.0258 \sim 0.6835$ mPa⁻¹之间, 其大小的顺序依次为: 甘薯叶>大豆叶>花生叶>玉米叶; 花生茎>甘薯茎>大豆茎; 叶片的比水容大于茎的比水容。

由此可见, 不同植物种类及茎叶, 失水后吸水恢复的能力、阻止体内蒸腾失水的能力以及水势值及其变幅不同, 形成了植物各自的水容特征, 是不同植物耐旱、抗旱性差异形成的原因之一。甘薯的茎、叶比水容较大, 因而甘薯是这4种作物中最为耐旱的作物, 花生的耐旱性次之, 大豆和玉米的耐旱性则较差

3. 结 论

(1) 植物叶片阻止体内蒸腾失水的能力大小顺序依次为: 花生>甘薯>大豆>玉米, 各植物茎的保水能力相差不大; 甘薯的茎和叶在风晾4 h后仍未永久凋萎, 其他植物的茎和叶在风晾1~3 h后就出现永久凋萎;

(2) 花生、甘薯和大豆叶风晾4h, 玉米叶风晾3h后, 其水势的下降幅度分别为: $1.00,$

1.30, 1.80 和 2.70 mPa。花生、甘薯和大豆茎的水势下降幅度分别为:1.95, 1.40 和 1.30 mPa;

(3) 植物茎叶的水势与其相对含水量具有较好的非线性对数关系;植株茎、叶的比水容值范围在 0.0258~0.6835 mPa⁻¹之间;叶片的比水容大于茎的比水容。

总之,水容特征表明玉米和大豆的茎和叶的保水及释水能力最小,因而,其耐旱性小于花生和甘薯的耐旱性。

表 2 不同植物茎和叶的比水容

Tab 2 Specific capacitances of leaves and stems on the plants studied*

茎或叶 Stem and leaf	RWC~ ψ 相关方程 Correlation equation	比水容方程 Capacitance equation	平均比水容 Mean specific capacitance
甘薯叶 Leaf of sweet potato	Y1 = -0.2096 ln X + 0.9968 R ² = 0.922 Y2 = 1.007X ^{-0.261} R ² = 0.913 0.625 ≤ Y ≤ 1.000 -2.10 ≤ X ≤ -0.80	C1 = -0.2096/X C2 = -0.263X ^{-1.261}	0.6835
大豆叶 Leaf of soybean	Y1 = -0.3709 ln X + 0.9857 R ² = 0.721 Y2 = 1.0454X ^{-0.6412} R ² = 0.641 0.625 ≤ Y ≤ 1.000 -2.10 ≤ X ≤ -0.80	C1 = -0.3709/X C2 = -0.6703X ^{-1.6412}	0.6121
花生叶 Leaf of peanut	Y1 = -0.04061 ln X + 0.9922 R ² = 0.645 Y2 = 0.9922X ^{-0.0424} R ² = 0.604 0.904 ≤ Y ≤ 1.000 -2.00 ≤ X ≤ -0.50	C1 = -0.0406/X C2 = -0.0421X ^{-1.0424}	0.1536
玉米叶 Leaf of corn	Y1 = -0.2858 ln X + 1.0187 R ² = 0.987 Y2 = 1.11e ^{-0.189X} R ² = 0.979 0.625 ≤ Y ≤ 1.000 -4.20 ≤ X ≤ -1.80	C1 = -0.2858/X C2 = -0.2098e ^{-1.189X}	0.0868
甘薯茎 Stem of sweet potato	Y1 = -0.1177 ln X + 1.00114 R ² = 0.935 Y2 = 1.0153X ^{-0.1312} R ² = 0.925 0.794 ≤ Y ≤ 1.000 -1.50 ≤ X ≤ -0.10	C1 = -0.1177/X C2 = -0.1332X ^{-1.1312}	0.1545
大豆茎 Stem of soybean	Y1 = 0.9876X ^{-0.1472} R ² = 0.895 Y2 = -0.1283 ln X + 0.9849 R ² = 0.894 0.754 ≤ Y ≤ 1.000 -1.90 ≤ X ≤ -0.15	C1 = -0.1454X ^{-1.1472} C2 = -0.1283/X	0.0258
花生茎 Stem of peanut	Y1 = 1.0209X ^{-0.1719} R ² = 0.950 Y2 = 1.0457e ^{-0.0607} R ² = 0.942 0.732 ≤ Y ≤ 1.000 -2.10 ≤ X ≤ -0.15	C1 = 0.1755X ^{-1.1719} C2 = -0.0635e ^{-0.0607}	0.3753

* Y: 相对含水量 Relative water content; X: 植物水势(mPa) Plant water potential; C: 植物比水容 Plant specific capacitance

参 考 文 献

- 1 黄明斌, 邵明安. 1994: 土壤学进展 22(3):20~26.
- 2 康绍忠, 刘晓明, 熊运章. 1994: 土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用, 水利电力出版社, 北京. 75~78 页.
- 3 Hardegree S P. 1989: *Journal of Experimental Botany* 40: 1099~1104
- 4 Shao Ming-An, L P Simmonds, Z X Chen. 1991: *Pedosphere* 1(3): 193~206.
- 5 Tumer N C. 1988: *Irrigation Sc.* 9: 289~308.
- 6 Wallace J S, P V Biscoe. 1983: *Journal of Agricultural Science* 100(3): 591~600.

(责任编辑:盛国英)