

不同施磷量对大豆苗期根系形态性状的影响^{*}

金 剑^{1,2} 王光华¹ 刘晓冰¹ 陈雪丽¹ 李兴国³

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所黑土重点实验室, 哈尔滨, 150040;
2. 中国科学院研究生院, 北京, 100039; 3. 东北农业大学, 哈尔滨, 150030)

摘要 通过盆栽试验, 对不同磷施用量条件下的大豆根系形态进行研究。结果表明, 磷显著增加根系干重、根长、根表面积和根体积, 在低磷 P50 (50 mg/kg) 处理下, 根干重、根长、根表面积和根体积分别比 P0 (0 mg/kg) 处理增加 88.0%、97.1%、101.7% 和 104.9%。适量的磷可促进根系的生长, 增大根系在土壤中的养分吸收空间。磷对大豆根系形态性状的影响主要表现在根量及根长的增加上, 而与不同粗细的根系分布比例关系不大。在不同施磷处理间, 高磷 P100 (100 mg/kg) 处理的根系性状弱于低磷 P50 处理。磷对根系的促生长作用是有一定范围的, 过高的磷不但不会进一步改善根系性状, 反而对其生长产生抑制作用。

关键词 大豆; 磷; 根系形态

中图分类号 S565.1 S143.2 文献标识码 A 文章编号 1000-9841(2006)04-0360-05

磷作为作物生长的必需元素之一, 与根系生长发育^[4] 和根系形态性状密切相关^[5,6]。如在低磷胁迫条件下, 白羽扇豆产生较多的排根^[7]; 菜豆适应性较强的基因型根系的向地性减弱, 基根生长角度变小^[8]。然而, 有关不同磷施用量对大豆根系形态性状影响的研究不多, 开展此方面研究对于提高大豆养分利用率, 减少肥料投入, 优化农作物管理具有一定的科学意义^[9]。

但是, 由于土壤限制根系的可观察性, 以及刻画根系形态性状的科学量化方法不完善等因素, 使得根系研究相对困难、费时^[10,11]。近年来, 计算机辅助电子影像分析系统的应用提高了根系测定的精度和效率, 避免了人为观察造成的主观影响^[12]。如 Winrhizo2004a 根系扫描测定系统采用高分辨率的图形扫描系统及多功能数字化软件, 可以一次测定获得根系长度、面积、体积、根尖数等多项指标, 广泛地运用于根系形态和构型研究^[13,14]。

本研究采用盆栽方法, 应用 Winrhizo 根系分析系统, 解析大豆根系对不同磷用量的差异响应, 揭示大豆根系形态改变的主要方面。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 大豆品种: 绥农 15、黑农 45、丰收 10。

1.1.2 土壤: 取自东北松嫩平原的海伦市胜利村, 土壤为典型中层黑土, 土壤有机质 47.5 g/kg、全氮 12 g/kg、全磷 0.872 g/kg、全钾 19.9 g/kg、碱解氮 175.0 mg kg⁻¹、有效磷 17.3 mg/kg、速效钾 180 mg/kg、pH 值 7.01 (v : w = 2.5 : 1)。风干后的土壤过 4 mm 筛, 备用。

1.2 试验方法

试验采用盆栽 (直径 16 cm, 高 14 cm) 的试验方法, 于 2005 年在中科院东北地理所盆栽试验场 (45°41.8' N, 126°38.1' E) 进行。试验设置 3 个磷处理, 即 P0: 不施磷肥; P50: 50 mg P/kg; P100: 100 mg P/kg。选用的磷源为 CaHPO₄。随机处理, 6 次重复。将比例为 1 : 1 (v/v) 的沙土混合物 2.5 kg 装入盆钵中, 同时均匀混入基础养分: 尿素 326 mg/kg、K₂SO₄ 140.5 mg/kg、CaCl₂ · 2H₂O 167 mg/kg、MgSO₄ · 7H₂O 43 mg/kg、ZnSO₄ 6 mg/kg、

* 收稿日期: 2006-03-08

基金项目: 哈尔滨市青年科学基金项目 (2005AFQ-Y-J-011); 国家自然科学基金项目 (40541004); 中国科学院知识创新项目 (KZCX3-SW-NA-04)。

作者简介: 金剑 (1974-), 男, 副研究员, 在读博士, 主要从事作物生理生态研究。

CuSO₄ 5 mg/kg。每个钵播种 3 粒大小均匀一致的大豆种子, 出苗 3 天后定苗至 1 株。土壤含水量控制在 20%(v/v) 左右。

在大豆播种 30d 后进行采样, 在子叶痕处将植株分为地上与地下两部分, 根系用流水缓缓冲洗干净, 冲洗时并在根系下面放置一个 100 目的筛子以防止脱落的根系被水冲走。根系形态特性用根系分析系统(加拿大 Regent 公司生产)进行测定, 将根系样品放置在 30×40 cm 树脂玻璃槽内, 并注水至 3~4 mm 深使根系充分散开, 双面光源扫描根系, 经专用数字化软件(WinRHIZO 2004a)分析后获得根长、根表面积、根体积及不同根直径下的根长等形态指标。采用烘干法(70℃至恒重)测得根系及地上部生物量。

1.3 数据统计分析方法

应用 SPSS 软件对不同磷处理大豆根系形态指标进行统计分析, 计算标准差及变异系数。采用

Sigma Plot 2000 绘图。

2 结果与分析

2.1 不同磷处理对大豆根系及地上部生物量的影响

由表 1 可见, 施用磷显著提高 3 个大豆品种的根系和地上部生物量。与处理 P₀ 相比, 处理 P₅₀ 和 P₁₀₀ 条件下的根干重增加 88.0%和 66.6%; 地上部干重增加 151.0%和 160.5%; 全株干重增加 132.4%和 132.8%。可见, 磷提高大豆植株的生物量主要体现在地上部生物量的增加。根冠比随着施磷量的增加而呈下降趋势也证明了这一点, 磷相对增加地上部的物质分配比例。与处理 P₅₀ 相比, P₁₀₀ 条件下的地上部干重仅上升 3.8%, 而根干重反而下降 11.4%, 全株重差异不大, 说明在高磷施用量条件下并不利于根系生物量的进一步提高。

表 1 不同施磷量对大豆苗期根系及地上部生物量的影响

Table 1 Effect of different phosphorus regimes on root and shoot biomass of soybean seedling

处理 Treatments	品种 Cultivars	根干重(mg/株) Root dry W.	地上部干重(mg/株) Shoot dry W.	全株干重(mg/株) Plant dry W.	根冠比 Root/shoot
P ₀	绥农 15 Suinong 15	467.2±75.5	1160±78.7	1627.2±148.4	0.403±0.043
	黑农 45 Heinong 45	584.1±55.5	1200±155.8	1784.1±198.8	0.487±0.049
	丰收 10 Fengshou 10	396.8±0.3	1100±60.0	1496.8±60.3	0.360±0.019
	平均 Mean	482.7	1153	1636.0	0.417
P ₅₀	绥农 15 Suinong 15	923.2±44.4	2850±200.5	3773.2±244.7	0.324±0.007
	黑农 45 Heinong 45	923.1±24.0	2915±95.0	3838.1±119.0	0.317±0.002
	丰收 10 Fengshou 10	876.6±92.8	2917±284.1	3793.6±366.7	0.301±0.016
	平均 Mean	907.6	2894	3801.6	0.314
P ₁₀₀	绥农 15 Suinong 15	834.2±71.4	3010±151.2	3844.2±175.0	0.277±0.025
	黑农 45 Heinong 45	797.9±66.0	3053±130.9	3850.9±166.9	0.261±0.020
	丰收 10 Fengshou 10	781.4±93.4	2950±165.1	3731.4±257.2	0.265±0.017
	平均 Mean	804.5	3004	3808.8	0.268

注: ± 后的值为标准差。Note: The values followed the ± denote standard deviations.

2.2 不同磷处理对根长、根表面积、根体积及比根长的影响

与根系生物量变化相似, 3 个大豆品种在施磷条件下, 根长、根表面积和根体积都表现不同程度的提高(表 2)。与处理 P₀ 相比, P₅₀ 和 P₁₀₀ 条件下的根长增加 97.1%和 88.5%; 根表面积增加 101.7%和 85.7%; 根体积增加 104.9%和 81.0%。说明磷具有很强的调节大豆根系形态的能力。不同施磷处理间, 处理 P₁₀₀ 的根长、根表面积和根体积均较处理 P₅₀ 低 4.3%、7.9%和 11.7%, 且 3 个品种均表现出这种趋势, 可见高量的磷一定程度上抑制根系的生长、伸长。比根长反映根系的粗细程度,

其与根直径和根系干物质量有关^[15]。随着磷施用量的增加, 比根长表现一定程度的增加, 但不显著(表 2)。

分析不同大豆品种间和磷处理间的根系形态性状的变异系数可知(表 3), 根干重、根冠比、根长、根表面积和根体积在品种间的变异系数均显著地低于磷处理间的变异系数, 说明磷调节根系形态的作用大于不同基因型间的差异, 磷对大豆根系的范型作用较大。而比根长没有表现出相似的趋势, 品种间的变异系数大于磷处理, 可见磷没有对根系的粗细程度产生明显影响。

表 2 不同施磷量对大豆苗期根系形态性状的影响

Table 2 Effect of different phosphorus regimes on root morphological characteristics of soybean seedling

处理 Treatments	品种 Cultivars	根长 (cm/株) Root length	根表面积 (cm ² /株) Root surface area	根体积 (cm ³ /株) Root volume	比根长 (cm/mg) Specific root length
P0	绥农 15 Suinong 15	2287+ 196	328.9+ 26.0	3.84+ 0.34	4.89+ 0.93
	黑农 45 Heinong 45	2424+ 268	336.6+ 37.8	3.78+ 0.42	4.15+ 0.29
	丰收 10 Fengshou 10	1756+ 296	244.5+ 24.6	2.78+ 0.09	4.43+ 0.75
	平均 Mean	2156	303.3	3.47	4.49
P50	绥农 15 Suinong 15	5044+ 325	685.2+ 54.1	7.46+ 0.72	5.46+ 0.23
	黑农 45 Heinong 45	4034+ 206	577.4+ 30.5	6.66+ 0.36	4.37+ 0.11
	丰收 10 Fengshou 10	3668+ 282	572.6+ 48.2	7.20+ 0.69	4.18+ 0.14
	平均 Mean	4249	611.7	7.11	4.67
P100	绥农 15 Suinong 15	4536+ 359	613.3+ 52.4	6.64+ 0.63	5.44+ 0.05
	黑农 45 Heinong 45	3886+ 106	536.0+ 22.9	5.98+ 0.36	4.87+ 0.54
	丰收 10 Fengshou 10	3772+ 207	540.2+ 25.4	6.23+ 0.38	4.83+ 0.67
	平均 Mean	4065	563.2	6.28	5.05

注: + 后的值为标准差。Note: The values followed the + denote standard deviations.

表 3 大豆品种间和不同磷处理间根系形态性状的变异系数(CV %)

Table 2 Coefficient variation (CV %) of root morphological characteristics among soybean cultivars and phosphorus treatments

	根干重 Root dry W.	根冠比 Root/shoot	根长 Root length	根表面积 Root surface area	根体积 Root volume	比根长 (cm/mg) Specific root length
品种 Cultivar	8.64	7.46	14.43	11.66	9.40	9.96
磷处理 P treatment	30.30	22.91	33.21	33.65	33.98	6.04

2.3 不同磷处理对不同根直径下的根长及其分布比例的影响

植物根系由不同粗细的根组成。本研究将根直径划分为 0~0.5、0.5~1.0、1.0~1.5、1.5~2.0、2.0~2.5、2.5~3.0 和 >3.0 mm 共 7 个级别,并定义 0~1.0 mm 内的根为细根,1.0~2.0 mm 为中粗根,2.0~3.0 mm 为粗根,>3.0 mm 为特粗根^[19]。由图 1 可见,磷对 0~1.0mm 内细根根长影响显著。处理 P50 和 P100 在 0~1.0 mm 内的根长显著高于

处理 P0。分析根长在各级别的分布比例可知(图 2),96%以上的大豆根是在 0~1.0 mm 的直径范围内,说明细根的多少决定根长的大小。不论施磷与否,在 0~0.5 mm 和 0.5~1.0 mm 内的根长比例并没有显著差异,处理 P0、P50 和 P100 的根长的在 0~1.0 mm 内分布比例分别为 98.2%、96.9%和 97.6%(图 2)。所以,磷处理对根长的增加作用主要是细根长度的增加,而不是其比例的增大。

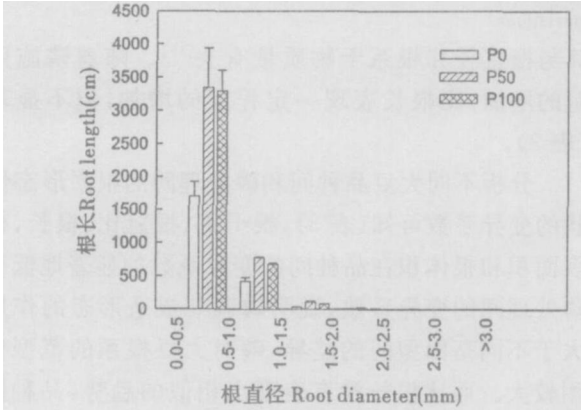


图1 不同磷处理对不同根直径下根长的影响
Fig.1 Effect of different phosphorus regimes on root length among different root diameters

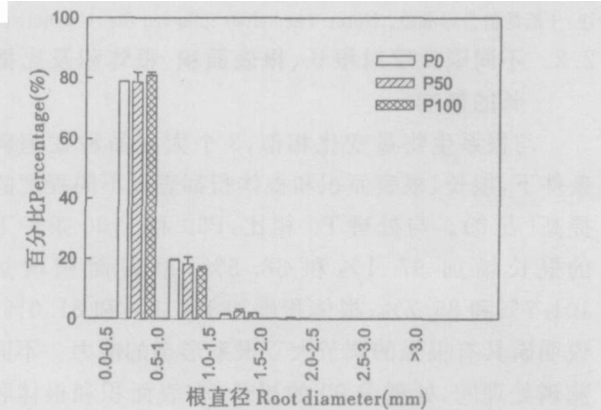


图2 不同磷处理对不同根直径下根长分布比例的影响
Fig.2 Effect of different phosphorus regimes on root length percentage among different root diameters

3 讨论

在养分(如氮、磷)充足的土壤区域,根系生长速度快、根系分枝多^[2],植物的这种响应机制使其实现了资源的优化配置,通过根系的旺盛生长,获得更多的养分,提高其在群体生态环境中的养分竞争能力^[17]。磷作为重要的营养元素,显著影响植株的生长与代谢^[18]。本研究中,磷显著增加根系干重、根长、根表面积和根体积,可见适量的磷可促进根系的生长,增大根系在土壤中的养分吸收空间。磷处理间的变异大于品种间变异也一定程度上揭示加强养分管理的重要意义。随着磷施用量的增加,根冠比减小,磷更大程度地促进地上部的生长,这与 Lynch 和 Brown (2001)^[19]的研究结果一致。

然而,在不同施磷处理间,高磷用量的根系性状弱于低磷施用量,而且全株的干重无显著差异,说明磷对根系的促生长作用是有范围的,过高的磷不但不会进一步改善根系性状,反而对根系生长产生抑制作用,对整个植株生长的促进作用也不明显,这可能与土壤养分间的拮抗作用及比例失调有关^[1]。所以,较高的磷施用量可能造成养分资源浪费,降低肥料的利用率。但要阐明利于根系生长的最佳磷施用量,还需要从不同基因型、不同的土壤环境条件,以及磷与土壤环境中其它养分的协调关系加以深入研究。

养分导致根系粗细度的变化主要与根系在各个根级别上的分布比例不同有关。如果养分使侧根分化、生长加快,比根长就有可能增大,这已经在小麦上增加 NO_3^- 的供给得以证实^[20, 21]。在本试验中,虽然比根长随磷施用量的增加呈上升的趋势,但并不显著,磷对大豆比根长的影响较小,不同根直径条件下根长比例在不同的磷处理间无明显差异也证明了这一点。所以,磷对大豆根系形态性状的影响主要表现在根量及根长的增加上,而与不同粗细的根系分布比例关系不大。

参 考 文 献

- 1 Forde B, Lorenzo H. The nutritional control of root development [J]. *Plant Soil*, 2001, 232: 51–68.
- 2 Robinson D. The responses of plants to non uniform supplies of nutrients [J]. *New Phytol.*, Robinson, 1994, 127: 635–674.
- 3 Williamson L. C., Ribrioux P. C. P., Fitter A. H., et al. Phosphate availability regulates root system architecture in Arabidop

sis [J]. *Plant Physiology*, 2001, 126: 875–882.

- 4 Mackay A. D., Barber S. A. Soil temperature effects on root growth and phosphorus uptake by corn [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1984, 48: 818–823.
- 5 Chassot A., Richner W. Root characteristics and phosphorus uptake of maize seedlings in a Bilayered soil [J]. *Agron. J.*, 2002, 94: 118–127.
- 6 廖红, 戈振扬, 严小龙. 水磷耦合胁迫下植物磷吸收的理想根构型: 模拟与应用 [J]. *科学通报*, 2001, 46(8): 641–646.
- 7 Bates T. R., Lynch J. P. Root hairs confer a competitive advantage under low phosphorus availability [J]. *Plant Soil*, 2001, 236: 243–250.
- 8 廖红, 严小龙. 菜豆根构型对低磷胁迫的适应性变化及基因型差异 [J]. *植物学报*, 2000, 42(2): 158–163.
- 9 Gahoonia T. S., Nielsen N. E. Variation in root hairs of barley cultivars doubled soil phosphorus uptake [J]. *Euphytica*, 1997, 98: 177–182.
- 10 Beyrouy C. A., Wells B. R., Norman R. J., et al. Root growth dynamics of a rice cultivar grown at two locations [J]. *Agron. J.*, 1988, 80: 1001–1004.
- 11 Liedgens M., Soldati A., Stamp P., et al. Root development of maize (*Zea mays* L.) as observed with Minirhizotrons in Ly sime ters [J]. *Crop Science*, 2000, 40: 1665–1672.
- 12 Stutte G. W., Stryjewski E. C. Computer classification of roots from digitized video images [J]. *Hort. Sci.*, 1995, 30: 906.
- 13 Kaspar T. C., Ewing R. P. Rootedge: Software for measuring root length from desktop scanner images [J]. *Agron. J.*, 1997, 89: 932–940.
- 14 金剑, 王光华, 刘晓冰, 等. 利用根箱法解析大豆苗期氮磷吸收及其在根际分布的特征 [J]. *大豆科学*, 2005, 24(4): 281–285.
- 15 Himmelbauer M. L., Puschenreiter M., Schnepf A., et al. Root morphology of *Thlaspi goesingense* Hálácsy grown on a serpentine soil [J]. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 2005, 168: 138–144.
- 16 Whiting S. N., Neumann P. M., Baker A. J. M. Applying a solute transfer model to phytoextraction: Zinc acquisition by *Thaspi caerulescens* [J]. *Plant Soil*, 2003, 249: 45–56.
- 17 Hodge A., Robinson D., Griffiths B. S., et al. Why plants bother: root proliferation results in increased nitrogen capture from an organic patch when two grasses compete [J]. *Plant Cell Environ.*, 1999, 22: 811–820.
- 18 Abel S., Ticconi C. A., Delatorre C. A. Phosphorus sensing in higher plants [J]. *Physiol. Plant*, 115(1): 1–8.
- 19 Lynch J. L., Brown K. M. Topsoil foraging an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability [J]. *Plant Soil*, 2001, 237: 225–237.
- 20 Bilbrough C. J., Caldwell M. M. The effects of shading and N status on root proliferation in nutrient patches by the perennial grass *Agropyron desertorum* in the field [J]. *Oecologia*, 1995, 103, 10–16.
- 21 Robinson D., Ronison I. H. A comparison of the responses of *Lolium perenne* L., *Holcus lanatus* L. and *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin. to a localized supply of nitrogen [J]. *New Phytol.*, 1983, 94: 263–273.

EFFECT OF DIFFERENT PHOSPHORUS REGIMES ON ROOT MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SOYBEAN SEEDLING

Jin Jian^{1,2} Wang Guanghua¹ Liu Xiaobing¹ Chen Xueli¹ Li Xingguo³

(1. Key lab of black soil, Northeast Institute of Geography and Agro ecology, Chinese Academy of Science, Harbin 150081; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039; 3. Northeast Agricultural university, Harbin 153000)

Abstract The response of soybean root morphology to different phosphorus regimes was researched by a pot experiment. The results showed that phosphorus significantly increased root dry weight, root length, root surface area and root volume. In the treatment of low phosphorus, i. e. P50 (50 mg/kg), root dry weight, root length, root surface area and root volume were 88.0%, 97.1%, 101.7% and 104.9% higher than P0 (0 mg/kg) treatment. This indicated that suitable phosphorus may accelerate root growth resulting in root exploring more soil space for nutrient absorption. The variation of root morphology by phosphorus was root mass and root length, rather than root percentage at different ranges of root diameters. The root morphology in P100 (100 mg/kg) treatment was worse than that in P50 treatment, suggesting that there was a threshold for phosphorus application to stimulate root growth, therefore, too much phosphorus may limit root growth but enhance it as expect.

Key words Soybean; Phosphorus; Root morphology

欢迎订阅《北京农业》—农业科技论文

《北京农业》杂志为了更好地发挥农业传媒的职能,充分利用自身资源和优势,2007年创办《北京农业—农业科技论文》,主要面向全国各级农业科研工作者和农业院校师生,为广大农业科研、农业技术推广工作者和农业院校师生展示发布科研新成果、新技术及对“三农”问题研讨成果服务,特别是为解决基层农业科研、推广人员、教育培训人员评定职称发表论文难的问题服务。本刊将提高服务意识,聘请有关专家把关和指导,使基层科研、推广人员能够顺利完成论文的写作和发表,使您的科研成果能够及时交流并通过本刊掌握国内最新农业科研、推广动态,祝您的事业取得更大进步。

国内统一刊号:CN11-2222/S,大16开本,月刊,每月25日出版,每期定价8元,全年96元,自办发行。2007年读者可直接向编辑部订阅。

地址:北京市西城区裕民中路6号(100029)

咨询电话:(010)62044255 (010)62351793

E-mail:bjnyxsb@163.com