

玉米和小麦幼苗根系导水率的测定与分析

周莉娜, 曲 东

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 采用压力室法测定了玉米和小麦苗期的根系导水率, 并对升压法和降压法进行了比较。玉米苗期根系导水率测定结果表明, 根系水流速率(J_v)随压力增加而增加, 当静水压力 $\Delta P < 0.8$ MPa 时, 降压法测得的水流速率显著大于升压法, ΔP 为 0.8~1.2 MPa 时两者的测定结果基本相同, 表明降压法测得的 J_v 与升压法的 J_v 之间的数值变化随 ΔP 压力改变有一个临界点。先升压再降压或降压后再升压过程比较发现, 后一过程的 J_v 总是大于前一过程, 说明压力诱导可能改变水分传导的方式。在 0~2.0 MPa 压力范围中, 对玉米水培和小麦土培试验的降压法测定中, J_v 都会出现一个平台, 表明其导水过程存在着特定的传导机制。

关键词: 根系导水率; 升压法; 降压法; 玉米; 小麦

中图分类号: S311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)03-0115-04

根系导水率(L_{pr})是衡量植物吸收与传导水分能力的重要指标之一, 可直接反映植物水分生理与土壤水分供应状况的关系。根系导水率用木质部的水流速率(J_v)与根表及根木质部水势差(ΔP)的比值($L_{pr} = J_v / \Delta P$)表示。压力室法测定植物根系导水率, 操作简便且速度快, 准确地反映出在气温、风速、空气湿度及土壤湿度等环境整体作用条件下, 植物内在需水的要求。 J_v 为切口木质部静水压力引起的水流速率, ΔP 为施加的静水压力。根系对水分的运输途径可以分为径向途径和轴向途径。一般认为根系水分传导的主要阻力位于径向运输途径中。径向途径可以分为质外体途径、共质体途径和穿细胞途径。由于实验中很难把共质体运输和穿细胞途径区分开来, 所以把它们合称为细胞到细胞途径^[1,2]。静水压力下(自然条件下为蒸腾拉力), 以质外体途径为主, 在升压过程中, 由于质外体途径存在未充水的细胞壁空间, 质外体途径导水率相对低, 其运输能力未得到充分发挥。随着压力增大, 细胞壁空间充水越来越多, 质外体运输所占比例增大, 根的导水率随之增大^[3]。刘晚苟等^[4]的研究表明, 降压过程测得的根系导水率显著大于升压过程, 且前者的相关系数大于后者, 并认为这种差异是由于质外体途径细胞壁空间充水量不同造成的。本研究采用玉米水培和小麦盆栽试验, 拟进一步探讨升、降压顺序及较高压力情况下对根系导水率测定的影响。

1 材料与方法

1.1 玉米水培试验

以水肥型玉米(*Zea mays* L.)品种秦单 4 号为供试材料, 精选后用 5%NaClO 消毒 10 min, 用蒸馏水冲洗干净, 吸胀 24 h。均匀地摆在培养皿中, 置 30℃恒温箱中萌发后, 用 Hoagland 营养液进行室温光照培养。每天保持 12 h 光照, 定期更换营养液并通气。玉米幼苗长至三叶期后开始测量。

1.2 小麦盆栽试验

以小偃 503 小麦品种为供试材料, 精选、消毒和萌发方法同上。种子萌发后定植于 7 cm×10 cm 的塑料钵中。供试土壤采自西北农林科技大学农作一站大田, 土壤类型为旱耕人为土(垆土)。每盆装土量为 280 g。施入土壤的 N、P₂O₅、K₂O 和 S 的比例为 0.2:0.15:0.3:0.015(g/kg 干土), 在定植以前均匀地混入土壤中。光照培养, 每天保持 12 h 光照和充分供水。小麦幼苗长至三叶期后开始测量。

1.3 根系导水率的测定

根系导水率(L_{pr})测定采用压力室法, 通过不同压力下根系水流速率变化曲线斜率求得。测定时, 从第一叶叶基剪去幼苗地上部分, 将整个根系放在压力室内, 密封, 切口通过带垫圈的孔露在室外。玉米试验的加压步骤: 升压过程由 0.1~1.2 MPa, 再由 1.2~0.1 进行降压测定, 然后再次升压到 0.5

收稿日期: 2007-11-20
基金项目: 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金(10501-121); 西北农林科技大学 2007 年度学校科研专项资助基金(校基金, 07ZR046)
作者简介: 周莉娜(1977—), 女, 湖南益阳人, 在读博士, 主要从事环境科学研究。
通讯作者: 曲 东(1960—), 男, 河南陕县人, 教授, 博士, 主要从事土壤环境化学方向的研究。E-mail: dongqu@nwsuaf.edu.cn.

MPa,其中每隔 0.1 MPa 进行测定。用内装吸水纸的 1.5 mL 离心管(EP 管)收集流出的汁液,每个压力下至少收集 3 次,每次收集时间为 1 min。用分析天平称量 EP 管吸水前后的质量,计算每个压力下达到稳态流时单位时间木质部汁液流量(Q ,mg/min)。将根系清洗,烘干后称量根的质量,计算单位根重、单位流出时间内的汁液收集量——水流速率(J_v ,mg/(g·min))。水流速率与压力相关曲线的斜率即为根系导水率(L_{pr})。小麦盆栽试验中,先加压到 2.0 MPa,然后进行降压法测量,压力间隔为 0.1 MPa。植物生物量测定采用称量法。将根与茎叶分别装入铝盒中,用分析天平分别称其鲜重,然后在 105℃下杀青,在 65℃烘 24 h 后称量。

2 结果与分析

2.1 升压与降压过程玉米根系导水率的变化

玉米水培试验中根系水流速率与压力变化的关系由图 1 所示。在 0.1~1.2 MPa 压力范围内,水流速率(J_v)在升压测定过程中随压力增加缓慢增加,在降压时以不同的路径回到同一点。升降压过程中, J_v 对比呈现出以下特点:当 $\Delta P<0.8$ MPa 时,降压测定过程的 J_v 值明显大于升压过程; ΔP 为 0.8~1.2 MPa 时,两者的测定结果基本相同。降压法测得的 J_v 与升压法的 J_v 之间的数值变化随 ΔP 压力改变有一个临界点,对供试的秦单 4 号玉米品种大约为 0.8 MPa。这种变化趋势反映在根系导水率(L_{pr})上,具体数值变化如表 1 所示。在 0.1~0.4

MPa 压力范围内,降压过程测得的导水率比升压过程高出 104.8%,其差值达到最大,降压的直线回归相关系数略高于升压,但无显著差异;在 0.1~0.5 MPa 时,降压比升压的高出 71.7%,降压过程的直线回归相关系数明显高于升压过程,在 0.01 水平上达到显著差异;在 0.1~0.8 MPa 和 0.1~1.2 MPa 时升压与降压测定过程的 L_{pr} 都基本相同。总体上看,低压范围升压法与降压法测得的根系导水率有显著差异,表现为 L_{pr} 降 $\gg L_{pr}$ 升;就两者的变化趋势而言,“ L_{pr} 升”随压力的增加而增加,“ L_{pr} 降”随压力的降低而增加;降压过程的回归直线的线性关系显著优于升压过程,并随着压力范围的增加两者差距逐渐缩小。压力室法测定根系导水率时,低压范围内升压法与降压法测定结果有显著差异,但当突破某一压力界限时,这种差异被消除。

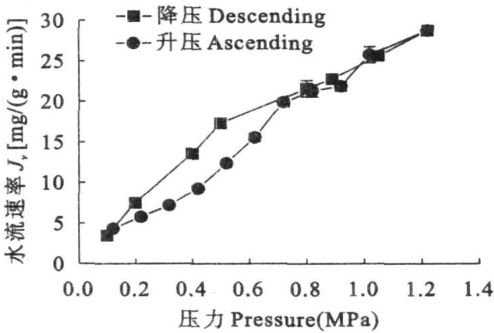


图 1 升压和降压过程中玉米根系水流速率的变化
Fig.1 The changing of water flux (J_v) for pressure first ascending then descending in maize root system

表 1 不同压力范围内升压过程与降压过程玉米根系导水率及相关系数的变化关系

Table 1 The changing of maize root system L_{pr} and r under different ascending and descending pressure

压力范围 Pressure range (MPa)	升压 Ascending		降压 Descending		$[(L_{pr} \text{ 降} - L_{pr} \text{ 再升}) / L_{pr} \text{ 再升}] \times 100\%$
	L_{pr} [mg/(g·min·MPa)]	回归直线 相关系数 r	L_{pr} [mg/(g·min·MPa)]	回归直线 相关系数 r	
0.1~0.4	16.13	0.9962	33.04	0.9974	104.8%
0.1~0.5	19.59	0.9836	33.64	0.9987	71.72%
0.1~0.8	25.93	0.9862	26.10	0.9790	0.66%
0.1~1.2	24.43	0.9904	26.10	0.9790	6.84%

刘晚苟等^[4]认为,升压法与降压法中根系导水率的差异可能是由于这两个过程中质外体途径细胞壁空间充水量不同造成。通过“再升压过程”可对这种推测进行验证。再升压过程指对被测植株降压回到起点后再次加压到相同数值时进行测量。再升压过程所得的 J_v 与先前降压过程测定结果的比较见图 2。由图 2(a)可以看出,由 0.5 MPa 降压后再升压到 0.5 MPa 测得的 L_{pr} 比先前降压过程的高出 34.8%;图 2(b)中由 0.8 MPa 降压后再升压到 0.5

MPa 测得的 L_{pr} 比先前降压过程的高出 29.2%。初始压力越大,降压与再升压时导水率相差越少,说明初始加压程度对降压时测得的 L_{pr} 值有显著影响。当初始加压程度突破某一压力界限时,上述的导水率测定差异可以被减小甚至被消除。结果同时显示,升、降压顺序对水流速率有显著的影响。无论是“先升压再降压过程”还是“先降压再升压过程”,后面的过程的水流速率都比前面过程高。

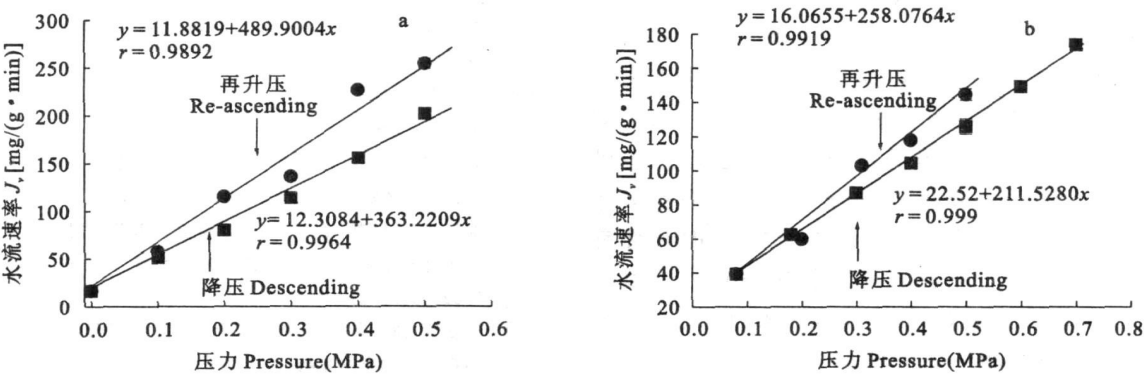


图 2 降压后再次升压过程中玉米根系水流速率的变化

Fig. 2 The changing of maize root system L_{pr} under different descending and re-ascending pressure

注: a 为 由 0.5 MPa 降压后和再升压到 0.5 MPa 过程, b 为 由 0.8 MPa 降压后和再升压到 0.5 MPa 过程
Note: a, descending from 0.5 MPa then re-ascending to 0.5 MPa; b, descending from 0.8 MPa then re-ascending to 0.5 MPa.

2.2 水流速率(J_v)与压差(ΔP)的关系

由降压过程测量的玉米苗期根系水流速率结果如图 3a 所示。结果表明, J_v 随压力降低过程有一个短暂的“平台”, 其压力变化在 1.0~0.8 MPa 之间, 而在其他压力范围表现为下降趋势, 平台前后的下降速度基本相同。从小麦盆栽试验(图 3b)可以看出, J_v 随压力增加的变化亦呈现出“平台”, 其压力变化在 1.5~1.0 MPa, 变化趋势与玉米根系大体

相同, 只是压力范围有所区别。尽管试验中采用水培和土培 2 种不同的方法, 但均出现“压力平台”是共同的特征。或许产生平台的压力范围之间没有可比性, 但“压力平台”的出现将暗示着玉米和小麦两种作物导水机制上的内在规律性, 即随着压力的增加或减小, 决定根系导水性能的主导因素会发生改变。

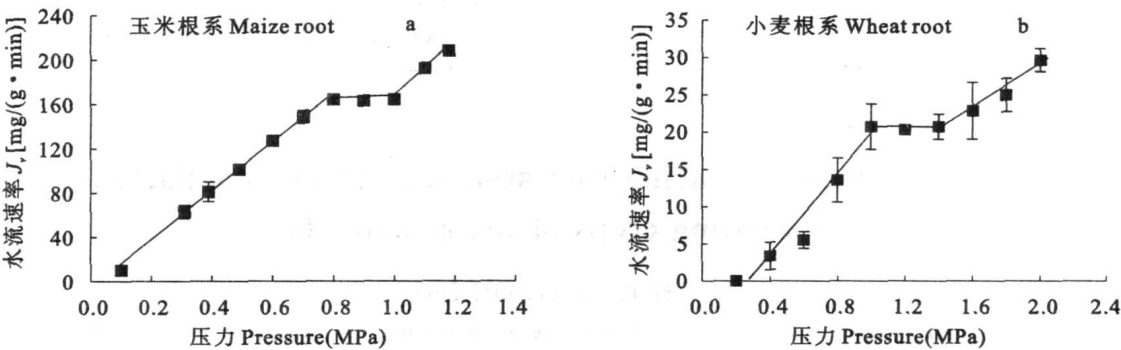


图 3 不同作物根系水流速率与压差的关系(降压法)

Fig. 3 The relation between ΔP to J_v of water supplied in the root systems(descending)

3 讨论

在较低压力范围, 降压法测得的水流速率及回归直线的线性关系都显著大于升压法, 这与刘晚苟^[4]和沈玉芳等^[5~8]等人的研究结果一致。他们指出低压阶段根细胞壁空间充水量不足导致的非结构阻力是造成升压过程非线性关系与导水率偏低的原因。那么, 当根细胞壁空间充水量达到饱和时, 是否还存在“差异”呢? 本研究显示, 当压力增加到一定程度, 即达到某一临界压力时, 则升压与降压测得

的 J_v 数值基本相同, 同时得到的两个 L_{pr} 数值差距也逐渐缩小, 证实根细胞壁空间充水量是影响导水的重要因素。另一方面, 上述观点能够解释在低压范围内的现象, 而对本试验中图 2 和图 3 的结果无法进一步解释。在图 2 中如果只考虑质外体途径的水分传导, 那么再升压时的测量结果应该与先前降压过程相同, 而试验结果表明再升压过程的 L_{pr} 是大于降压的, 这说明除质外体细胞壁充水外很可能还有其他途径贡献给导水机制。这可能与细胞到细胞途径的水分传导有关, 在质外体途径细胞壁空间

充水量达到饱和后,继续对供试植株加压,可能会打开细胞到细胞途径的导水机制,从而使植株的根系导水性能继续增加。具体途径可能与水通道蛋白 AQP 有关,现在已经有研究^[9,10]表明,水通道蛋白 AQP 参与生物体的水分传导,也有一些研究^[5~8,11,12]表明水分胁迫、调节营养元素及苗龄等条件导致的作物根系导水率很可能与 AQP 活性有关。Clarkson 等^[13]研究发现蒸腾速率对水通道蛋白 PIP1 的同源 mRNA 的丰度没有影响,说明蒸腾速率对细胞到细胞途径导度没有影响,根系导度改变是由于质外体途径导度变化的结果。然而本研究显示玉米和小麦的根系水流速率随压力增加的过程中都出现了一个“平台”,然后继续增加。出现这种情况的原因可能是当外加的静水压力大于一般的蒸腾拉力时,根系导水径向运输途径的组成量受到压力诱导而发生了改变,除了质外体途径运输外,细胞到细胞途径运输的贡献增加。这里出现的平台可能是细胞到细胞水通道充分打开的过程,这与胞间连丝及水通道蛋白的活性有关,也可能与木质部的累积效应有关^[14]。对于不同的植物,平台出现的点和长度都会有所不同。总之,对根系导水是否存在径向运输途径的压力诱导变化,还需要进一步深入探讨。

参 考 文 献:

[1] Steudle E, Peterson C A. How does water get through roots[J].

J Exp Bot, 1998, 49: 775—788.

- [2] Steudle E. Water transport across roots[J]. Plant Soil, 1994, 167: 79—90.
- [3] Steudle E. Water uptake by roots: effects of water deficit[J]. J Exp Bot, 2000, 51: 1531—1542.
- [4] 刘晚苟, 山 仑, 邓西平. 压力室法测定根系导水率方法探讨[J]. 西北植物学报, 2001, 21(4): 761—765.
- [5] 沈玉芳, 王保莉, 曲 东. 水分胁迫下磷营养对玉米苗期根系导水率的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2002, 30(5): 11—15.
- [6] 沈玉芳, 曲 东, 王保莉, 等. 干旱胁迫下磷营养对不同作物苗期根系导水率的影响[J]. 作物学报, 2005, 31(2): 214—218.
- [7] 沈玉芳, 曲 东, 王保莉. 干旱低磷胁迫对不同品种小麦根系导水率的影响[J]. 西北植物学报, 2004, 24(9): 1578—1582.
- [8] 曲 东, 周莉娜, 王保莉, 等. 硫营养对小麦苗期根系导水率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(1): 40—43.
- [9] 张军峰, 邓西平, 慕小倩. 植物的水通道蛋白[J]. 植物生理学报, 2002, 38(1): 88—91.
- [10] 邱全胜, 王泽宙. 猕猴桃原生质体膜水通道蛋白特性[J]. 植物学报, 2000, 42(2): 143—147.
- [11] 沈玉芳, 曲 东, 王保莉. 磷对大麦根系导水率的调节作用研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 81—84.
- [12] 刘晚苟, 山 仑. 向日葵根系水通道蛋白活性与苗龄关系的研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(10): 1663—1668.
- [13] Clarkson D T, Carvajal M, Henzler T, et al. Root hydraulic conductance: diurnal aquaporin expression and the effects of nutrient stress[J]. Exp Bot, 2000, 51: 61—70.
- [14] Fiscus E L. The interaction between osmotic and pressure-induced water flow in plant roots[J]. Plant Physiol, 1975, 55: 917—922.

The method of measuring root system hydraulic conductance of seedling crops of maize and wheat

ZHOU Li-na, QU Dong

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Root system hydraulic conductance of seedling crops of maize and wheat were measured through pressure chamber, and the ascending and descending measurements were compared. The result of root system hydraulic conductance of seedling crops of maize showed: water flux (J_v) in the root system linearly increased with steady increases in imposed pressure. When imposed pressure (ΔP) was below 0.8 MPa, J_v measured by notable higher than ascending measurements; when ΔP was at 0.8 to 1.2 MPa, the measuring results were almost equal. This means that there was a critical point between J_v measured by descending and ascending measurements with ΔP changing. Compared with the process of descending then ascending pressure and ascending then descending pressure, J_v in later process was always bigger than former process. This indicated that pressure inducement maybe changed the form of water conductance. In the pressure range of 0~2.0 MPa, J_v appeared a flat in measurement of descending pressure with maize water cultivation and wheat soil cultivation, which indicated that special conducting mechanism existed in the process of water conducted.

Keywords: root hydraulic conductance; ascending pressure method; descending pressure method; maize; wheat