

## 盐磷耦合胁迫下大豆的生长和钠、磷离子长距离运输

廖红<sup>1,\*</sup> 张秒高<sup>1</sup> 孔凡利<sup>1</sup> 刘鹏<sup>1</sup> 彭翠虹<sup>2</sup> 林汉明<sup>2</sup> 严小龙<sup>1</sup>

<sup>1</sup>华南农业大学根系生物学研究中心, 广州 510642; <sup>2</sup>香港中文大学生物系, 香港

**摘要** 以2个耐盐性和磷效率有差异的大豆品种为材料, 采用水培方法, 探讨盐分与缺磷耦合胁迫对大豆生长和钠、磷离子长距离运输影响的结果表明: (1) 盐分和低磷胁迫对大豆生长有交互作用, 磷浓度相对较高( $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ )时大豆耐盐性降低; (2) 钠由木质部的向顶部运输增加, 钠在韧皮部的再分配增多; (3) 盐胁迫下磷在木质部的运输能力提高, 韧皮部中磷的再分配受影响不大; (4) 磷盐互作对大豆生长的影响在品种之间无差异。

**关键词** 盐胁迫; 磷; 大豆; 木质部; 韧皮部

## Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] Growth and Long-distance Transport of Sodium and Phosphorus Ions under Salt and Low Phosphorus Coupled Stresses

LIAO Hong<sup>1,\*</sup>, ZHANG Miao-Gao<sup>1</sup>, KONG Fan-Li<sup>1</sup>, LIU Peng<sup>1</sup>, PHANG Tusi-Hung<sup>2</sup>, LAM Hon-Ming<sup>2</sup>, YAN Xiao-Long<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Root Biology Center, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; <sup>2</sup>Department of Biology, The Chinese University of Hong Kong, Hong Kong, China

**Abstract** In this study, two soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] genotypes contrasting in salt tolerance and phosphorus efficiency were employed to investigate the effects of salt and low phosphorus coupled stresses on soybean growth and long-distance transport of sodium and phosphorus ions in a nutrient solution culture system. The results indicated that: (1) There were significant interactions between low phosphorus and salt stress on soybean growth, high phosphorus decreased soybean salt tolerance; (2) High phosphorus significantly increased  $\text{Na}^+$  transport to the upper parts of the xylem and its redistribution in the phloem; (3) Salt stress increased phosphorus transport to the xylem, but had no effect on phosphorus reallocation into the phloem; (4) No genotypic difference was found for the effects of low phosphorus and salt stress interactions on soybean growth.

**Key words** salt stress; phosphorus; soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]; xylem; phloem

在自然界中植物生长往往并非只受单一因素限制, 而是受两种或多种胁迫因素的影响。土壤缺磷和盐碱化就是比较常见的、同时存在的胁迫因素(谢承陶 1994)。了解植物在这两种胁迫因素耦合作用下的生长状况及其对养分子吸收、运转的影响, 对提高作物磷利用效率和耐盐性的遗传改良, 进而增加作物产量已引起人们的重视。另据报道, 介质磷与高盐之间存在相互作用。某些作物(如番茄和小麦)的耐盐性常随介质磷的水平提高而提高(Awad 1990; Gibson 1988); 还有些作物(如大豆)的耐盐性则随磷水平提高而下降(Grattan 和 Maas 1988)。即使是同一作物, 在不同的条件下, 其耐盐性对磷水平变化的反应也有所不同(Kaya 等 2001)。迄今, 对于大豆盐磷交互作用及其间机制尚未弄清楚。为此, 本文用水培法, 以2个耐盐性和磷效率有差异的大豆品为材料, 探讨高盐与缺磷耦合胁迫对大豆生长及钠、

磷离子长距离运输的影响。现报道如下:

### 材料与方法

材料为2个磷效率和耐盐性均不同的大豆 [*Glycine max* (L.) Merr.] 品种: ‘广东1号’和‘本地2号’。前者为磷高效、耐盐品种, 后者为磷低效、不耐盐品种(赵静等 2004; 张秒高等 2004)。

大豆种子在沙床上催芽后, 移植到 1 / 2 Hoagland 营养液中生长 14 d, 随即进行不同处理。试验设有6个处理, 3个磷水平(低磷为  $0.2 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 中磷为  $0.2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 高磷为  $2.0$

收稿 2005-02-21 修定 2005-12-19

资助 教育部霍英东青年教师基金(91026)。

\*E-mail: hliao@scau.edu.cn, Tel: 020-85283380, Fax: 020-85281829

mmol·L<sup>-1</sup>), 2个盐(NaCl)水平(0和100 mmol·L<sup>-1</sup>)。每个处理重复4次, 随机区组排列。处理1、3、7 d后取样。每次在采取木质部和韧皮部汁液样品后, 同时测定整株植株鲜重。

木质部汁液采集参照木质部破坏取样法(Schurr 1998)。韧皮部汁液采集参照Chen (2001)的方法。木质部分茎基部、中部、顶部三部分取样, 韧皮部只取第2片完全展开的三出复叶叶柄部分。木质部和韧皮部汁液经稀释后直接测定钠和可溶性磷浓度(南京农业大学 1998)。同一磷水平下, 按公式计算: 生物量下降量=[(不加盐处理鲜重-加盐处理鲜重)/不加盐处理植物鲜重]×100 (Mansour 2003)。所有数据均采用三因素方差分析(品种、磷水平、盐水平)。文中所列的方差分析结果中, \*表示差异显著水平为0.05、\*\*为0.01、\*\*\*为0.001, ns表示差异不显著。

## 实验结果

### 1 磷盐耦合胁迫对大豆生长的影响

图1显示:(1)缺磷和盐胁迫显著抑制大豆生长, 随着胁迫时间的增加, 两种因子间还表现出明显的交互作用(胁迫1、3、7 d, 磷、盐交互作用的 *F*值分别为: 1.94<sup>ns</sup>、0.87<sup>ns</sup>和3.37\*)。处理7 d后, 盐处理的大豆生物量下降幅度低磷水平最低, 中磷次之, 高磷最高。说明高磷加剧盐胁迫对大豆生长的抑制作用。(2)缺磷和盐胁迫的反应有明显的品种差异(胁迫1、3、7 d, 品种间的 *F*值分别为: 168.03<sup>\*\*\*</sup>、171.61<sup>\*\*\*</sup>和243.29<sup>\*\*\*</sup>)。3种磷水平盐处理中, ‘广东1号’的生物量下降量大部分低于耐盐性较差的品种‘本地2号’。说明磷处理对大豆的相对耐盐性没有影响, 即磷盐互作对大豆生长的影响没有品种间差异。

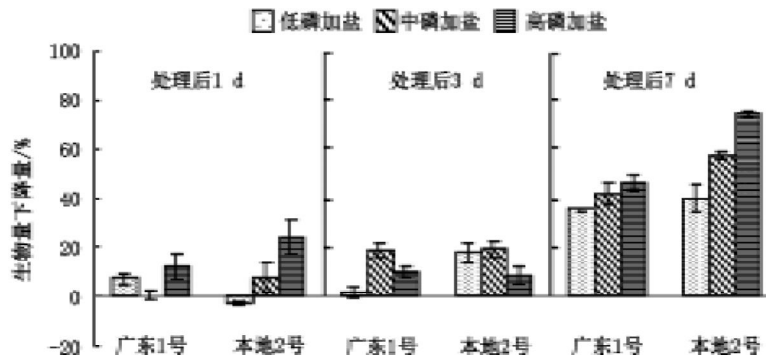


图1 磷盐耦合胁迫对大豆生物量下降量的影响

Fig. 1 Effect of low phosphorus and salt coupled stresses on biomass of soybean growth reduction

所用数据分别为处理后1、3、7 d的结果。

### 2 磷盐耦合胁迫对大豆木质部钠和磷离子运输的影响

图2、3显示:(1)高盐下大豆木质部中钠离子浓度显著提高, 此种提高程度随着处理时间的增加而增加。高盐和缺磷对木质部中钠离子浓度影响的交互作用只在第7天的中、顶部样品中体现出来(*F*值分别为: 1.25\*和30.50<sup>\*\*\*</sup>)。2个品种大豆顶部木质部中, 钠离子浓度均随着磷水平增加而增加, 说明高磷有助于钠离子在木质部中的向上运输。(2)磷盐耦合胁迫下, 2个品种大豆木质部中钠离子向顶运输有差异。这种差异随着处

理时间的增加而增加(图2)。处理7 d后, ‘广东1号’在低、中和高磷水平下, 顶部木质部中钠离子浓度分别为‘本地2号’的25.46%、34.86%和40.08%。但在2个品种的基部和中部木质部中钠离子浓度没有差异。(3)磷处理下不同时期取样和与大豆各部位木质部中, 磷离子的浓度有提高(图3)。高盐和缺磷2种胁迫因子对2个品种大豆木质部中磷运输有交互作用。高盐提高不同时期取样和与大豆各部位木质部中磷离子的浓度。在磷盐耦合胁迫下, 2个品种大豆间木质部中, 磷运输也有品种差异。高盐下, ‘广东1号’在

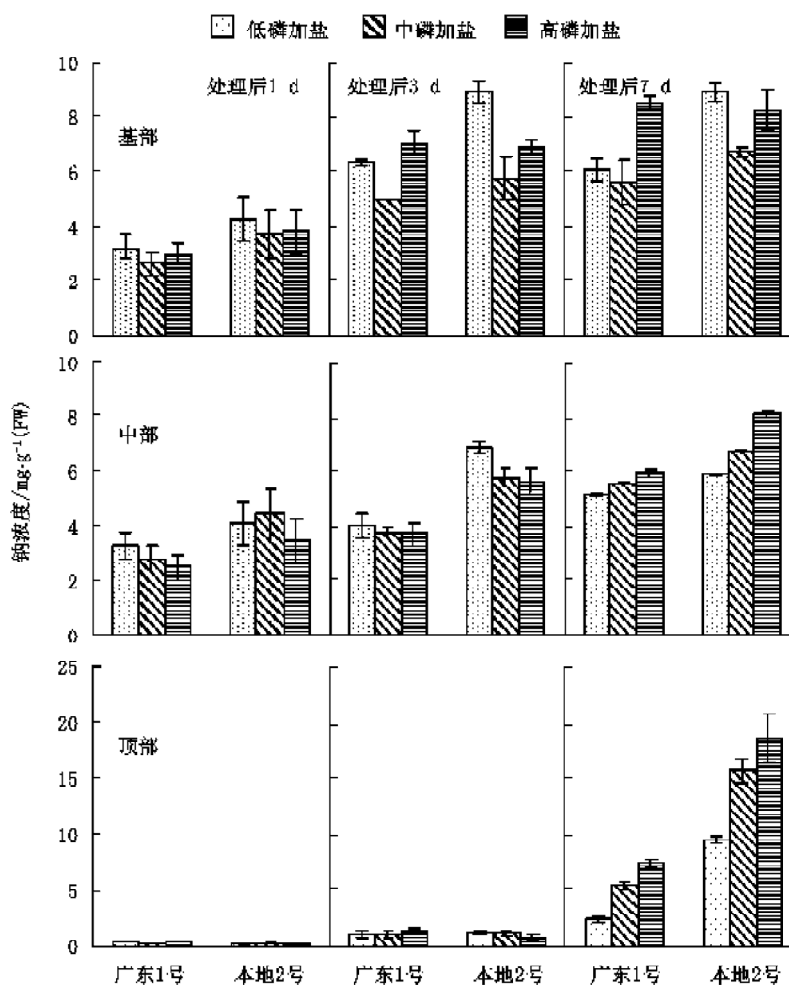


图2 磷盐耦合胁迫对大豆木质部中钠离子运输的影响

Fig. 2 Effect of low phosphorus and salt coupled stresses on  $\text{Na}^+$  transport in soybean xylem  
所用数据分别为处理后1、3、7 d 的结果。无盐处理时钠基本上检测不到。

不同取样时期和各部位木质部中磷离子浓度均低于‘本地2号’(图3)。

### 3 磷盐耦合胁迫对大豆韧皮部中钠、磷离子运输的影响

从图4、5可见:(1)随着处理时间的延长,盐水平间、磷水平间、磷盐交互作用的差异由不显著逐渐变得显著(磷、盐对韧皮部钠离子浓度影响的交互作用  $F$  值分别为:  $0.84^{\text{ns}}$ 、 $70.41^{***}$  和  $51.86^{***}$ )。在第3次取样时,韧皮部中钠离子浓度随着磷水平的提高而增加,说明高磷提高钠离子从韧皮部向下运转。此外,2个品种大豆钠离子在韧皮部的运转能力有差异,这种品种间差异从第1次取样就显示出来。耐盐性高的‘广东1

号’韧皮部中钠离子向下运转能力低于耐盐性低的‘本地2号’(图4)。(2)磷处理下韧皮部磷离子浓度提高。磷盐耦合胁迫对韧皮部中磷离子的运转也有一定影响,但这种影响随不同品种而异:耐盐品种‘广东1号’在高盐下韧皮部中磷离子显著增加;而不耐盐品种则没有变化(图5)。说明在盐胁迫下,耐盐品种韧皮部磷的运转能力有提高。

## 讨 论

盐胁迫和低磷对植物生长均会产生不良影响(严小龙和张福锁 1996),但磷盐耦合胁迫对植物生长的影响以及其互作机制仍不清楚。本文结果

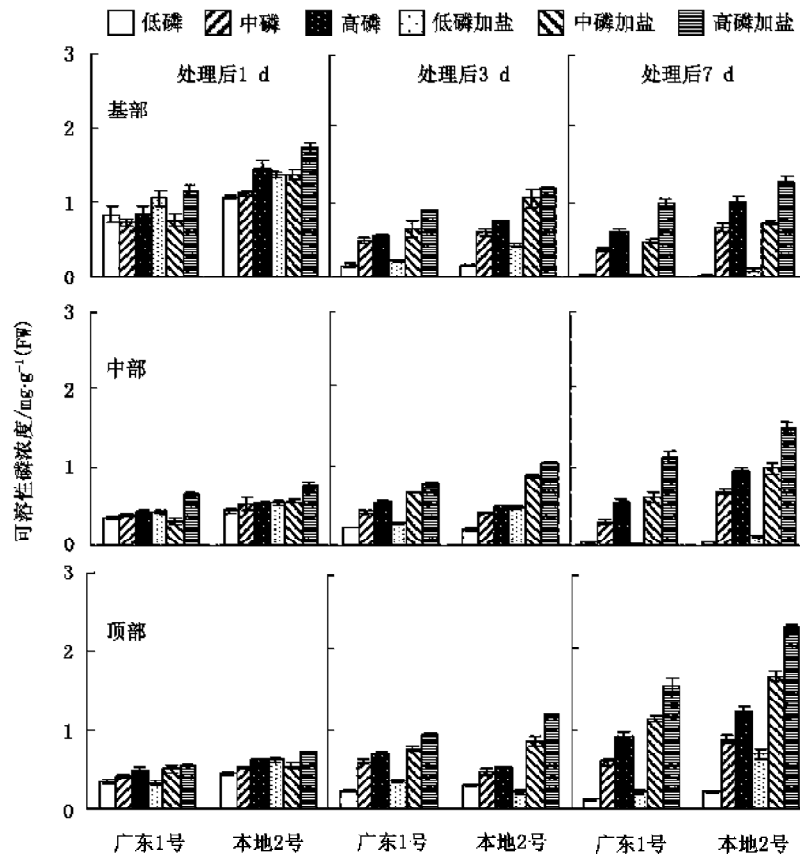


图3 磷盐耦合胁迫对大豆木质部磷运输的影响

Fig. 3 Effects of low phosphorus and salt coupled stresses on phosphorus transport in soybean xylem  
所用数据分别为处理后 1、3、7 d 的结果。

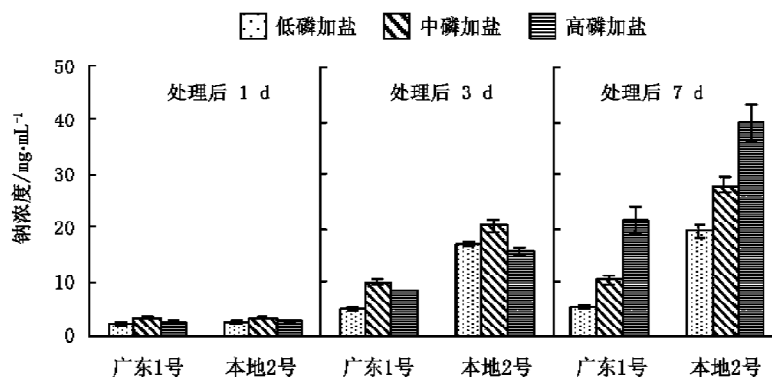


图4 磷盐耦合胁迫对大豆韧皮部钠运输的影响

Fig. 4 Effects of low phosphorus and salt coupled stresses on Na<sup>+</sup> transport in soybean phloem  
所用数据分别为处理后 1、3、7 d 的结果。无盐处理时钠基本上检测不到。

表明, 在同一盐胁迫下, 2 个品种大豆的耐盐性均随着介质磷水平的提高而降低, 反映出磷盐之间存在相互作用, 这与前人的结果一致 (Grattan和

Mass 1988)。这些结果有一定的实际意义, 即在盐胁迫环境中, 栽培大豆时要注意磷肥的合理使用, 盐敏感时期过量施磷很可能会加剧盐胁迫对

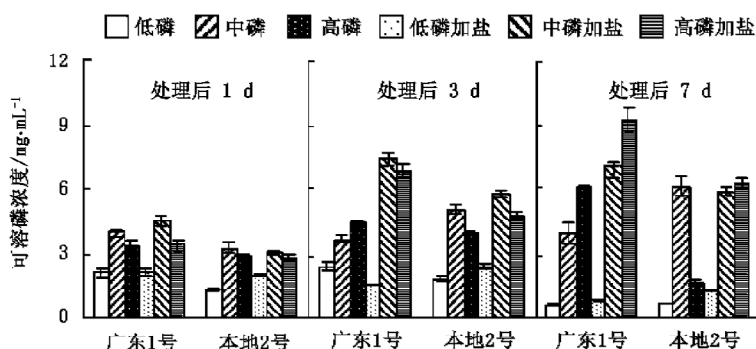


图5 磷盐耦合胁迫对大豆韧皮部磷运输的影响

Fig. 5 Effects of low phosphorus and salt coupled stresses on phosphorus transport in soybean phloem  
所用数据分别为处理后1、3、7 d的结果。

大豆生长的影响。但是, 磷影响大豆耐盐性的机制是什么? 已知钠在根部的限制性吸收、木质部截留以及韧皮部中的重新分配都是植物耐盐性的重要机制(Mansour 2003)。我们的结果表明, 高磷对大豆耐盐性的影响主要是通过提高钠在木质部中的向顶运输(图2), 而与钠从根部往地上部的运输以及钠通过韧皮部中的再分配关系不大(图4)。

不同植物种类、不同品种间的耐盐性差异已得到广泛研究, 但对耐盐性差异的机制至今仍未取得统一的看法。本文中2个大豆品种的耐盐性有显著的差异。在处理7 d后耐盐的‘广东1号’的茎基部和茎中部木质部钠离子浓度低于不耐盐的‘本地2号’(图2), 可见在盐胁迫下‘广东1号’木质部具有更高的钠离子截流效率和更高的截流潜力, 从而导致钠在代谢活跃部位的积累较低。从韧皮部来说, ‘广东1号’的代谢活跃部位的钠离子通过韧皮部输出的量低于‘本地2号’(图4), 说明钠通过韧皮部再分配的品种差异不是造成代谢活跃部位钠积累的品种差异的直接原因, 木质部截流效率和截流潜力的高低可能是本文中大豆耐盐性品种中差异的主要机制。

磷盐耦合胁迫对大豆磷长距离运转有一定的影响。高盐下植株不同时期取样、各部位木质部中可溶磷浓度显著提高(图3), 可能是由于高盐下大豆植株体内磷的有效性降低, 从而提高了植株对磷的需求所致(张秒高等2004; Awad 1990)。但是, 显著提高的磷的再利用对缓和植物对磷需求非常有限。本文结果也表明, 高盐对大豆韧皮

部中磷再分配影响不大(图5)。磷盐耦合胁迫对大豆植株中磷的长距离运转的影响主要表现在木质部中磷运输的提高。

### 参考文献

- 南京农业大学主编(1998). 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 104~216
- 谢承陶(1994). 盐渍土改良原理及作物抗性. 北京: 中国农业科技出版社, 102
- 严小龙, 张福锁(1996). 植物营养遗传学. 北京: 中国农业出版社, 2~6
- 张秒高, 孔凡利, 彭翠虹, 林汉明, 严小龙, 廖红(2004). 磷盐耦合胁迫对大豆生长和磷营养状况的影响. 西南农业学报, 71(增刊): 241~245
- 赵静, 付家兵, 廖红, 何勇, 年海, 胡月明, 邱丽娟, 董英山, 严小龙(2004). 大豆磷效率应用核心种质的根构型性状评价. 科学通报, 49: 1249~1257
- Awad AS (1990). Phosphorus enhancement of salt tolerance of tomato. *Crop Sci*, 30: 123~128
- Chen SX (2001). Long-distance phloem transport of glucosinolates in *Arabidopsis*. *Plant Physiol*, 127: 194~201
- Gibson TS (1988). Carbohydrate metabolism and phosphorus/salinity interactions in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Soil*, 111: 25~35
- Grattan SR, Maas EV (1988). Effect of salinity on phosphate accumulation and injury in soybean I. Influence of  $\text{CaCl}_2/\text{NaCl}$  ratios. *Plant Soil*, 105: 25~32
- Kaya C, Kirnak H, Higgs D (2001). Enhancement of growth and normal growth parameters by foliar application of potassium and phosphorus in tomato cultivars growth at high (NaCl) salinity. *J Plant Nutr*, 24: 357~368
- Mansour MF (2003). Transport protein and salt tolerance in plants. *Plant Sci*, 164: 891~900
- Schurr U (1998). Xylem sap sampling—new approaches to an old topic. *Trends Plant Sci*, 3: 293~298