

# 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<sup>\*</sup>

金 剑<sup>1,2</sup> 王光华<sup>2</sup> 刘晓冰<sup>2</sup> 潘相文<sup>2</sup> 刘 杰<sup>3</sup>

(1. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 哈尔滨 150040;  
3. 黑龙江省农业科学院, 哈尔滨 150086)

**摘要** 应用根箱法对 2 种不同大豆基因型苗期的氮、磷吸收及其在根际分布进行比较研究。结果表明, 高产品种北丰 11 单位根长及根表面积吸收的氮、磷量及植株体内的氮、磷含量均高于低产品系海 9731, 北丰 11 表现出较强的吸收养分能力。土壤有效氮、磷在根际的分布趋势不同, 根际有效氮含量高于非根际, 而有效磷含量则低于非根际, 但全氮和全磷的含量无明显变化。不同基因型间, 活化根际养分能力差异较大, 北丰 11 在 0–8 mm 内的根际土壤有效氮、磷含量均高于海 9731, 这种差异的原因与 2 基因型根际 pH 值的差异有一定关系, 北丰 11 根际 pH 较低。

**关键词** 大豆; 根际; 氮磷; 根箱法

中图分类号 S 565. 101 文献标识码 A 文章编号 1000–9841(2005)04–0281–05

土壤中的水分和养分是限制植物生长的重要因素, 植物根系如何有效吸收和利用土壤中有限的资源一直是农学、生态学及基础植物生物学的热点、难点问题<sup>[1,2]</sup>。养分的吸收与植物自身及受其影响的根际微环境密切相关<sup>[3,4]</sup>。根际作为土壤生态系统中的一个特殊系统, 是植物根系与土壤和微生物相互作用形成的界面<sup>[5]</sup>。而植物是根际微生态系统的主导方面, 不同植物(大麦、玉米、鹰嘴豆、黄瓜、牧草)根系形态及生理代谢特征不同, 即使同一种植物的不同基因型也存在差异, 这势必产生不同的根际效应<sup>[6,7]</sup>。

根系生长改变根际环境, 而且不断吸收养分, 使得根际土壤的养分含量不同于非根际土壤。Morit suka 等(2000)对玉米和菜豆根际养分变化进行研究, 指出可溶性的 P、K 浓度在根面区下降, 而 Na、Ca 和 Mg 在根面区富集<sup>[8]</sup>。Wang 等(2003)对不同 N 源对大豆根际养分的研究表明, 在硫酸铵和尿素的处理条件下, 硝态氮在根面区减少, 成为大豆吸收的主要氮源形式, 而氨态氮在根面区富集<sup>[9]</sup>。然而, 有关不同基因型大豆根际土壤养分有效性的差异研究并不多, 利用可以比较精确地分离距根面不同距离土壤的根箱法<sup>[9,10]</sup>开展根际营养研究, 可为有针

对性的科学精准的养分管理, 协调大豆根际养分有效性, 减少资源浪费, 提高肥料利用率提供科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

1.1.1 大豆品种(系): 高产品种北丰 11 和已经稳定的低产品系海 9731, 这 2 个品种(系)在以前的研究中已进行了产量划分<sup>[11]</sup>。

1.1.2 土壤: 取自地处松嫩平原的海伦市胜利村, 土壤为典型中层黑土, 前茬为玉米, 土壤有机质 21.4g/kg、全氮 1.92g/kg、全磷 0.74g/kg、速氮 138.4mg/kg、速磷 26.4mg/kg 和 pH 值 6.98(v:w=2.5:1)。风干后的土壤过 1mm 筛, 并按沙土比为 1:1 的比例混合, 以放大大豆基因型的根际效应<sup>[12]</sup>。

### 1.2 根箱结构及大豆生长条件

根箱法是一种可以收集距根系不同距离的根际土壤的有效方法(图 1), 此法不需要切片, 避免了冰冻切片等引起的误差, 容易得到大量根际土壤, 有利于多项目测定<sup>[13,14]</sup>。

\* 收稿日期: 2005–04–18

基金项目: 中国科学院知识创新项目(KZCX3–SW–NA–04)

作者简介: 金 剑(1974–), 男, 助研, 在读博士, 主要从事作物生理生态研究。

本试验在根箱中用尼龙筛网将根系及离根不同距离的土壤各层隔开,尼龙网用厚度为 2mm 的塑料框固定,以分割土壤微区,尼龙网孔径<25 $\mu$ m,可以防止根系穿透,而保证水分和养分在各层间自由运移。在根箱结构中的中间层,又称中央室(Central Compartment),宽 6mm,大豆播种及根系生长在此区域。在中央室左右两侧各安放 5 个固定有尼龙网的微区框,分别认定为距根面 2、4、6、8 和 10mm 的根际土壤。每个根箱播种 6 粒大小均匀一致的大豆种子,出苗 5 天后定苗至 3 株。根箱放置在温室内生长,昼夜温度分别在 24-28℃和 16-20℃之间。在生长期每天向根箱补给蒸馏水,使土壤持水量保持在 70%左右。

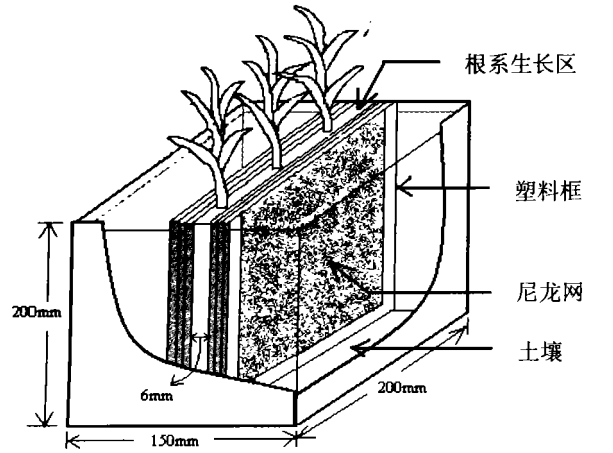


图 1 根箱结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of the rhizobox

1.3 调查项目及分析方法

大豆出苗后生长 45 天进行土壤取样。小心地拆除根箱中的各层塑料框,左右两侧距中间层相同距离的土样混合,作为一个样品进行分析。土样经自然风干后,各层土壤 pH 值(w:v=1:2.5)应用 Delta320A-pH 计(梅特勒-托利多公司生产)测定,有效氮和有效磷分别用碱解扩散法和碳酸氢钠法测定,全氮和全磷分别用开氏消煮法和酸溶-钼

锑抗比色法测定。

大豆植株收获后,在子叶痕处将植株分为地上与地下 2 部分,根系用流水缓缓将冲洗干净,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,然后将根瘤摘下,计数,根系形态特性用 WinRHIZO-2004a 根系分析系统(加拿大 Regent 公司生产)进行测定,经专用数字化软件(Pro-LA1640)分析后获得根长、根表面积等形态指标。地上及地下部植株样品 80℃烘干至衡重,称重,并留样测氮磷。氮的测定应用半微量凯氏定氮法,磷的测定应用钒钼黄比色法。

1.4 统计分析

用 Microsoft-excel 软件进行数据的平均值及标准差的计算,用 SAS 软件(SAS Institute, 1994)进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 大豆苗期根系性状及其对氮磷的吸收

由表 1 可见,北丰 11 的根系生物量、根冠比、根长、根表面积及根瘤数分别比海 9731 高 58.4%、7.20%、31.1%、47.2%和 23.4%,并且达到显著水平,说明北丰 11 苗期根系较发达,而且同化物质相对较多地供应根系生长。与根系性状相似,北丰 11 植株的氮、磷相对含量也显著地高于海 9731,可见,北丰 11 利用土壤氮、磷的能力也较强。

根长和根表面积与养分吸收有关,单位土壤体积内的根长可用于养分吸收的量化研究<sup>[15]</sup>。在本研究中,单位根长吸收氮和磷量在 2 个品种(系)间存在明显的差异,北丰 11 平均每厘米根长吸收氮、磷分别比海 9731 高 67.6%和 45.5%,所以,有较长根系的北丰 11 吸收氮、磷的能力较强(图 2)。同样,单位根面积对氮、磷养分的吸收量也表现出相同的趋势,北丰 11 平均每平方厘米根长吸收氮、磷量分别比海 9731 高 49.9%和 30.9%(图 3)。

表 1 大豆苗期根系性状及植株氮磷含量

Table 1 The root characteristics, N and P concentration of plant at seedling stage of soybean

品种(系) Cultivar (Line)	根重(mg/株) Root W. per plant	根冠比 Root/Shoot	根长(cm/株) Root length	根表面积 (cm <sup>2</sup> /株) Root surface area per plant	根瘤数 No. of nodule per plant	植株氮含量 (mg/g) N content	植株磷含量 (mg/g) P content
北丰 11 Beifeng 11	488 a	0.533 a	2165.1 a	329.6 a	58 a	41.7 a	3.82 a
海 9731 Hai 9731	308 b	0.497 b	1652.1 b	223.9 b	47 b	28.1 b	2.97 b

注:表中同列不同字母代表 5% 显著差异水平。

Note: The different letters (a, b) within same column indicated the significant level at 5%.

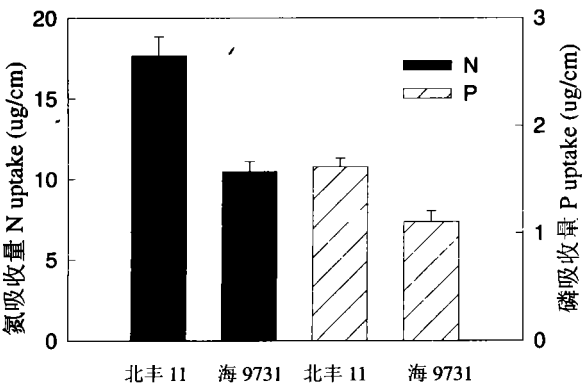


图 2 大豆苗期单位根长对氮磷的吸收量

Fig. 2 N and P uptake per root length at seedling stage of soybean

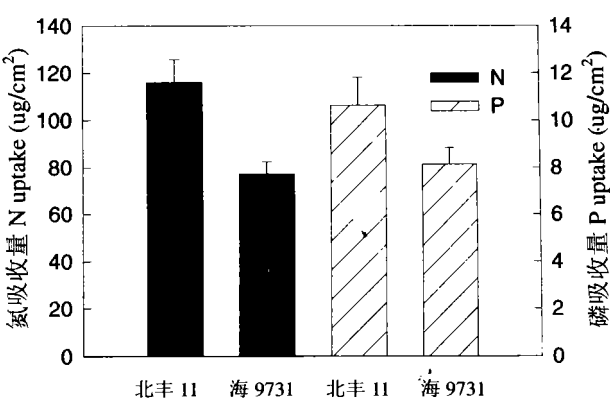


图 3 大豆苗期单位根面积对氮磷的吸收量

Fig. 3 N and P uptake per root surface area at seedling stage of soybean

2.2 大豆苗期根际 pH 变化及氮磷分布

2.2.1 大豆苗期根际 pH 变化

根际 pH 在距根面区 0 – 10 mm 的范围内变化较大,其变化范围在 6.51 – 6.96 之间。根面区最低,随着远离根面区 pH 不断上升。2 个大豆品种(系)间的根际土壤 pH 差异也较为明显,表现为北丰 11 的 pH 低于海 9731。在根面区,北丰 11 的 pH 比海 9731 低 0.1,随着远离该区域,与海 9731 的 pH 的差距逐渐减小,到 > 10 mm 的非根际区, pH 已无明显差异(图 4)。

2.2.2 大豆苗期根际氮磷分布

大豆根际土壤有效氮的分布如图 5,在 0 – 10 mm 的范围内变化幅度在 10.1% – 21.6% 之间,而且随着远离根面区,有效氮呈下降趋势,北丰 11 和海 9731 在此范围有效氮含量比非根际土壤分别高 11.6% 和 4.5%,说明大豆的根际效应对土壤氮素活化有明显作用。不同基因型大豆根际有效氮含

量不同,北丰 11 的根际有效氮含量显著高于海 9731,尤其是在 0 – 8 mm 的范围内比较明显,所以,北丰 11 根系对根际土壤有效氮量的影响较大。

大豆根际土壤有效磷的分布与有效氮不同。在 0 – 6 mm 范围内的土壤有效磷明显低于 > 10 mm 的非根际区,其下降幅度在 12.0% – 15.0% 之间。与 2 – 4 mm 范围内的土壤有效磷含量相比,根面区的有效磷含量有所升高,这可能与根面区的微环境有利于磷素活化,以及外层有效磷向根面区的运移有关。在 2 个品种间,北丰 11 的 0 – 6 mm 的土壤有效磷含量显著高于海 9731,而在 6 mm 以外的根际区 2 品种间的土壤有效磷含量无明显差异(图 6)。

图 7 和图 8 分别为全氮和全磷在大豆根际的分布。从根面区至 > 10 mm 的非根际区,土壤全氮、全磷的含量均无明显变化,而且 2 个品种(系)间也没有表现出显著差异。可见,根际土壤全氮、全磷含量受大豆根系的影响甚微。

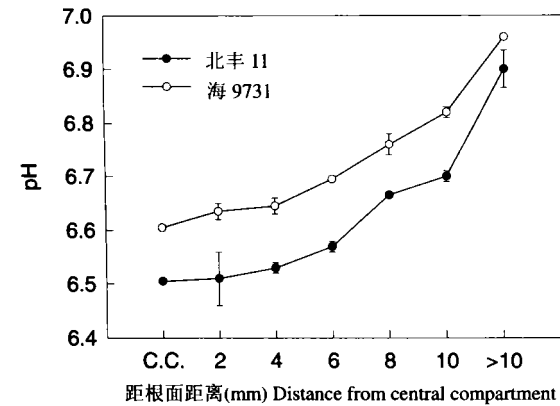


图 4 大豆苗期根际 pH 变化

Fig. 4 Change of pH across rhizosphere at seedling stage of soybean

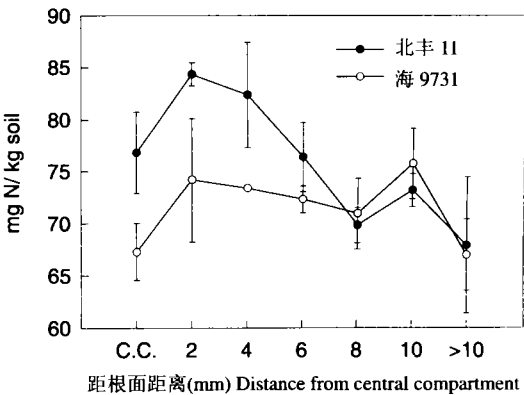


图 5 大豆苗期根际有效氮分布

Fig. 5 Distribution of soluble N across rhizosphere at seedling stage of soybean

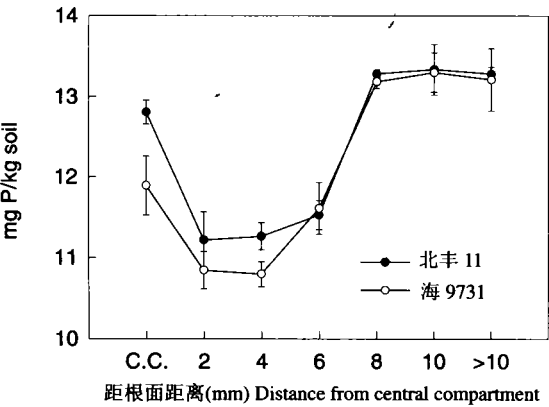


图 6 大豆苗期根际有效磷分布

Fig. 6 Distribution of soluble P across rhizosphere at seedling stage of soybean

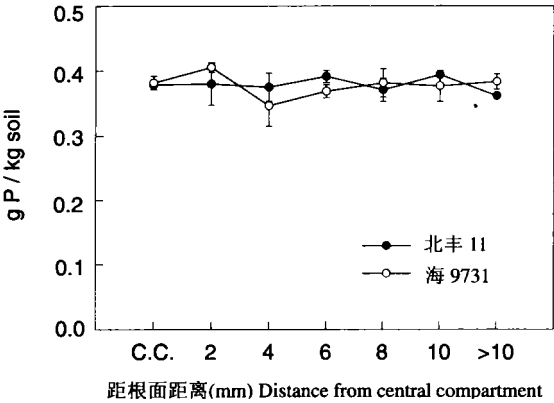


图 7 大豆苗期根际全氮分布

Fig. 7 Distribution of total N across rhizosphere at seedling stage of soybean

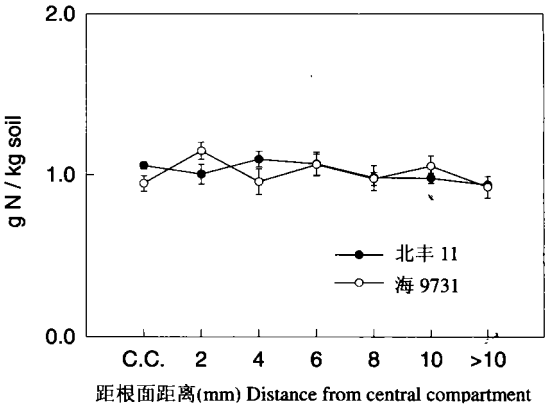


图 8 大豆苗期根际全磷分布

Fig. 8 Distribution of total P across rhizosphere at seedling stage of soybean

3 讨论

不同基因型间, 根系形态的差异主要包括根的生物量、根长、根毛形成等<sup>[19]</sup>, 而且根系形态的差异与植株养分吸收的状况密切相关<sup>[17]</sup>。如玉米不同基因型间根系性状的差异较大, 根长较长的基因型吸收水分和养分的能力较强<sup>[1, 15]</sup>; 在大豆上, 王美丽等(2001)指出, 不同基因型间的根冠比、根长、总吸收面积对磷的响应不同<sup>[18]</sup>。在本研究中, 2 种不同产量类型间的大豆品种(系)的根系性状存在较为明显的差异, 高产大豆北丰 11 的较大的根生物量、根长及根表面积增加了根系吸收养分的空间, 同时也相对增加了根瘤形成的机率, 而且北丰 11 还表现出较强的根系吸收能力, 即其单位根长、根表面积吸收氮、磷的量显著高于海 9731。

研究表明, 磷不仅参与植株体内的能量代谢<sup>[19]</sup>, 而且也是根瘤形成必要的营养元素, 促进共生固氮作用<sup>[20]</sup>, 磷与氮的吸收有高度的相关性<sup>[21]</sup>。所以, 在本研究中, 北丰 11 的氮、磷含量均较高, 磷的吸收一定程度上促进了根瘤的形成, 根瘤数增加证明了这一点。氮、磷的吸收具有协同作用。

植物根系与土壤密切接触, 自然在根际形成生物互作关系, 根际土壤环境不同于非根际土壤<sup>[22]</sup>。本研究发现, 2-8 mm 内的近根面区根际有效氮含量高于非根际区, 在根面区略有下降, 可见, 有效氮含量能够满足根系的需求, 这可能与不同生育时期需氮量不同, 以及根瘤共生固氮使得大豆对土壤有效氮的需求降低有关。研究表明, 与其它大量元素相比, 磷在土壤溶液中的浓度较低, 植物根系对磷的吸收容易使根周围出现磷的亏缺区<sup>[17]</sup>, 这与本研究的结果相同, 进一步证实了这一结论。至于根际土壤中全量的氮、磷, 由于大豆所吸收的氮、磷远低于土壤氮、磷全量, 所以在根际区土壤全氮、全磷的含量没有明显变化。

同一种植物, 不同基因型间表现出的根际效应不同。本研究发现, 北丰 11 在 0-8 mm 内的根际土壤有效氮、磷含量均高于海 9731, 这与根系吸收氮、磷量呈现相反的趋势, 说明 2 个基因型活化根际养分能力差异较大, 而这种差异的原因可能与两者根际 pH 的差异有关, 有研究表明, 土壤溶液 pH 偏低有利于养分的活化<sup>[23]</sup>, 并在 pH 值为 6.5 左右时可利用磷含量最高<sup>[24]</sup>, 本研究中北丰 11 根面区及近根面区土壤 pH 低于海 9731, 且也为 6.5 左右。当然, 根系有机酸的分泌、根际土壤酶及微生物的活性变化也都不同程度地影响根际氮、磷养分的活化及有机质的矿化。根际养分的有效性还有待于从不

同方面深入探讨。

## 参 考 文 献

- Costa C., Dwyer L. M., Dwyer M., et al. A sampling method for measurement of large root systems with scanner-based image analysis[ J ]. Agron. J., 2000, 92: 621–627.
- Onderdonk J. J., Ketcheson J. W. Effect of temperature on direction of corn root growth[ J ]. Plant Soil, 1973, 39: 177–186.
- Chassot A., Richner W. Root characteristics and phosphorus uptake of maize seedlings in a Bilayered soil[ J ]. Agron. J., 2002, 94: 118–127.
- 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.
- 张福锁, 曹一平. 根际动态过程与植物营养[ J ]. 土壤学报, 1992, 29: 239–250.
- 罗文遂, 姚政. 促进根系健康的土壤微生态研究[ J ]. 中国生态农业学报, 2002, 10(3): 44–46.
- Marschner P., Crowley D., Yang C. Development of specific rhizosphere bacterial communities in relation to plant species, nutrition and soil type[ J ]. Plant and Soil, 2004, 261: 199–208.
- Moritsuka N., Yanai J., Kosaki T. Effect of plant growth on the distribution and forms of soil nutrients in the rhizosphere[ J ]. Soil Sci. Plant Nutr., 2000, 46(2): 439–447.
- Wang G. H., Liu X. B., Zhou K. Q., et al. Effect of difference N source on the N nutrient and microbial distribution across soybean rhizosphere[ J ]. Soil Sci. Plant Nutr., 2003, 49(6): 817–823.
- Youssef R. A., Chino M. Studies on the behaviour of nutrient in the rhizosphere I: Establishment of a new rhizobox system to study nutrient status in the rhizosphere[ J ]. Journal of Plant Nutrition, 1987, 10: 1185–1196.
- Jin J., Liu X. B., Wang G. H., et al. Some Eco physiological characteristics at R<sub>4</sub>–R<sub>5</sub> stage in relation to soybean yield difference in maturities[ J ]. Agricultural Sci. in China, 2004, 3(6): 425–434.
- Marschner P., Baumann K. Changes in bacterial community structure induced by mycorrhizal colonisation in split root maize[ J ]. Plant and Soil, 2003, 251: 279–289.
- 曾曙才, 苏志尧, 陈北光, 等. 植物根际营养研究进展[ J ]. 南京林业大学学报, 2003, 27(6): 79–83.
- 王光华, 金剑, 潘相文, 等. 不同氮肥对大豆根圈土壤酶和氮营养分布的影响[ J ]. 大豆科学, 2003, 22(3): 213–217.
- Brewster J. L., Tinker P. B. Nutrient cation flows in soil around plant roots[ J ]. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 1970, 34: 421–426.
- Anghinoni I., Barber S. A. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply[ J ]. Agron. J., 1980, 72: 685–688.
- Marschner H. Mineral nutrition of high plants[ M ]. 2<sup>nd</sup> Ed., Academic Press: London, 1995.
- 王美丽, 严小龙. 大豆根形态和根系分泌物特性与磷效率[ J ]. 华南农业大学学报, 2001, 22(3): 1–4.
- Li R., Volenec J. J., Joern B. C., et al. Effects of phosphorus nutrition on carbohydrate and protein metabolism in alfalfa roots[ J ]. J. Plant Nutr., 1998, 21: 459–474.
- Sa, T. M., Israel D. W. Energy status and functioning of phosphorus-deficient soybean nodules[ J ]. Plant Physiol., 1991, 97: 928–935.
- Ercoli L., Mariotti M., Masoni A. Effect of temperature and phosphorus fertilization on phosphorus and nitrogen uptake by sorghum[ J ]. Crop Sci., 1996, 2: 348–354.
- Lynch J. P., Nielsen K. L., Davis R. D., et al. SimRoot: Modelling and visualization of root systems[ J ]. Plant and Soil, 1997, 188: 139–151.
- 刘方, 刘元生, 何腾兵. 烤烟根际土壤特性研究[ J ]. 耕作与栽培, 1996, 6: 59–60.
- Havlin J. L., Beaton J. D., Tisdale S. L., et al. Soil fertility and fertilizers[ M ]. 6th Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ. P 449.

## INSPECTION OF N AND P UPTAKE AND ITS DISTRIBUTION ACROSS RHIZOSPHERE AT SEEDLING STAGE OF SOYBEAN BY RHIZOBOX METHOD

Jin Jian<sup>1,2</sup> Wang Guanghua<sup>2</sup> Liu Xiaobing<sup>2</sup> Pan Xiangwen<sup>2</sup> Liu Jie<sup>3</sup>

(1. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039; 2. Northeast Institute of Geography and Agro-ecology, Chinese Academy of Science, Harbin 150040; 3. Heilongjiang Academy of Agricultural Science, Harbin 150086)

**Abstract** Using rhizobox method, the N and P uptake and its distribution across rhizosphere at seedling stage in two soybean cultivar or line were investigated. The results showed that the high yielding soybean cultivar, i. e. Beifeng 11 had higher N and P uptake per root length and per root surface area than that of

(下转第 290 页)

plant introductions[ J] . Crop Sci. 1988, 28: 137 – 140..

5 Buttery, B. R, R. I. Buzzell, W. I. Findlay, Relationships among photosynthetic rate, bean yield and other characters in field growth cultivars of soybean[ J] . Canadian J. of Plant Sci. 1981, 61: 191 – 198..

6 常汝镇. 第六届世界大豆研究会简况及主产国家大豆生产状况 [ J] . 大豆通报 2000, 3: 26 – 27.

7 金剑, 刘晓冰, 王光华, 等. 美国大豆品种改良过程中生理特性变化的研究进展[ J] . 大豆科学, 2003, 22( 2): 137 – 140

8 王育民, 卜实, 刘忠臣. 国内外大豆生产和贸易现状分析及前景展望[ J] . 大豆通报, 2001, 6: 21 – 23

9 王培英, 王连铮, 王玫, 等. 中美大豆品种( 0. I 组) 性状比较[ J] . 中国油料, 1988, 4: 30 – 33

COMPARISON ON THE PLANT TYPE AND YIELD OF SOYBEAN VARIETIES  
FROM CLOSE LATITUDE OF CHINA AND AMERICA

Wang Haiying<sup>1</sup> Zhang Huijun<sup>1</sup> Liu Chuang<sup>1</sup> Xie Futi<sup>1</sup> Steven SK Martin<sup>2</sup>

(1. *Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161*; 2. *Ohio State University, USA*)

**Abstract** 8 varieties with the same growth habit were used in this experiment, among of them Hs93 – 4118, OhioFG1, Darby and Kottman 4 American soybean varieties are from Ohio State University; and 4 Chinese soybean varieties Liaodou – 11, Liaodou – 12, Shennong 94 – 11and Shendou – 4 are from Liaoning province. Under same conditions, the plant – type and yield were compared among the 8 soybean varieties. The results show that the plant height of American soybean varieties is lower than that of Chinese varieties, the branch number of American soybean varieties are significantly more than those of Chinese soybean varieties, the length of basal nodes of American varieties is longer than that of Chinese varieties. The length of nodes become shorter with the rising of node – position, the leaf shape index of American varieties is bigger than those of Chinese varieties at the lower layer, the leaf shape index of American varieties become bigger from lower layer to upper layer , the top leaves of American varieties are small and sharp , which would benefit the leaves productivity at the bottom of plant. The pods per plant of American varieties are bigger than those of Chinese varieties, the 100 – seed weight of American varieties is smaller than that of Chinese varieties significantly. The ratio of seed weight at upper canopy layer of American varieties is smaller and the ratio of seed weight at lower canopy layer is bigger than those of Chinese varieties, the yield of American varieties is higher than that of Chinese varieties.

**Key words** Soybean; Plant – type; Yield

( 上接第 285 页)

the low yielding soybean line, i. e. Hai 9731, and the N and P content in plant had the same trend, which indicated that Beifeng 11 had a relatively high capability of nutrient absorption. The distribution of N and P across rhizosphere was different. The soluble N in rhizosphere was higher than non – rhizosphere, but a negative trend was found for the soluble P. Total N and P in rhizosphere were same as non – rhizosphere. The capability of nutrient mobilization in rhizosphere of the two genotypes was different. The soluble N and P in 0 – 8 mm of rhizosphere for Beifeng 11 were higher than Hai 9731, which might be related to the difference of pH in rhizosphere. Beifeng 11 had higher pH in rhizosphere.

**Key words** Soybean; Rhizosphere; N and P; Rhizobox method