

# 磷对大麦根系导水率的调节作用研究<sup>1</sup>

沈玉芳<sup>1,2</sup>, 曲东<sup>1</sup>, 王保莉<sup>3</sup>

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点开放实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学生命科学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 在控制土壤磷素供应水平及控制灌水量的盆栽试验中, 采用静态压力室法测定了三叶期大麦根系导水率(Lpr)的变化。结果表明: 无磷处理植株的导水率(Lpr)远远低于有磷植株, 即使在正常供水条件下, 仅为有磷处理植株的近19%, 表明磷营养可以调节大麦幼苗细胞到细胞途径水通道蛋白(AQP)的表达量。无磷处理随干旱程度加重, 其导水率下降较有磷处理更为剧烈, 旱后复水过程中, 导水率恢复能力也显著低于有磷处理, 表明磷营养对增强大麦对干旱胁迫的适应性及提高恢复能力具有非常重要的作用。

**关键词:** 磷营养; 干旱胁迫; 根系导水率(Lpr)

**中图分类号:** S512.3    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-7601(2005)01-0081-04

植物生活在复杂多变的自然环境中, 时常遭受环境水分亏缺的胁迫和伤害。当植物处在水分胁迫条件下时, 能够通过形态上或生理上的临时变化和调节来抵抗和适应干旱。植物一般具有抵抗和适应干旱的机制和能力, 但是不同植物种类在适应和抵抗干旱能力方面存在着很大差异<sup>[1~3]</sup>。一般地说, 与C<sub>4</sub>植物相比, C<sub>3</sub>植物的生产率及水分利用率较低, 且适应环境的能力较弱。因此, 在逆境条件下, 两类植物水分运输途径是否存在差异就值得探讨。根系导水率是根系多种水分运输途径(轴向途径和径向途径)综合作用的结果。根输水阻力主要在径向。对根的径向途径而言, 质外体途径包括细胞壁和细胞间隙; 共质体途径指通过胞间连丝连接的细胞到细胞运输途径; 穿细胞途径指通过细胞膜和相邻细胞间的细胞壁空间的细胞到细胞运输途径。不同植物其主要运输途径可能有差别, 在蒸腾作用旺盛的条件下, 多数植物, 如玉米、棉花等根中以质外体为主, 而大麦和菜豆根中细胞到细胞途径占优<sup>[4~6]</sup>。有研究表明, 在细胞到细胞途径的水分跨膜运输过程中有一类专一性运输水分的膜蛋白(AQP)。虽然植物细胞的水分运输并不仅仅是水通道运输这种简单模式, 但水通道水分运输模式的存在却又提供了一个对环境信号调节的新的动力学研究前景。因此, 本文拟探讨干旱和磷营养两因子共同作用下大麦根系导水率(Lpr)的变化, 以期说明磷素营养可以调节大

麦的抗旱和耐旱能力, 并进一步探讨大麦根系水分运输的一种可能调节机制。

## 1 材料与方法

### 1.1 盆栽试验

供试材料为西引2号大麦(*Hordeum vulgare* L.)品种。供试土壤采自西北农林科技大学农作一站大田收获后的耕层土壤(0~20 cm)。土壤基本理化性质为: 土壤有机质 13.7 g/kg, 全氮 0.82 g/kg, 全磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 1.61 g/kg, 碱解氮 58.4 mg/kg, 速效磷 8.19 mg/kg, 速效钾 178 mg/kg。采用掺入无磷石英砂的方法获得低磷的土壤环境, 即称取风干土样(< 1 mm) 0.11 kg 和风干细砂(< 1 mm) 0.11 kg。土砂混匀后装入 5.7 cm × 10 cm 的塑料杯中。用环刀法测定样品(土+砂)的最大毛管持水量为 304.3 g/kg。试验设置 2 个施肥处理:<sup>1</sup> 按正常 N、P、K 比例(N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O 为 0.2 : 0.15 : 0.3 g/kg 干土) 供肥(有磷处理, 用+P表示);<sup>0</sup> 无磷处理(用-P表示), 即 N、K 肥量按以上比例供给, 不施磷肥。种子精选后用有效氯为 5% 的 Na<sub>2</sub>ClO<sub>3</sub> 溶液消毒, 吸胀 24 h。25℃ 萌发后选择均匀一致的幼苗植入处理好的土培杯中生长, 保持充足水分, 每天光照时间为 12 h, 待幼苗生长至 3 叶 1 芯时开始进行水分控制。水分胁迫采用自然渐进干旱法, 称重法控制土壤水分供应量。水分控制分为正常供水(最大毛管持水量

<sup>1</sup> 收稿日期: 2001-01-08

基金项目: 国家重点基础研究发展规划课题(G2000018605); 国家自然科学基金(40171063、40371076); 国家自然科学基金重大项目计划(90102012)

作者简介: 沈玉芳(1975-), 女, 江苏建湖人, 在读博士, 主要从事植物水分和养分机理的研究。

通讯作者: 曲东, dongqu@nwsuaf.edu.cn

的 75%, 用 H 表示), 中度干旱(最大毛管持水量的 50%, 用 M 表示), 重度干旱处理(最大毛管持水量的 35%, 用 D 表示)。每处理重复 3 次。在达到水分控制标准后, 分别测定干旱处理 72 h 后复水 0.2 h、1 h、3 h、4 h、7 h、12.5 h、14.5 h 后的根系水流速率。

## 1.2 根系导水率测定方法

根系导水率测定采用压力室降压法<sup>[7]</sup>。剪去幼苗地上部分后, 将整个根系放入压力室内(杯中土壤已饱和), 密封, 缓慢加压至 0.5 MPa 或 0.8 MPa, 然后采用降压法, 用 EP 管分别收集 0.5~0.1 MPa 或 0.8~0.4 MPa 时流出的汁液, 每个压力下至少

收集 5 次, 每次收集 1 min。通过称量 EP 管吸水前后的重量以及根鲜重(g), 计算汁液流速 [ $J_v$ ,  $\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ ]。水流速率与压力相关曲线的斜率即为根系导水率 [ $L_{pr}$ ,  $\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{min} \cdot \text{MPa})$ ]。

## 2 结果与分析

### 2.1 磷营养对大麦汁液流速及导水率的影响

各处理不同静水压力下汁液流速及根系导水率的平均值如图 1 所示。整体而言, 汁液流速( $J_v$ )与一定范围内的静水压力( $\Delta P$ )有较好的线性关系, 且有磷处理的汁液流速显著大于无磷处理。

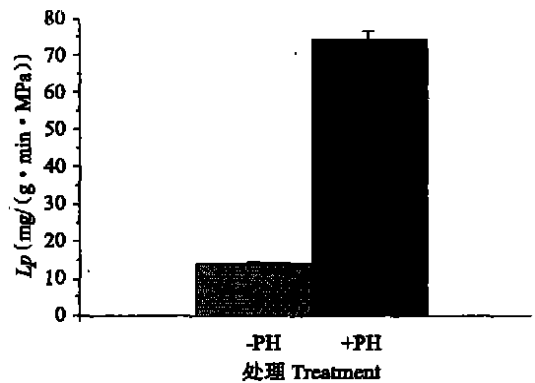
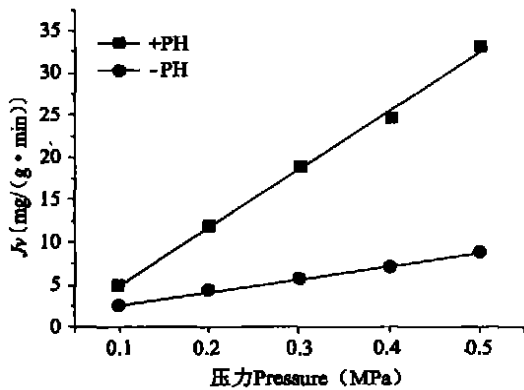


图 1 正常供水条件下的大麦根系的汁液流速及导水率

Fig. 1  $J_v$  and  $L_{pr}$  of barley seedling roots under normal water supply

比较导水率值可以看出, 即使在正常供水条件下, 无磷处理植株的导水率( $L_{pr}$ )值也远远低于有磷植株, 仅为有磷处理植株的近 19%。表明大麦根系对磷营养胁迫亦十分敏感, 且缺磷对大麦根系导水率的影响要大于对玉米根系导水率的影响<sup>[8]</sup>。这可能是旺盛蒸腾下大麦幼苗主要以细胞到细胞途径为径向流所致。因为磷营养的缺乏对 AQP 水分转运能力的影响大于对质外体途径水分运输能力的影响。

### 2.2 同一干旱水平下有磷与无磷处理大麦根系复水能力的差异

由图 2 可以看出, 干旱胁迫大大降低了根系的导水率( $L_{pr}$ )。比较磷营养对导水率恢复的影响可以发现, 有磷处理使得大麦幼苗根系导水率( $L_{pr}$ )有较高的恢复能力。复水 2 h, 有磷中度干旱胁迫幼苗根系的导水率已恢复到对照水平, 而无磷处理植株  $L_{pr}$  恢复能力相对较弱, 需 4 h 才能达到对照水平。在复水初期, 有磷重度干旱处理大麦幼苗根系导水率的恢复趋势也相对较快。

### 2.3 磷对不同干旱水平大麦根系复水能力的影响

不同干旱水平下有磷与无磷处理的大麦根系导水率随复水时间的变化见图 3。随着干旱胁迫程度的增加, 大麦幼苗根系导水率下降非常剧烈。对有磷处理而言, 中度干旱胁迫(M)可使其导水率降低到正常供水处理的 30% 左右, 重度干旱处理(D)则仅为 8% 左右; 复水后, 中度干旱胁迫处理可在 2 h 后恢复到接近正常供水处理的水平, 而强烈干旱则在复水 12 h 内仍低于正常供水处理的 40%, 说明大麦根系对干旱十分敏感。无磷中度干旱和重度干旱处理 72 h 后大麦幼苗根系导水率下降值较为接近, 但复水后中度干旱恢复相对比较快速, 原因可能是根系木质化或栓质化程度相对较弱。整体而言, 无磷重度干旱处理对大麦根系导水率影响最剧烈, 复水后恢复能力最弱。

### 2.4 不同处理间生物量、根冠比的差异

不同处理间生物量、根冠比的差异见表 1。由表 1 可以看出, 无磷处理条件下生物量比相应干旱量处理条件下有磷处理明显低, 但根冠比却比相应条件

下明显高; 同一磷处理条件下, 重度干旱处理生物量降低较多, 根冠比增加较多。另外, 通过观察也发现缺磷根系的须根和根毛较多, 直径较粗。由此可以认为, 在磷营养缺乏时大麦幼苗可以通过增大根系来

获取足够的养分供给地上部分生长, 并通过增大根系表面积来增加水分的吸收, 以弥补因缺磷而降低的水力传导力。

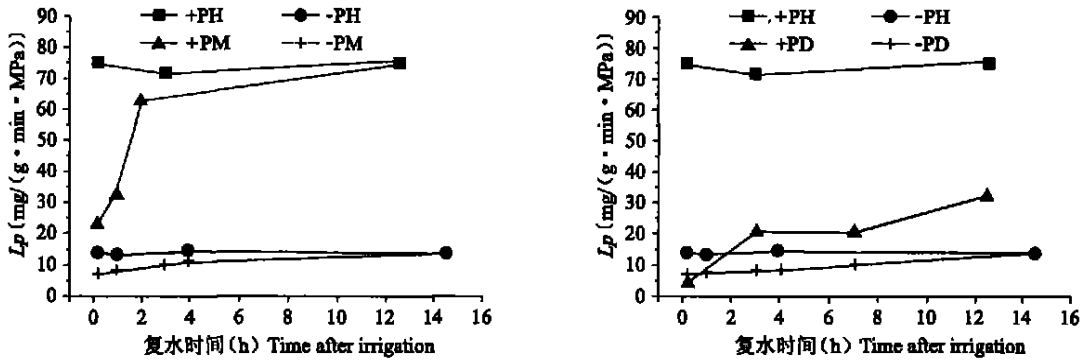


图 2 大麦根系导水率 ( $L_{pr}$ ) 随复水时间的变化

Fig. 2 Change of  $L_{pr}$  with time in non-phosphorus and phosphorus treatment at the same drought intensity

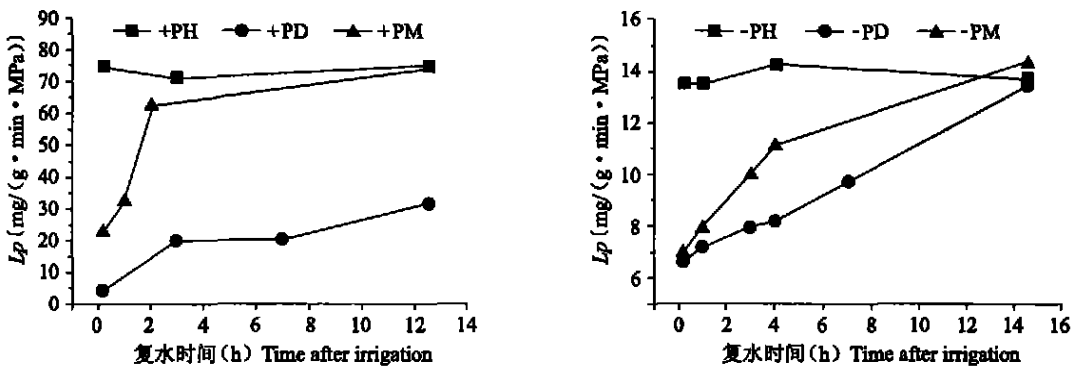


图 3 大麦幼苗根系干旱复水后  $L_{pr}$  的变化

Fig. 3 Change of  $L_{pr}$  in barley seedlings irrigated to remove the drought stresses at different levels

表 1 不同处理大麦幼苗生物量、根冠比

Table 1 Total dry weight and root/shoot ratio of barley seedling in different treatments

项目 Item	+ PH	+ PM	+ PD	- PH	- PM	- PD
生物量 Biomass (g)	0.1051	0.0882	0.0872	0.0894	0.0841	0.0808
根冠比 Root-shoot ratio	0.2720	0.3398	0.4092	0.5520	0.5556	0.6162

### 3 讨论

水通道蛋白是一组高度保守的膜蛋白, 其分子量在 26 000~30 000 之间, 位于原生质膜上(也存在于液泡膜和其它内膜上)。它具有高的透水性, 低的水分转运自由能, 对渗透水的透过性要大于对扩散水的透过性, 是对水专一的通道蛋白, 介导细胞或细胞器与介质之间快速被动的水的运输, 是水分进出细胞的主要途径。近年来压力探针技术的出现, 使得

从细胞到组织或器官水平上根系吸水的研究成为可能, 而水通道蛋白的发现使得从分子机理上阐明根系吸水成为可能<sup>[9]</sup>。水通道蛋白的发现也更好地解释了共质体途径和胞间连丝途径(细胞到细胞途径)的径向流水分运输<sup>[10]</sup>。在本试验中, 缺磷植株的导水率  $L_{pr}$  极低, 这一结果与 Karmoker<sup>[5]</sup>的硫肋迫试验非常相似。可能是磷的缺乏减少了水通道蛋白(AQP)的表达量或降低了水通道蛋白(AQP)的活性。干旱胁迫条件下根系吸水能力的改变是细胞到

细胞途径水通道蛋白变化和质外体途径壁结构改变共同作用的结果。

虽然缺磷对大麦根系导水率的影响较为明显,但重度干旱胁迫对大麦苗期根系导水率的影响仍大于磷胁迫对导水率的影响。在几种水分状况下,有磷处理根系导水率明显大于无磷处理,随干旱程度的加深,无磷处理导水率值的下降较有磷处理更为剧烈;旱后复水过程中,无磷处理根系导水率的恢复能力显著低于有磷处理,表明磷营养对根系生长以及 AQP 活性或表达量的调节增强了大麦对干旱胁迫的适应性,并且提高幼苗根系导水率的恢复能力。

#### 参 考 文 献:

- [1] Morgan J M. Osmoregulation and water stress in higher plant [J]. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Boil*, 1984, 35: 299-319.
- [2] 李德全, 邹琦, 程炳嵩. 冬小麦叶片的渗透调节能力与产量及抗旱性的关系[J]. *植物学通讯*, 1996, 13(增刊): 46-50.
- [3] Gnanasire B. Cell membrane stability and leaf water relation affected by phosphorus nutrition and water stress in maize

- [J]. *Soil Sci and Plant Nutri*, 1990, 36(4): 661-666.
- [4] Flavio H, Boem G, Thomas G W. Phosphorus nutrition and water deficits in field-grown soybeans [J]. *Plant and Soil*, 1999, 207: 87-96.
- [5] Karmoker J L, Clarkson D T, Saker L R. Sulphate deprivation depresses the transport of nitrogen to the xylem and the hydraulic conductivity of barley roots [J]. *Planta*, 1991, 185: 269-278.
- [6] Steudle E, Oren R, Schulza E D. Water transport in barley roots[J]. *Planta*, 1983, 158: 237-248.
- [7] 刘晚苟, 山仓, 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.
- [8] 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*, 2002, 30(5): 11-15.
- [9] Naurel C. Aquaporins and water permeability of plant membranes [J]. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Boil*, 1997, 48: 399-429.
- [10] Henzler T, Steudle E. Reversible closing of water channels in chara internodes provides evidence for a composite transport model of the plasma membrane [J]. *J Exp Bot*, 1995, 46: 199-209.

## Effects and regulation of phosphorus on root hydraulic conductance in barley

SHEN Yu-fang<sup>1,2</sup>, QU Dong<sup>1</sup>, WANG Bo-li<sup>3</sup>,

(1. College of Resource and Environment, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resource, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. College of Life Science, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** At different phosphorus levels, pot experiments, in different irrigations (normal water supply, medium drought stress, drought stress), were carried out to determine the varieties of root hydraulic conductance (Lpr) of barley in a pressure chamber. The result showed that under different water conditions, the Lpr of non-phosphorus treatment was always strongly lower than that of P-treatment seedlings, and even under the condition of normal water supply the former was only 19% of the latter. It indicated that P could regulate the amount of AQP. Lpr of non-phosphorus treatment decreased more sharply with the intensifying of drought, and the recovering ability was significantly weaker than that of P-treatment seedlings during the course of irrigation, and it indicated that phosphorus played a very important role in improving the adaptability to drought and recovering ability of barley.

**Key words:** phosphorus nutrient; drought stress; root hydraulic; conductance (Lpr)