

文章编号: 1001-411X(2001)03-0001-04

大豆根形态和根分泌物特性与磷效率

王美丽, 严小龙

(华南农业大学植物营养遗传研究室, 广东 广州 510642)

摘要: 通过土培和水培试验, 对不同大豆品种进行了根系形态及根分泌物的比较研究。结果表明: 大豆在耐低磷特性方面存在着一定的品种差异, 其中大豆品种南雄 36 号有较高的耐低磷能力, 在低磷(P0)胁迫条件下其苗期整株生物量为 1.50 g/株, 显著高于博罗 58 号(0.92 g/株)和博罗 61 号(1.03 g/株)。在不同磷处理下, 大豆的根冠比、主根长、总吸收面积和活跃吸收面积有变化, 但品种间缺乏明显一致的规律性, 表明这些性状不一定适合作为大豆磷效率比较的特异性指标。磷胁迫时大豆总酸和 H^+ 的分泌量较正常供磷条件下高, 其中南雄 36 号在磷胁迫时总酸分泌量为 $0.93 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 显著高于博罗 58 号($0.60 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)和博罗 61 号($0.63 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)。此外, 南雄 36 号在低磷胁迫下草酸和乳酸分泌量均显著高于另外 2 个品种, 表明该品种对活化土壤中难溶性磷有一定的遗传潜力, 具有较高的磷效率。

关键词: 大豆; 磷效率; 根形态; 根分泌物

中图分类号: S143; Q948

文献标识码: A

磷是作物生长的必需元素之一, 但分布在华南地区的酸性红壤, 大部分有效磷含量都很低, 是作物生长的重要限制因子之一, 因此选育耐低磷的作物品种很有意义。大豆[*Glycine max* (L.) Merrill] 是一种重要的油料作物和饲料作物, 富含蛋白质和微量元素, 营养价值较高, 且富含脂肪, 可以榨油, 豆饼、豆粕又是良好的饲料。大豆在低磷土壤上表现出一定的基因型差异, 有些品种表现出良好的耐低磷能力, 具有较高磷效率的遗传潜力^[1]。植物本身的耐低磷基因型差异主要取决于根形态及根生理生化特性, 其中根形态和根分泌物特性是影响植物自身吸磷能力的 2 个最重要因素。由于磷在土壤中的移动性较差, 根系只有增大与土壤的接触面积, 才能更有效地吸收土壤中的磷。缺磷时植物可能会通过根长、根表面积的增加等来提高吸收土壤中的有效磷的能力。关于有机酸在促进难溶性磷活化方面的研究已有报道^[2]。一般认为, 缺磷条件下根系有机酸分泌量的增加是磷高效植物活化难溶性磷的主要机制。Lipton 等^[3]发现, 缺磷条件下, 苜蓿根分泌的柠檬酸量显著增加, 可达正常供磷的 1.82 倍。Hoffland 等^[4]也发现, 油菜根系在缺磷胁迫下分泌的柠檬酸和苹果酸可达对照的 6~7 倍。但有关大豆根形态和根分泌物特性与磷效率关系的研究还不多。本研究通过对不同大豆品种的比较研究, 希望寻求到与大豆磷

效率有关的根系形态学特征和根系分泌物特性, 而为大豆磷效率的遗传改良提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试植物材料

大豆[*Glycine max* (L.) Merrill] 品种为: 南雄 36 号、博罗 58 号、博罗 61 号, 前人研究表明这 3 个品种在磷吸收利用效率方面存在一定的差异。

1.2 实验方法

土培试验采用花岗岩发育的赤红壤作为酸性红壤的代表, 供试土壤采于华南农业大学绿肥园, 其中 pH 4.78, 有机质 14.02 g/kg, 全氮 0.69 g/kg, 碱解氮 61.8 mg/kg, 全磷 0.25 g/kg, 速效磷 5.88 mg/kg, 全钾 5.08 g/kg, 速效钾 43.3 mg/kg。

盆栽试验用陶土盆在华南农业大学玻璃网室进行, 每盆装土 5 kg。每个品种都作不施磷肥(P0)、施普通过磷酸钙(P1, 施磷 0.15 g/kg) 2 个处理, 每处理重复 3 次。种植 45 d 后收获, 分别测定植株地上部、根部生物量、主根长, 总吸收面积、活跃吸收面积。

水培试验每个品种都进行不施磷(P0)和正常供磷(P1) 2 个处理, 重复 3 次。大豆营养液配方(单位: $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$): KNO_3 4.5、 NH_4NO_3 1.2、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 3.6、 K_2SO_4 1.2、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 3.0、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1.2、 Fe-EDTA 0.03、 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.0045、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

收稿日期: 2000-10-30

作者简介: 王美丽(1972-), 女, 硕士, 现在广东省农科院土壤肥料研究所工作; 通讯作者:

严小龙(1961-), 男, 教授, 博士。

基金项目: 广东省“九五”农业重点科技项目(9622043-04)

0.001 5、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.004 5、 H_3BO_3 0.001 5、 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.000 4, 正常供磷处理加入的磷肥及用量为 KH_2PO_4 1.0 mmol $\cdot\text{L}^{-1}$ 。缺磷生长第 15 d, 收集根洗液, 将其在旋转蒸发仪上于 40 $^{\circ}\text{C}$ 下浓缩至干, 在浓缩样品的圆底烧瓶中准确加入 10 mL 的 pH 2.60 的重蒸馏水, 过滤后在高效液相色谱仪上测定有机酸的种类和数量。色谱条件如下: C-18 柱, 流动相用磷酸二氢钾调制成 pH 2.60 的重蒸馏水, 流速为 0.3 mL $\cdot\text{min}^{-1}$, 柱温 30~40 $^{\circ}\text{C}$, 检测为 UV 214 nm, 进样量 20 μL , 采用外标法。总酸量的测定用 NaOH 滴定, H^{+} 分泌量的测定用 pH 差减法, 收获时测定磷含量, 植株磷测定用钼蓝比色法。

2 结果与讨论

2.1 土培中低磷胁迫对大豆生物量的影响

从整株水平来看, 不施磷肥 (P0) 与施用普通通过磷酸钙 (P1) 间存在显著差异, 大豆品种南雄 36 号有较高的耐低磷能力, 在低磷 (P0) 胁迫条件下其整株生物量为 1.50 g/株, 显著高于博罗 58 号 (0.92 g/株) 和博罗 61 号 (1.03 g/株) (表 1), 而且其表现实际生长状况也很好, 这表明其能有效利用土壤中的磷来满足自身生长的需要, 并在幼苗期积累一定的生物量为生殖生长打下良好的基础。在等量胁迫条件下, 养分效率高的品种是那些取得较高产量的品种^[5], 这表明南雄 36 号较其他品种在吸收磷及利用磷方面的能力较高, 也即对磷有较强的吸收效率和利用效率。有趣的是, 该品种在高磷处理 (P1) 下的生物量反而少于低磷处理 (P0) (表 1), 可能是由于高磷处理引起了其他元素吸收的不平衡。

2.2 土培中低磷胁迫对大豆根冠比的影响

南雄 36 号、博罗 58 号、博罗 61 号的根冠比在不施磷肥 (P0) 时分别为 0.11、0.14、0.13, 施用普通通过磷酸钙 (P1) 时分别为 0.12、0.12、0.15, 方差分析表明处

表 1 土培试验不同磷处理中大豆生物量 (干基, g/株)¹⁾

Tab. 1 Soybean biomass in the soil pot experiment with various P supplies (dry base, g/plant)

品种 variety	地上部 shoot		根部 root		整株 total	
	P0	P1	P0	P1	P0	P1
南雄 36 号 Nanxiong 36	1.35a	1.04b	0.15a	0.12a	1.50a	1.16b
博罗 58 号 Boluo 58	0.81b	1.45a	0.11a	0.17a	0.92b	1.61a
博罗 61 号 Boluo 61	0.91b	1.21ab	0.12a	0.19a	1.03b	1.40ab

1) 表中数据是 3 次重复的平均值; 纵列数据的末尾具有相同字母表示差异不显著 (Duncan 法, $P=0.05$)

理间无差异和各品种间无差异。一般来说, 缺磷对地上部生长的抑制要比对根系大得多^[9], 根冠比的增加意味着单位地上部干质量有较多的根系用以吸收磷等营养元素, 根系生物量在缺磷条件下相对增加, 但并非绝对生物量大于正常供磷处理, 此现象为缺磷的典型反应^[7]。本试验发现大豆不同品种的根冠比在不施磷肥 (P0) 与施用普通通过磷酸钙 (P1) 处理中均无明显规律性, 说明根冠比不能作为大豆磷效率比较的一个特性指标。

2.3 土培中低磷胁迫对大豆主根长、总吸收面积和活跃吸收面积的影响

除博罗 58 号在不施磷肥时主根长稍低于施磷处理外, 南雄 36 与博罗 61 均是不施磷肥时主根长较长, 但各品种间无明显差异 (表 2)。Barber 和 Mackey 用 2 个玉米品种所做的田间试验证明磷含量较高的品种其根较长、生物量也较大^[8], 但本试验中大豆却没有这一现象。在总吸收面积和活跃吸收面积方面大豆各品种间存在一定差异, 但不施磷肥 (P0) 与施用普通通过磷酸钙 (P1) 处理间无显著差异, 且没有明显的规律性 (表 2)。上述结果均表明主根长、总吸收面积和活跃吸收面积不一定能作为大豆各品种间磷效率比较研究的特异性指标。

表 2 土培大豆主根长、总吸收面积和活跃吸收面积¹⁾

Tab. 2 Tap root length root total absorbing area and active absorbing area of soybean in the soil pot experiment

品种 variety	L (主根 main root)/cm		S (总吸收 tot. absorbing)/m ²		S (活跃吸收 active absorbing)/m ²	
	P0	P1	P0	P1	P0	P1
南雄 36 号 Nanxoing 36	23.7ab	20.5b	1.92a	1.32b	0.70a	0.58b
博罗 58 号 Boluo 58	25.5ab	26.8a	1.51b	2.25a	0.57b	0.79a
博罗 61 号 Boluo 61	32.7a	25.4a	1.53b	1.92ab	0.59b	0.71a

1) 表中数据是 3 次重复的平均值; 纵列数据的末尾具有相同字母表示差异不显著 (Duncan 法, $P=0.05$)

2.4 水培中大豆磷含量状况

从整株水平来看, 营养液供磷状况显著影响了大豆的磷含量(表3), 统计结果表明: 缺磷与正常供磷处理间存在显著差异, 大豆各品种间在缺磷胁迫(P0)时没有达到显著差异. 缺磷(P0)时3个品种南雄36号、博罗58号及博罗61号的根部磷含量分别为 0.04×10^{-2} 、 0.05×10^{-2} 、 0.08×10^{-2} g/株, 以南雄36号最低, 但该品种地上部磷含量与另外2个品种相比相对较高. 这表明该品种体内的磷有较高的运转效率, 能较快地运转所吸收的磷, 供植株生长所需, 即有较强的磷利用效率.

表3 水培大豆磷含量($\times 10^{-2}$ g/株)¹⁾
Tab.3 Phosphorus content of soybean in hydroponic culture ($\times 10^{-2}$ g/plant)

品种 variety	地上部 shoot		根部 root		整株 total	
	P0	P1	P0	P1	P0	P1
南雄36号 Nanxoing 36	0.19a	5.61a	0.04b	0.81b	0.23a	6.42b
博罗58号 Boluo 58	0.13b	5.67a	0.08a	1.44a	0.21a	7.11a
博罗61号 Boluo 61	0.16ab	5.91a	0.05b	1.35a	0.21a	7.26a

1) 表中数据是3次重复的平均值; 纵列数据的末尾具有相同字母表示差异不显著(Duncan法, $P=0.05$)

2.5 水培中磷胁迫下大豆总酸量和H⁺的分泌状况

植物在缺磷时会大量分泌出一些物质, 其中酸类物质对活化土壤中的难溶性磷有特殊功效^[1]. 酸类物质及H⁺可通过酸性溶解作用活化土壤中难溶性钙磷, 甚至对铝磷和铁磷也有一定作用. 本研究中, 磷胁迫条件下(P0)大豆各品种的总酸及H⁺分泌量较正常供磷条件下显著增加, 且有品种间差异, 南雄36号在磷胁迫时分泌的总酸量及H⁺分泌量均显著高于博罗58号及博罗61号(表4). 这表明南雄36号可能是通过分泌一些酸类物质及H⁺来活化土壤中的难溶性磷来满足自身生长所需的磷素, 从而使其表现出较高的磷吸收效率.

表4 水培中大豆总酸、H⁺分泌量($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)¹⁾
Tab.4 The quantity of total acid and H⁺ exuded by soybean in hydroponic culture

品种 variety	总酸 total acid		H ⁺	
	P0	P1	P0	P1
南雄36号 Nanxoing 36	0.931a	0.433b	0.143a	0.054a
博罗58号 Boluo 58	0.604b	0.517a	0.122b	0.059a
博罗61号 Boluo 61	0.625b	0.488ab	0.134ab	0.048a

1) 表中数据是3次重复的平均值; 纵列数据的末尾具有相同字母表示差异不显著(Duncan法, $P=0.05$)

2.6 磷胁迫下大豆分泌有机酸的种类和数量

Bolan发现二元羧酸对提高土壤有效磷有特殊功效^[9], 二元羧酸中2个羧基有一定螯合铁铝的能力, 从而使磷从土壤难溶性铝磷和铁磷中释放出来. 本试验中大豆各品种在磷胁迫时草酸的分泌量均高于供磷处理, 其中南雄36号在磷胁迫时其草酸的分泌量相对高于另外2个品种(图1). 此外, 南雄36号在磷胁迫时可分泌一定量的乳酸, 而其他品种均未检测到乳酸的分泌. 这表明南雄36号在低磷胁迫下能分泌一定种类的有机酸, 从而对活化土壤中难溶性磷有一定的遗传潜力, 具有较高的磷效率.

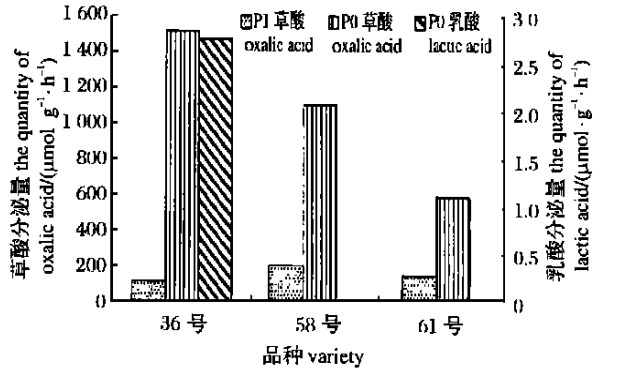


图1 水培中大豆草酸和乳酸分泌量
Fig.1 The quantity of oxalic acid and lactic acid exuded by soybean in the hydroponic culture

参考文献:

[1] 年海, 郭志华, 余让才, 等. 不同来源大豆品种耐低磷能力的评价[J]. 大豆科学, 1998, 17(2): 108—114.
[2] TRAINA S J, SPOSITO G, HESTERBERG D et al. Effect of pH and organic acids on orthophosphate solubility in an acidic montmorillonitic soil[J]. Soil Science Society of American Journal, 1986, 50: 45—52.
[3] LIPTON D S, BLANCHARD R W, BLEVINS D G. Citrate, malate and succinate concentration in exudates from P-sufficient and P-stressed *Medicago sativa* L seedlings[J]. Plant Physiology, 1987, 85: 315—317.
[4] HOFFLAND E. Mobilization of rock phosphate by rape (*Brassica napus* L)[D]. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 1991. 1—93.
[5] GERLOFF G C. Intact-plant screening for tolerance of nutrient-deficiency stress[J]. Plant Soil, 1987, 99: 3—16.
[6] ASHER C J, LONERAGAN J F. Response of plants to phosphate concentration in solution culture: I. Growth and phosphorus content[J]. Soil Science, 1967, 103: 225—233.
[7] 严小龙, 张福锁. 植物营养遗传学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997. 1—52.
[8] BARBER S A, MACKEY A D. Root growth and potassium uptake by two corn genotypes in the field[J]. Fertilizer Research, 1986, 10(3): 213—217. <http://www.cnki.net>

[9] BOLAN N S, NAIDU R, MAHIMAIRAJA S, et al Influence of phates[J]. Biology and Fertility of Soils 1994 18: 311—319.
low-molecular-weight organic acids on the solubilization of phos-

Characteristics on Root Morphology and Root exudation of Soybean in Relation to Phosphorus Efficiency

WANG Mei-li, YAN Xiao-long

(Laboratory of Plant Nutritional Genetics, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China)

Abstract: Soil pot and hydroponic experiments were conducted to compare root morphological features and root exudation characteristics of difference soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] varieties. The results indicated that genetic variation existed among the tested cultivars. Under low phosphorus condition, a soybean cultivar, Nanxiong 36, had relatively higher phosphorus efficiency than the other cultivars used. Under phosphorus deficiency, root-shoot ratio, tap root length, root total absorbing area and active absorbing area of soybean did not show a clear pattern of variation, hence these parameters should not be considered as specific indices of phosphorus efficiency. At low phosphorus availability, soybean exuded higher amount of total acid and H^{+} than at high phosphorus availability. At low phosphorus level both total acid and H^{+} exuded by variety Nanxiong 36 were significantly higher than the other cultivars. At low phosphorus level the quantity of oxalic acid exuded by soybean roots was in general higher than those at high phosphorus level. The quantity of oxalic acid and lactic acid exuded by Nanxiong 36 was relatively higher, which might imply that this cultivar has the genetic potential in solubilizing unavailable phosphorus in the soil, and hence has higher phosphorus efficiency.

Key words: soybean; phosphorus efficient; root morphological; root exudation

【责任编辑 周志红】