

大豆不同品种对磷胁迫反应的研究^{*}

徐青萍 罗超云 廖 红 严小龙^{**} 年 海

(华南农业大学植物营养遗传研究室, 根系生物学中心, 广州, 510642)

摘要 通过大田试验, 探讨不同来源的 8 个大豆品种对南方酸性低磷红壤的适应性, 并初步分析其磷效率的机理。试验表明: 生物学产量、经济学产量、总体磷效率和磷吸收效率具有显著的品种差异。从吸收效率(以吸磷量为标准)来看, BX10 属于磷高效、不敏感品种, BD2、GD1 和 GD3 属于磷低效、敏感品种, 而 BX11、BD1、GD2 和 GD4 则表现不稳定。供试大豆总体磷效率(以生物量为标准)与磷吸收效率表现趋势基本一致, 而磷利用效率并没有显著的品种差异。在本试验中, 总体磷效率主要取决于磷吸收效率。此外, 磷吸收效率较高的品种, 其根长和根表面积并没有优势, 供试大豆对土壤磷的吸收效率可能受其它根系性状, 如根构型和根分泌物等的影响。

关键词 大豆; 磷效率; 酸性红壤

中图分类号 S 565. 101 文献标识码 A 文章编号 1000-9841(2003)02-0108-07

我国南方大部分为酸性红壤, 土壤缺磷是限制大豆产量提高的重要因素之一。通过传统方法施用磷肥容易被土壤固定, 达不到增加土壤有效磷的目的。如果能够选育出一些适应生长于这类土壤, 在不施或少施磷肥的情况下仍能获得优质高产的磷高效大豆品种, 对我国经济、农业、环境的可持续发展将具有重要的意义^[1, 2]。

作物磷效率包括两方面, 即磷吸收效率(植物吸收介质中磷的能力)和磷利用效率(作物对体内磷的利用能力)^[3]。由于磷在土壤中易被固定而难以移动, 植物对土壤中磷的吸收主要依靠根系吸收其周围所接触到的土壤有效磷^[4]。因此, 根系的许多性状(如根长、根质量、根吸收面积等)与磷吸收有着密切的关系^[5, 6]。此外, 由于长期施肥等因素造成磷在土壤中分布极不均匀, 土壤有效磷一般在表层含量较高^[7]。因此, 根构型(即根在土壤中的空间分布)对土壤磷的吸收十分重要^[8]。

本研究在广东省博罗县杨村镇 4hm² 南方典型的酸性缺磷红壤上进行的, 目的在于探讨 8 个来源不同的大豆品种对低磷胁迫的适应性及其磷效率的差异, 并初步探讨大豆适应缺磷胁迫的机理, 为提高南方大豆单产、改善大豆品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试大豆包括不同来源的 8 个品种。其中 4 个品种是由本课题组从广东省收集和选育出来的地方种: 广东 1 号(GD1), 广东 2 号(GD2), 广东 3 号(GD3), 广东 4 号(GD4); 因巴西的气候和土壤因素与华南地区相似且其大豆产量较高, 故选用 2 个巴西品种作比较: 巴西 10 号(BX10)和巴西 11 号(BX11); 同时还采用了博罗试验田当地普遍栽种的两个品种本地 1 号(BD1)和本地 2 号(BD2)作为对照。

1.2 土壤

大田试验是在广东省博罗县杨村镇进行的。试验共分 A、B 两个试验点, 各占地 2hm²。其中 A 试验点耕层厚度为 30cm, B 试验点耕层厚度为 15cm。土壤的理化性质如表 1。其中, pH 值用 2.5:1 的水土比测定; 有机质用 K₂C₂O₇-H₂SO₄ 法测定; 全氮用开氏法测定; 有效氮用扩散法测定; 全磷用 H₂SO₄-HClO₄ 法消煮、钼锑抗比色法测定; 有效磷用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提、钼锑抗比色法测定; 全钾用 NaOH 熔融、火焰光度计测定; 有效钾用 1 mol/L NH₄OAc 浸提、火焰光度计测定。具体测定方法参

^{*} 收稿日期: 2002-11-04

基金项目: 本研究由美国麦氏基金会(McKnight Foundation)以及广东省科技计划项目(B504)资助。

^{**} 通讯作者: xlyan@scau.edu.cn

作者简介: 徐青萍(1977-), 女, 华南农业大学植物营养学专业在读研究生。

表 1 供试土壤的理化性质

Table 1 Physical-chemical properties of the tested soil

试验点 Site	类型 Soil type	pH	有机质	全氮	全磷	全钾	速效氮	速效磷	速效钾
			Organic matter	Total N	Total P	Total K	Avai kble N	Available P	Available K
			g/kg				mg/ kg		
A	赤红壤 Red soil	5. 85	20. 3	1. 1	0. 487	9. 27	139	26	180
B	赤红壤 Red soil	5. 53	18. 3	1. 1	0. 535	9. 28	147	26	162

考《土壤农化分析手册》^[9]。

1.3 试验方法

本试验设有 8 个品种和两个磷处理: 高磷(施磷 600kg/ hm²)和低磷(不施磷肥)处理。采取双因素完全随机区组设计, 每区组试验面积为 270m², 4 次重复。试验于 2001 年春季播种, 分两次采样。第一次在播种后一个月(植株开花前)进行; 第二次在成熟期, 根据不同品种的成熟时间分批采样。每区组采样 3 株, 作为一个重复。

植株地上部和地下部分别进行收获。地上部样品先在 105℃下杀青 30 分钟, 然后分为茎、叶、壳、粒于 75℃下烘干称重。地下部样品先用扫描仪扫描, 经计算机图像分析软件 WINRHIZO (Regent Ins Inc, Canada)计算总根长和表面积后, 再在 75℃下烘干称重; 最后将所有样品粉碎后用 H₂SO₄—H₂O₂ 法消煮, 钼锑抗比色法测磷。

本实验数据均用 Excel 进行计算, 用 SAS 进行双因素方差分析(用 Duncan 法进行检验, α=0.05)。

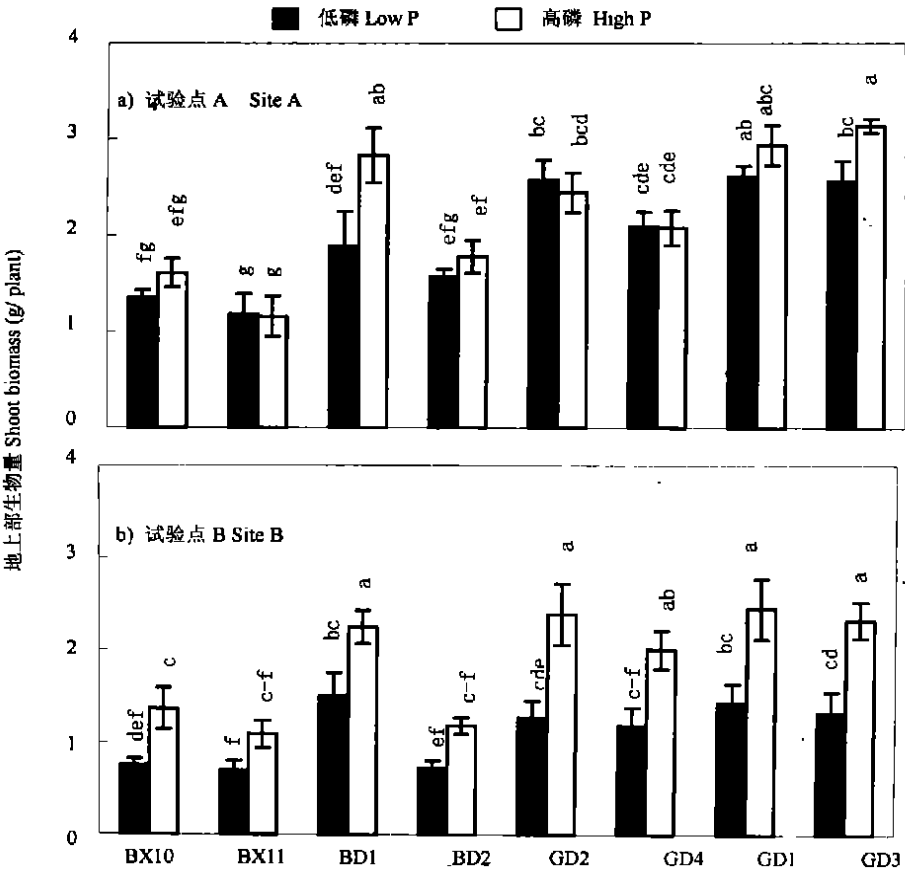


图 1 供试大豆生物学产量(苗期地上部生物量)在高低磷处理下的品种差异。a) 试验点 A; b) 试验点 B。方差分析表明, 品种和磷处理均达到显著水平(试验点 A: 品种间的 F 值为 18.73^{***}, 磷处理为 6.92^{*}; 试验点 B: 品种间的 F 值为 58.82^{***}, 磷处理为 10.04^{**})。每柱示四次重复的平均值及标准差。具有相同字母的柱子之间差异不显著。

Fig. 1 Breeding variations in biomass (as indicated by shoot biomass at vegetative growth stage) for the 8 tested soybean varieties at two P levels. a) Site A; b) Site B. F values are: Site A: 18.73 for variety (significant at 0.001); 6.92 for P level (significant at 0.05); Site B: 58.82 for variety (significant at 0.001); 10.04 for P level (significant at 0.01). Each bar is the mean of four replicates with standard error. The bars with the same letter are not significantly different from each other.

2 结果与分析

2.1 生物学产量(地上部生物量)

供试大豆的地上部生物学产量在 A、B 两试验点均具有显著的品种差异。苗期采样时, BX10 和 BX11 地上部生物量较低, 可能是由于这两个巴西品种均属于生育期较长的品种, 因而苗期时生长速度未达到高峰期, 生物量的累积相对较低(图 1a, b)。施用磷肥能够大幅度提高试验点 B 大豆地上部生物量。

2.2 经济产量(即子粒产量)

本试验的结果表明, 供试大豆的产量在 A、B 两试验点均具有显著的品种差异。施用磷肥能够提高大部分品种的产量, 说明缺磷确实是供试土壤上大

豆生产的主要限制因素。在 A、B 两试验点, BX10 和 BX11 产量在高低磷处理下均显著高于其它品种, 可见从经济产量上来衡量, 这两个品种对供试的酸性红壤的适应性较强。BD1、GD2 和 GD1 在试验点 A 产量较高, 对施磷的反应也较为敏感。但在试验点 B, BD1、GD2 和 GD1 产量相对较低, 且对磷肥的施用反应不显著。可能是由于试验点 B 耕层较浅, 不利于这类品种的生长。而 BD2 无论是在高磷处理还是低磷处理条件下, 其产量都较低, 表明这个品种在低磷红壤上种植的产量潜力较低(图 2a, b)。

2.3 磷效率评价

本文运用 Lynch (1998)^[10] 对磷效率的评价方式对供试大豆的磷效率进行评价。作物在低养分有效性时生长或产出的能力称之为效率。低养分有效性时生长或产出量较高, 称为高效率, 反之为低效率。

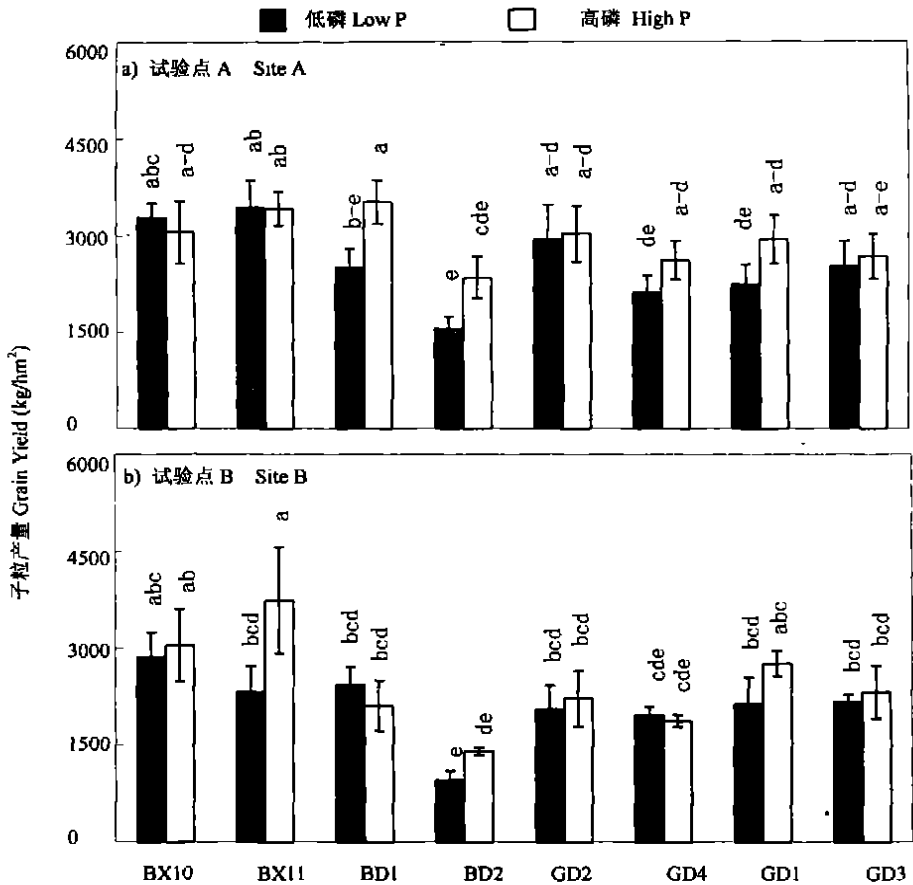


图 2 供试大豆经济产量(子粒产量)在高低磷处理下的品种差异。a) 试验点 A; b) 试验点 B。方差分析表明, 品种和磷处理均达到显著水平(试验点 A: 品种间的 F 值为 3.66 **, 磷处理为 4.50 *; 试验点 B: 品种间的 F 值为 4.83 **, 磷处理为 2.87)。每柱示四次重复的平均值及标准差。具有相同字母的柱子之间差异不显著。

Fig. 2 Breeding variations in grain yield for the 8 tested soybean varieties at two P levels. a) Site A; b) Site B. F values are: Site A: 3.66 for variety (significant at 0.01); 4.50 for P level (significant at 0.05); Site B: 4.83 for variety (significant at 0.01); 2.87 for P level (not significant). Each bar is the mean of four replicates with standard error. The bars with the same letter are not significantly different from each other.

而作物随养分有效性变化, 其生长或产出的能力的变化称为敏感性。生长或产出量随养分有效性的提高而大幅度提高的作物基因型为敏感基因型, 否则为不敏感基因型。

2.3.1 总磷效率

总磷效率一般指植物在一定有效磷浓度下所产生的生物量。本研究表明, 试验点 A 中 BD2、GD1、BD1 和 GD3 属于低效敏感品种(图 3 试验点 A , a 型), GD4 属于低效不敏感品种(图 3 试验点 A , c 型), BX10、BX11、GD2 属于高效不敏感品种(图 3 试验点 A , d 型); 试验点 B 中 BD2、GD1、GD2 和 GD3 属于低效敏感品种(图 3 试验点 B , a 型), BD1 和 GD4 属于低效不敏感品种(图 3 试验点 B , c 型), BX 10 属于高效不敏感品种(图 3 试验点 B , d 型), BX11 属于高效敏感品种(图 3 试验点 B , b 型)。

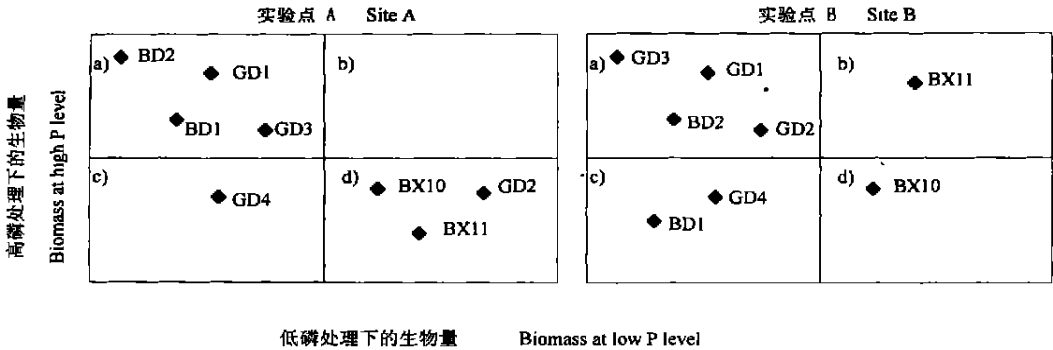


图 3 供试大豆总磷效率的评价。总磷效率共分为 4 种类型, a) 低效, 敏感型; b) 高效, 敏感型; c) 低效, 不敏感型; d) 高效, 不敏感型。

Fig. 3 Characterization of total P efficiency in the 8 tested soybean varieties a) low efficiency, high responsive; b) high efficiency, high responsive; c) low efficiency, low responsive; d) high efficiency, low responsive.

2.3.2 磷吸收效率

磷吸收效率是指植物在一定有效磷浓度下吸收的总磷量, 反应了植物对介质中磷的吸收能力。本研究表明, 试验点 A 中 BD2、GD1、BD1 和 GD3 属于低效敏感品种(图 4 试验点 A , a 型), GD4、BX10、

BX11、GD2 属于高效不敏感品种(图 4 试验点 A , d 型); 试验点 B 中 BD2、GD1、GD2、GD3 和 BX11 属于低效敏感品种(图 4 试验点 B , a 型), BD1 和 GD4 属于磷低效不敏感品种(图 4 试验点 B , c 型), BX10 属于高效不敏感品种(图 3 试验点 B , d 型)。

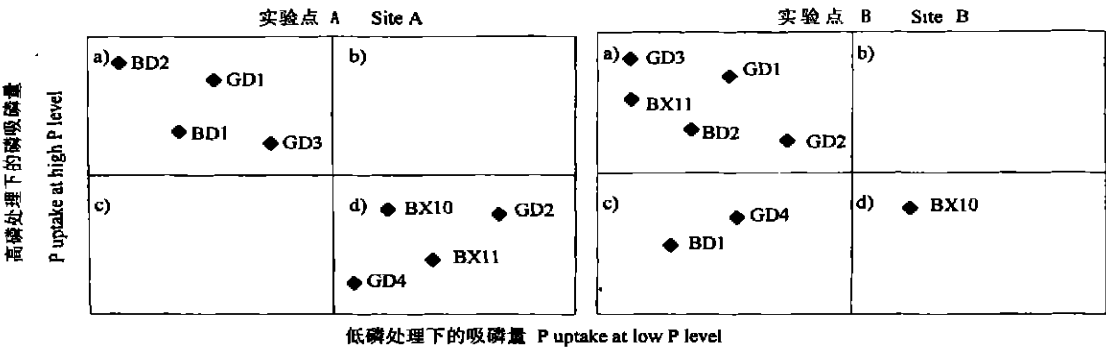


图 4 供试大豆磷吸收效率的评价。磷吸收效率共分为 4 种类型, a) 低效, 敏感型; b) 高效, 敏感型; c) 低效, 不敏感型; d) 高效, 不敏感型。

Fig. 4 Characterization of total P acquisition efficiency in the 8 tested soybean varieties. a) low efficiency, high responsive; b) high efficiency, high responsive; c) low efficiency, low responsive; d) high efficiency, low responsive.

从图 3 和图 4 可以看出, 各供试品种总磷效率的分布模式与磷吸收效率基本一致。例如, BX10 无论在试验点 A 还是试验点 B, 其总磷效率和磷吸收效率均属于高效率、低敏感类型; 而 BD2 则属于低效率、敏感型。此外, 供试品种磷利用效率的差异不

显著(数据未列出), 说明在本试验条件下, 供试大豆总磷效率主要由磷吸收效率决定。

2.4 根形态参数

2.4.1 根长

本研究结果表明, 供试大豆各品种之间的根长

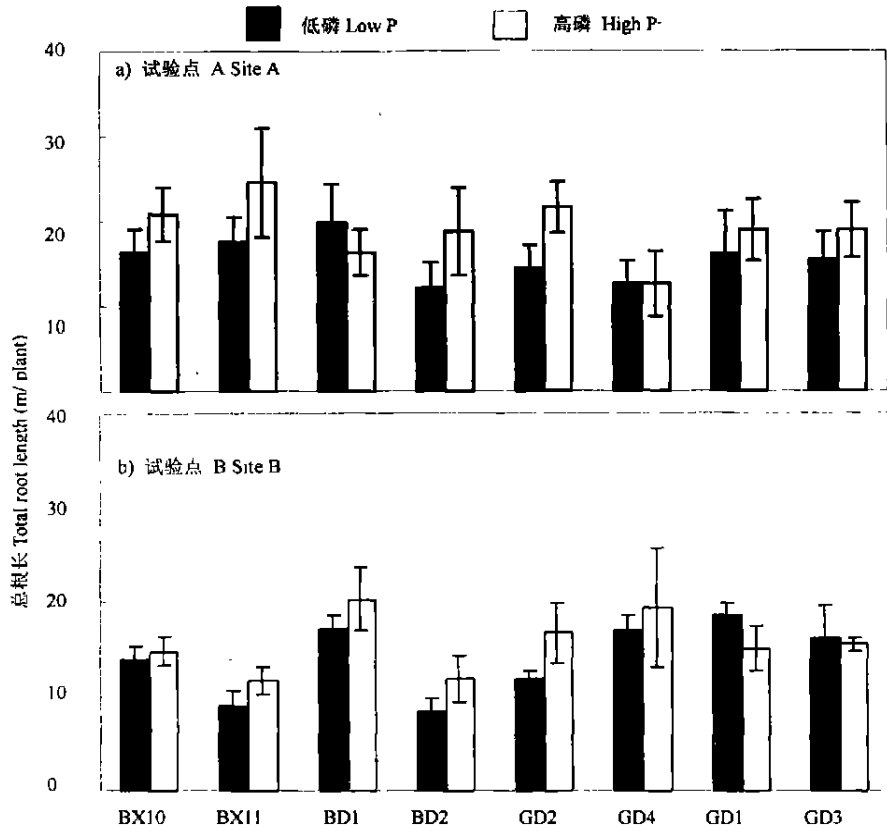


图5 供试大豆在高低磷处理下总根长的品种差异。a) 试验点 A; b) 试验点 B。方差分析表明 品种和磷处理均不显著。

Fig. 5 Genetic variations in total root length for the 8 tested soybean varieties at two P levels. a) Site A; b) Site B. There is no significant difference for variety and P level.

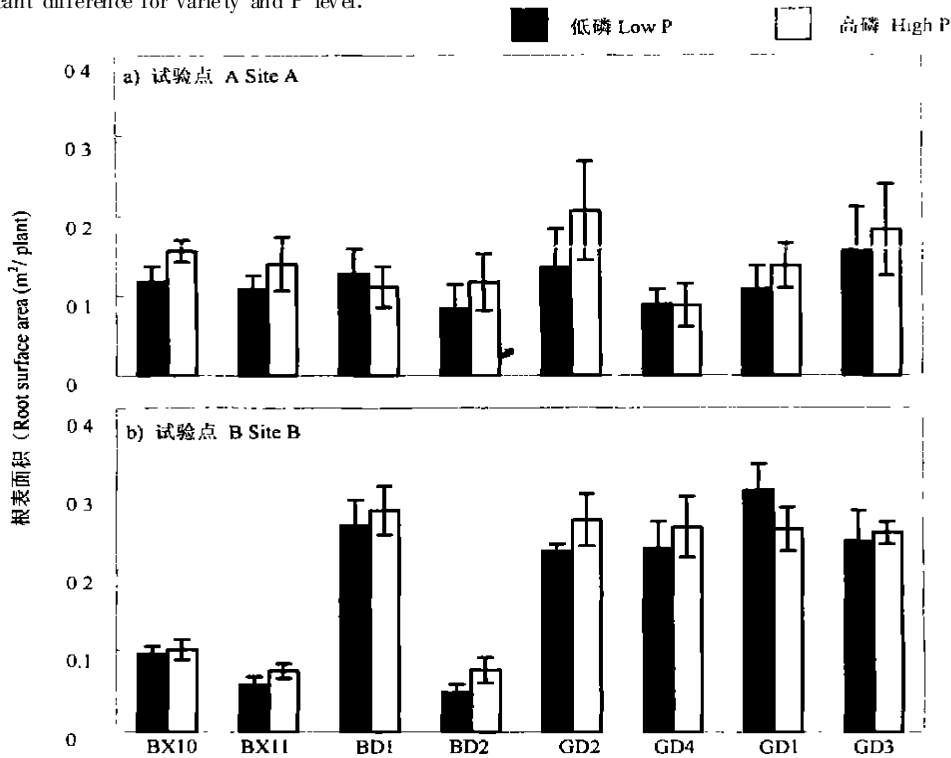


图6 供试大豆在高低磷处理下根表面积的品种差异。a) 试验点 A; b) 试验点 B。方差分析表明, 品种和磷处理均不显著。

Fig. 6 Genetic variations in root surface area for the 8 tested soybean varieties at two P levels. a) Site A; b) Site B. There is no significant difference for variety and P level.

(总根长)没有品种差异, 并且磷处理对根长的影响也不显著(图 5)。无论在试验点 A 还是试验点 B, 经济产量或生物学产量较高的品种在根长方面与其它品种相比都没有显著的差异。说明在本试验条件下, 根长对这两个产量指标的贡献不大。此外, 总磷效率和磷吸收效率较高的品种(如 BX10), 其根长与其它品种相比也没有差异。可见, 在本试验条件下, 根长对这磷效率的影响也不大。

2.4.2 根表面积

与根长结果相似, 供试大豆各品种之间的根表面积也没有差异, 并且磷处理对根表面积的影响也不显著(图 6)。无论在试验点 A 还是试验点 B, 经济产量或生物学产量较高的品种在根表面积方面与其它品种相比都没有显著的差异。说明在本试验条件下, 根表面积对这两个产量指标的贡献不大。在试验点 B, 总磷效率和磷吸收效率较高的品种(如 BX10), 其根表面积还小于其它品种。可见, 在本试验条件下, 根表面积不是影响植物磷效率高低的决定性因素。

3 讨论

植物总磷效率是指磷胁迫下植物所能产生的产量(生物量或经济产量), 包括磷吸收效率和利用效率两个方面^[4]。磷吸收效率可以用植株全磷含量(即吸磷量)表示。吸磷量可以直接反映植物吸收磷的能力, 吸磷能力强的品种耐低磷能力一般也较高。磷利用效率是指植物体内单位磷所生产的植株干物质的量, 磷利用效率高的品种能以最低的磷浓度进行正常的生长发育, 产生一定的生物量^[2]。

据报道, 根形态(如根长、根表面积等)与植物磷吸收效率有关^[5], 但是本试验中这些参数与磷效率并没有显著的相关性(图 5 和图 6)。在低磷条件下, 在经济产量、生物量、总磷效率和磷效率都表现较好的品种 BX10 和 BX11, 其根长和根表面积与其它品种相比都没有显著的差异, 甚至表现出较低的趋势。而在经济产量、生物量、总磷效率和磷效率都较差的品种 BD2, 其根长和根表面积与其它品种相比也较低。说明根长和根表面积等根形态性状不是供试大

豆磷效率唯一的决定因素。研究表明: 根系的空间造型和分布(即根构型), 以及根分泌物对低磷胁迫的适应性有较大的影响^[11]。BX10 等磷高效率品种可能在这些方面具有优势, 其吸收磷的能力较强。因此, 大豆磷高效的机理有待于进一步研究。

由于不同大豆品种的生育期和对光照反应的程度不同, 因此最终的经济产量不一定与苗期的反应一致。此外, 由于田间试验受环境的影响较大, 特别是在不同地方同时进行大面积的田间筛选, 容易产生一些矛盾的结果。例如, 在试验点 B, 几乎每个品种在高磷处理下的生物量均比低磷处理高 30% 或以上。而在试验点 A, 施用磷肥的影响则不显著。究其原因, 可能是由于试验点 B 耕层浅, 根系难以下扎而集中在土表, 而肥料又主要施在土壤的表层, 可能反而有利于植物对磷肥的吸收(图 1a, b)。因此, 还应该通过盆栽或水培等环境条件相对一致的试验进行更深一步的研究。

参 考 文 献

1 严小龙, 黄志武, 卢仁骏, 等. 关于作物磷效率的遗传学研究[J]. 土壤, 1992. 24(2): 101—105.

2 严小龙, 张福锁. 植物营养遗传学[M]. 北京: 农业出版社, 1997. 1—21.

3 Gerloff G C, Gabelman W H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: Encyclopedia of Plant Physiology (Lauchli A and Bielecki R L eds)[M]. Berlin: Springer-verlag, 1983. p453—480.

4 王美丽, 严小龙. 大豆根形态和根分泌物特性与磷效率[J]. 华南农业大学学报, 2001. 22(3): 1—3.

5 严小龙, 廖红, 戈振扬, 等. 植物根构型特性与磷吸收效率[J]. 植物学通报, 1999. 17(6): 511—519.

6 曹爱琴, 严小龙. 不同供磷条件下大豆根构型的适应性变化[J]. 华南农业大学学报, 2000. 22(1): 21.

7 彭克明. 农业化学(总论)(第二版)[M]. 北京: 农业出版社, 1996. 115 页.

8 廖红, 严小龙. 菜豆根构型对低磷胁迫的适应性变化及其基因型差异[J]. 植物学报, 2000. 42(2): 158—163.

9 劳家桎主编. 土壤农化分析手册[M]. 北京: 农业出版社, 1988. 229—299.

10 Lynch J. The role of nutrient-efficient crops in modern agriculture [J]. Journal of Crop Production, 1998. 1(2): 241—264.

11 Barber S A. Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach [M]. New York: Wiley Interscience, 1995. p 414—416.

STUDY ON THE RESPONSE OF SOYBEAN VARIETIES TO P DEFICIENCY

Xu Qiping Luo Chaoyun Liao Hong Yan Xiaolong Nian Hai

(*Laboratory of Plant Nutritional Genetics, Root Biology Center, South
China Agricultural University, Guangzhou, 510642*)

Abstract Field experiments were carried out to investigate the adaptability of 8 soybean varieties from different origins to low—P acid red soils in South China and the mechanism of P efficiency. The results showed that there were significant varietal differences in plant biomass, yield, P efficiency and P acquisition efficiency among the 8 tested soybean varieties. Based on P acquisition efficiency (defined as P content), variety BX10 was highly efficient but nonresponsive, BD2, GD1 and GD3 were inefficient but responsive, while the performances of other varieties BX11, BD1, GD2 and GD4, were unstable. Furthermore, the overall P efficiency (defined as biomass) of the tested soybean varieties showed the same pattern as P acquisition efficiency. On the other hand, there was no significant varietal difference in P utilization efficiency. This indicates that the overall P efficiency is mainly attributed to P acquisition efficiency in the present field study. Meanwhile, since the P—efficient varieties did not have longer root length and larger root surface area, P acquisition efficiency of the 8 tested soybean varieties may be dominated by other root traits, such as root architecture and root exudates under the present experimental conditions.

Key words Soybean; P efficiency; Acid red soil