

磷素对不同磷效率基因型大豆根系养分吸收特性的影响

敖雪,孔令剑,朱倩,赵明哲,张惠君,王海英,谢甫细

(沈阳农业大学农学院,辽宁 沈阳 110866)

**摘要:**以两类不同磷效率基因型大豆(磷高效品种锦豆33和辽豆13,磷低效品种铁丰3号和锦8-14)为试验材料,设3个磷浓度用量(0,82.5,165 kg·hm<sup>-2</sup>),测定大豆根系氮、磷和钾的百分含量和积累量,考察磷素对不同类型大豆根系养分吸收特性的影响和磷高效基因型大豆根系N、P、K吸收动态特征。结果表明:在低磷处理下,鼓粒期和始熟期磷高效品种根系氮的百分含量显著高于磷低效品种;除分枝期外其它生育时期磷高效品种的根系磷的百分含量均高于磷低效品种的,平均高41.4%;整个生育期磷高效品种根系钾的百分含量均高于磷低效品种的,平均高84.8%。磷高效品种的磷和钾的积累量也均高于磷低效品种的(平均高73.3.7%和122.9%)。与低磷相比,中磷和高磷处理能显著增加磷低效品种的根系氮、磷和钾的积累量,而磷高效品种则相对变化较小,即使在较低的磷浓度下其根系也能吸收较多的氮、磷和钾。

**关键词:**大豆;磷高效;根系;养分

中图分类号:S565.1 文献标识码:A DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2015.04.0653

Effect of Phosphorus on Nutrient Absorption Characteristics of Roots in Soybean with Different Phosphorus Efficiencies

AO Xue, KONG Ling-jian, ZHU Qian, ZHAO Ming-zhe, ZHANG Hui-jun, WANG Hai-ying, XIE Fu-ti  
(College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

**Abstract:** This research aims to elucidate the effect of phosphorus on nutrient absorption characteristics in roots of soybean lines with low and high P efficiencies. Dynamics of N, P, K uptake by different P efficiency genotypes (high P efficiency: Jindou 33 and Liaodou 13, low P efficiency: Tiefeng 3 and Jin 8-14) were also studied. The accumulation of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) in soybean roots were measured after treating plants with three different levels of phosphorus (0, 82.5 and 165 kg·hm<sup>-2</sup>). The result showed that, under the low P treatment, high P efficiency genotypes showed higher levels of N, P and K in roots than low P efficiency genotypes during seed filling and initial maturing stages. During all reproductive stages, high P efficiency genotypes showed an average higher level of 41.4% for P (except during the branching stage) and 84.8% for K in roots. Higher accumulation levels of P (73.3%) and K (122.9%) were also found in high P efficiency soybean plants. Under the high P treatment, the accumulation of N and P are higher during all reproductive stages and root K accumulation was significantly higher (150.2% in average) during blooming, seed filling and initial maturing stages in high P efficiency genotypes than in low P efficiency genotypes. The accumulation of N, P and K dramatically increased with P applications in low P efficiency genotypes, which were not observed in high P efficiency genotypes. High P efficiency soybean lines exhibited greater absorption capacity for N, P and K even with low P availability.

**Keywords:** Soybean; High P efficiency; Roots; Nutrient

氮、磷、钾是植物所需的必须营养元素,磷是植物必需的矿质元素之一,也在能量转化中发挥重要作用。然而施入土壤中的磷肥易被土壤吸附和固定,难以被作物吸收利用,因此土壤中可利用磷的含量却很少能满足植物的需要<sup>[1]</sup>。大豆在低磷胁迫环境中不但吸收不到足够的磷素,还会抑制大豆根瘤的生长,降低大豆的固氮量<sup>[2]</sup>。不同大豆品种对低磷胁迫的响应不同<sup>[3-4]</sup>,如果能发掘大豆自身利用磷素的潜力,改良现有品种的磷营养性状,选育出磷高效大豆品种,可以有效缓解土壤缺磷问题对大豆生产的不利影响。世界各国的科学家纷纷提出磷高效育种的设想,从植物本身出发提高植物

吸收、利用磷的效率。研究表明植物磷吸收效率的差异不仅存在于不同的物种间,而且同一植物种内不同品种或基因型间也存在广泛的变异,且植株对磷的吸收、运输、活化和再利用的差异与植株磷营养基因型有关<sup>[3]</sup>。不同大豆品种对低磷胁迫和磷肥效应有显著的遗传差异<sup>[5]</sup>。大豆具有适应低磷土壤的遗传潜力<sup>[6]</sup>。大豆的低磷适应性在品种间有显著的差异<sup>[7-8]</sup>。陈怀珠等<sup>[5]</sup>对不同基因型大豆品种研究表明,不同基因型大豆不同生育时期对磷的耐性极限存在较大差异。童学军等<sup>[9]</sup>对广州省不同大豆基因型磷效率进行研究,结果表明,不同大豆基因型具有不同磷效率特性,磷效率特性的形

收稿日期:2014-02-18  
基金项目:国家自然科学基金(31101104,31271643);国家“十二五”科技支撑计划(2011BAD35B06);辽宁省科技攻关(2011201020);高等学校博士学科点专项科研基金(20122103110004)。  
第一作者简介:敖雪(1979-),女,博士,副教授,主要从事大豆栽培生理研究。E-mail:cymka@sohu.com。  
通讯作者:谢甫细(1966-),男,教授,博导,主要从事大豆株型育种和栽培研究。E-mail:snsoybean@sohu.com。

成与土壤有效磷含量有关。王应祥等<sup>[10]</sup>对大豆的长期研究表明,大豆的磷高效主要表现在磷吸收效率方面。植物生长发育过程中所需的磷素绝大部分来自土壤,而根系则是植物从土壤中获得磷素的主要器官,因此根系的形态学特征及其生理吸收特性,对植物吸收利用土壤中难容磷具有决定性的影响<sup>[11]</sup>。前人主要对拟南芥、玉米、水稻和大麦等作物的耐低磷性和大豆在低磷胁迫下的根构型、根系分泌物等方面研究较多,而对大豆的不同磷效率基因型根系在不同磷处理下的养分吸收特性方面研究相对较少,本文主要分析了不同磷浓度处理下,两类型大豆根系的养分吸收特性,为挖掘大豆本身利用磷素的潜力,筛选、培育和利用磷高效基因型作物提供理论依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 材料

参试材料来自 226 个大豆品种(系)磷胁迫鉴定试验<sup>[7]</sup>。其中磷高效品种为锦豆 33 和辽豆 13 号;磷低效品种为铁丰 3 号和锦 8-14。

## 1.2 试验设计

试验于 2010~2011 年试验在沈阳农业大学试验农场进行。其中土壤全氮含量  $2.3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;全磷含量  $79\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;碱解氮  $70.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;速效磷  $1.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;速效钾  $137.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;有机质  $15.96\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;pH5.9。试验采用裂区设计,3 次重复,试验设 3 个磷浓度用量,其  $\text{P}_2\text{O}_5$  施用量分别为以低磷 ( $0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )、中磷 ( $82.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ) 和高磷 ( $165\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ) 3 个处理。5 行区,行长 5 m,行距 0.6 m,株距 0.11 m,每穴 1 株,基本苗  $15\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,小区面积为  $15\text{ m}^2$ 。播种时间 5 月 1 日  $\pm 4\text{ d}$ ,正常田间管理,收获日期 10 月 1 日  $\pm 4\text{ d}$ 。

## 1.3 测定项目与方法

在分枝期、开花期、结荚期、鼓粒期和鼓粒末期、始熟期(取 10 株)每小区取有代表性植株 4 株,

测定根系干物质重量。将不同时期所取样品烘干、粉碎,进行养分分析。用  $\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}_2$  法消煮样品,全氮含量测定用凯氏定氮法,磷含量测定采用钒钼黄比色法,原子吸收法测定钾含量。

## 1.4 数据分析

采用 SPSS 15.0 和 Excel 2003 对数据进行统计与分析。

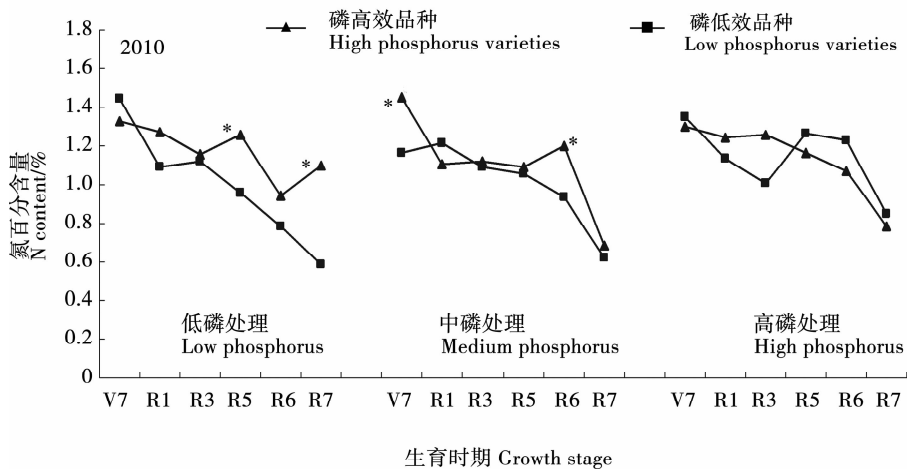
# 2 结果与分析

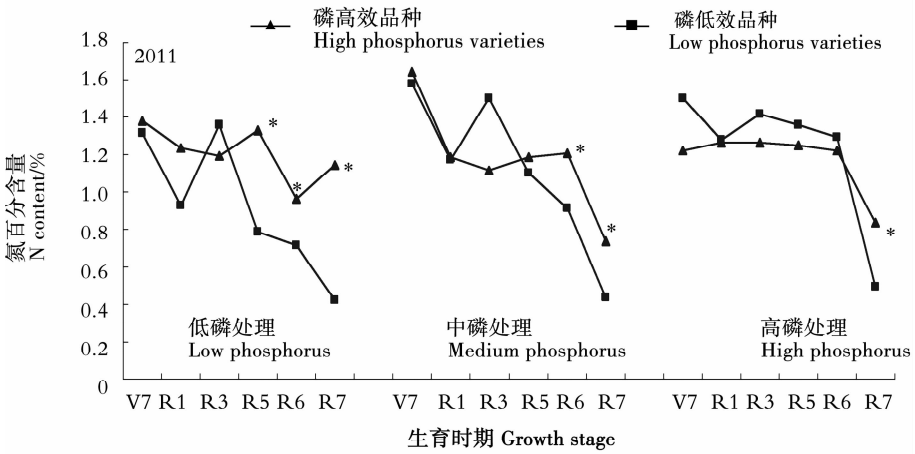
## 2.1 不同磷效率基因型大豆根系氮、磷、钾的百分含量

2.1.1 氮的百分含量 2010 年的数据表明,整个生育期间两类型品种根系氮的百分含量均呈下降趋势。低磷处理下(图 1a),鼓粒期(R5)和始熟期(R7)磷高效品种根系氮的百分含量显著高于磷低效型品种,分别高 24.8% 和 43.3%。中磷处理下,分枝期(V7)和满粒期(R6),磷高效品种根系氮的百分含量显著高于磷低效型品种。高磷处理下,两类型品种根系氮的百分含量没有明显差异。

2011 年整个生育期磷低效品种根系氮的百分含量变幅较大。低磷处理下(图 1b),整个生育期磷高效品种根系氮的百分含量较高,其中鼓粒期(R5)到始熟期(R7),显著高于磷低效型品种,分别高 69.6%、33.3% 和 185.0%。中磷处理下,磷高效品种根系氮的百分含量在满粒期(R6)和始熟期(R7)均显著高于磷低效型品种(分别 30.2% 和 72.2%)。高磷处理下,磷高效品种根系氮的百分含量和磷低效品种间的差异较小,仅在始熟期(R7)显著高于磷低效品种。

两年的试验结果表明,磷高效品种根系氮的百分含量变化趋势相近,且不同磷浓度处理间变化也较小,而磷低效品种根系氮的百分含量不同磷浓度处理年度间的变化幅度相对较大,但总体变化趋势相同。





图中\*表示 0.05 水平差异显著,下同。  
\* indicate significant difference at 0.05 level, the same below.

图 1 不同磷效率品种根系氮的百分含量

Fig. 1 Root N level of soybeans with various P efficiencies at different growth stages

2.1.2 磷的百分含量 2010 年的数据表明,整个生育期,不同磷效率基因型大豆品种根系磷的百分含量呈单峰变化趋势(图 2)。低磷处理下,除分枝期(V7)外的其它生育时期磷高效品种的根系磷的百分含量均高于磷低效品种的,平均高 34.7%,且差异多达显著或极显著水平。中磷处理下,分枝期磷高效品种根系磷的百分含量依然显著低于磷低

效品种,满粒期(R6)磷高效品种根系的磷百分含量显著高于磷低效品种,其它生育时期两类型品种根系磷的百分含量差异较小。高磷处理下,满粒期(R6)磷高效品种的根系磷百分含量显著高于磷低效品种,其它生育时期两类型品种根系磷的百分含量差异较小。

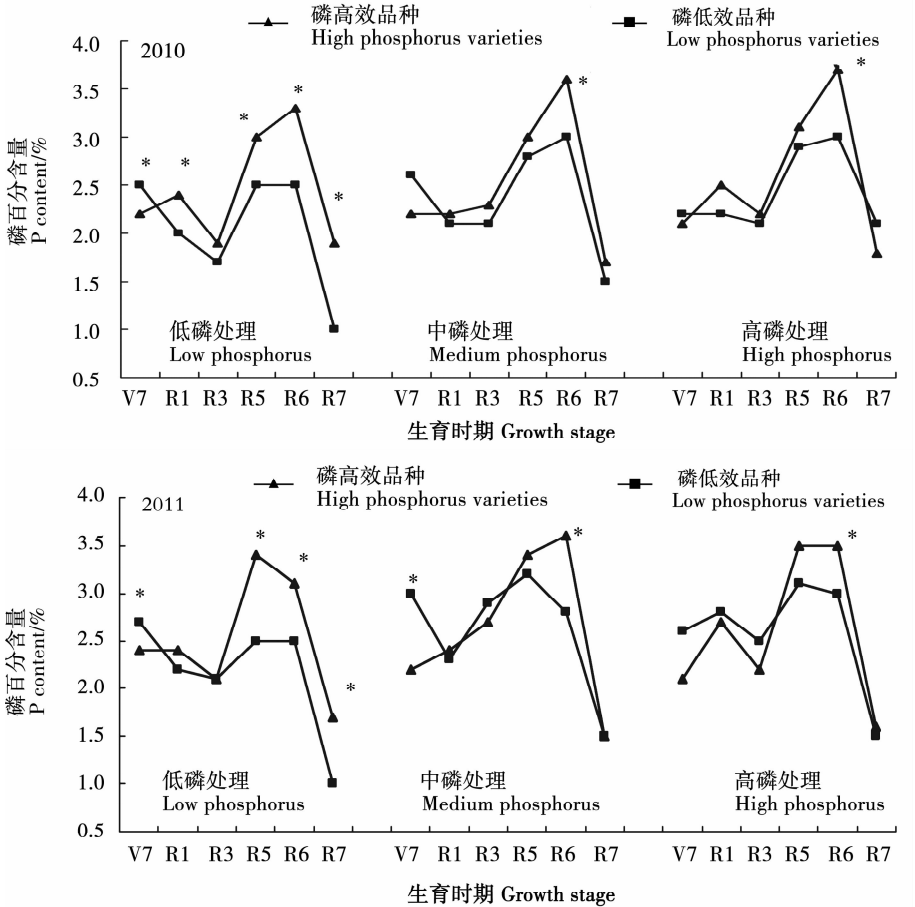


图 2 不同磷效率品种根系磷的百分含量

Fig. 2 Root P levels of soybeans with various P efficiencies at different growth stages

2011 年的数据表明,整个生育期,不同磷效率基因型大豆品种根系磷的百分含量也呈单峰变化趋势(图 2)。低磷处理下,分枝期,磷高效品种根系磷的百分含量显著低于磷低效品种,其它生育时期磷高效品种的根系磷百分含量均高于磷低效品种,平均高 48.0%,且差异多达显著或极显著水平。中、高磷处理下,两类型大豆品种根系磷的百分含量差异逐渐变小。

两年的试验结果表明,不同磷效率大豆根系磷的百分含量变化趋势年度间相近,且不同磷浓度处理年度间变化也较小,总体变化趋势相同。低磷处理下,磷高效基因型大豆根系具有较高的 P 百分含

量,以抵抗低磷胁迫。

2.1.3 钾的百分含量 两年的数据表明,整个生育期,不同磷效率基因型大豆品种根系钾的百分含量呈逐渐下降趋势(图 3)。低磷下,磷高效品种根的钾百分含量均高于磷低效品种的,平均高 122.6% (2010 年)和 47.0% (2011 年),且差异多达显著水平。中磷处理下,在满粒期(R6)和始熟期(R7),磷高效品种根的钾百分含量极显著高于磷低效品种的。高磷处理下,两类型品种差异变小。两年的试验结果表明,低磷处理下,磷高效品种根系钾的百分含量较高,且年度间不同磷浓度处理间变化较小。

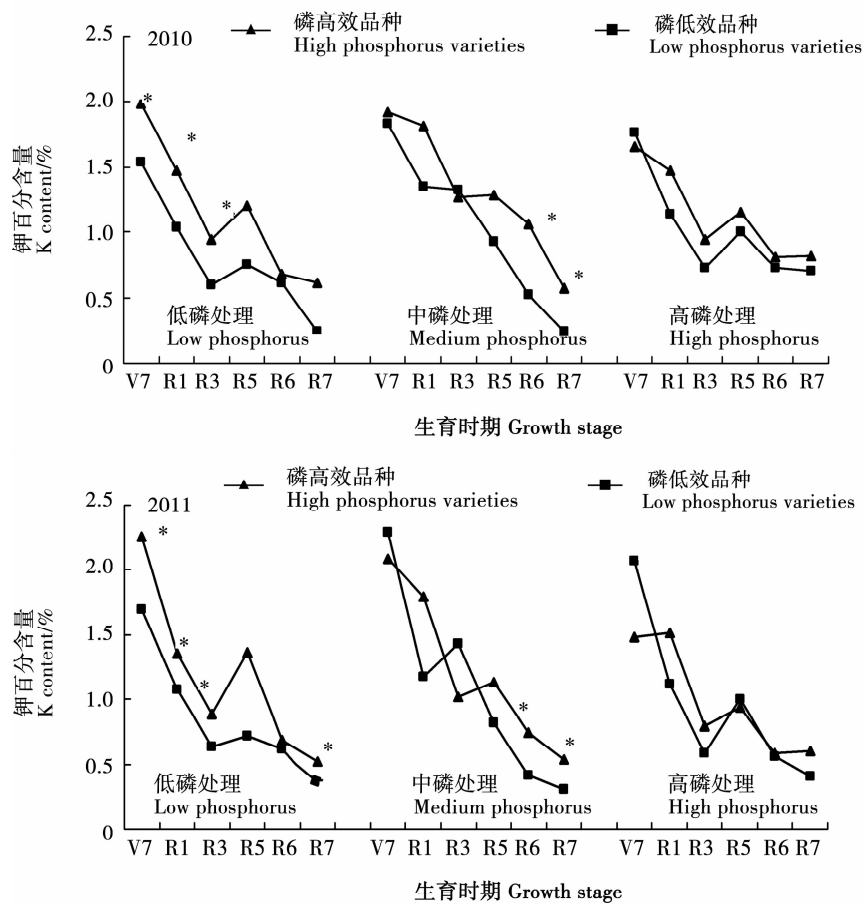


图 3 不同磷效率品种根系钾的百分含量

Fig. 3 Root K levels of soybeans with various P efficiencies at different growth stages

2.2 不同磷效率基因型品种根系氮、磷、钾的积累量

2.2.1 氮的积累量 从不同生育时期供试品种根系的氮积累量来看(表 1),两年根系的氮积累量在整个生育期的变化趋势相似。2010 年的数据表明,低磷处理下,磷高效品种的氮积累量均高于磷低效品种的,平均高 63.1%,且在始熟期差异最大,比磷低效品种的高 164.7%;中磷处理下,磷高效品种的氮积累量也均高于磷低效品种的,但差异变小,平均高 47.3%,且在分枝期、鼓粒期和满粒期差异达

显著水平;高磷处理下,两类型品种的氮积累量差异变小。

2011 年,低磷处理下,磷高效品种的氮积累量均高于磷低效品种的,平均高 96.3%,且也在始熟期差异最大;中磷处理下,除结荚期外,磷高效品种的氮积累量也均高于磷低效品种,但差异变小,平均高 56.4%,且在鼓粒期到满粒期差异达显著水平;高磷处理下,鼓粒前期两类型品种的氮积累量差异变小。两年的试验结果表明,低磷和中磷处理下,磷高效基因型大豆根系有较高的氮积累量。

表 1 各生育时期不同磷效率品种根系氮的积累量的比较

Table 1 N accumulation in roots of soybeans with various P efficiencies at different growth stages(mg·plant <sup>-1</sup> )								
年限 Year	磷效率类型 P efficiency types	磷水平 P level	分枝期 V7	开花期 R1	结荚期 R3	鼓粒期 R5	满粒期 R6	始熟期 R7
2010	高效 High	低磷 Low	19.3 a a	33.9 ns a	48.8 a a	62.3 a a	39.9 ns b	40.5 a a
		中磷 Medium	26.3 a a	37.3 ns a	50.2 ns a	77.9 a a	69.8 a a	30.8 ns ab
		高磷 High	26.0 ns a	39.3 ns a	52.7 ns a	86.1 a a	43.7 ns ab	28.7 ns b
	低效 Low	低磷 Low	13.3 b b	28.5 ns b	35.0 b b	38.8 b b	26.6 ns b	15.3 b a
		中磷 Medium	17.5 b b	34.2 ns a	43.1 ns ab	47.5 b a	33.5 b b	22.7 ns a
		高磷 High	22.1 ns a	34.6 ns a	46.2 ns a	55.3 b a	50.8 ns a	23.0 ns a
2011	高效 High	低磷 Low	16.1 ns a	28.3 a a	57.5 a a	82.9 a a	56.5 ns b	59.8 a a
		中磷 Medium	18.7 ns a	30.6 ns a	45.1 ns a	72.1 a a	82.7 a a	34.2 a b
		高磷 High	16.9 ns a	29.5 ns a	51.1 ns a	77.0 a a	81.1 a a	44.3 a b
	低效 Low	低磷 Low	14.1 ns a	15.6 b b	45.2 a b	36.1 b b	37.4 ns b	16.0 b a
		中磷 Medium	13.7 ns a	25.5 ns a	49.7 ns ab	46.5 b ab	43.1 b ab	19.1 b a
		高磷 High	14.4 ns a	25.6 ns a	55.4 ns a	52.1 b a	52.2 b a	22.6 b a

第一列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,ns 表示在相同磷处理下不同磷效率品种间差异不显著;数字后第二列字母表示同一磷效率品种在不同磷处理下 0.05 水平上的差异显著性。下同。

Values followed by a different letter are significantly different at the 0.05 probability levels; ns for no significance. The second column letters indicated significance of the same variety under different phosphorus level at the 0.05 probability level. The same below.

2.2.2 磷的积累量 两类型品种根系的磷积累量在整个生育期的变化趋势相似,根系磷积累量基本呈单峰曲线变化趋势(表 2)。2010 年的数据表明,低磷和中磷处理下,磷高效品种的磷积累量均高于磷低效品种的,平均高 65.8% 和 42.7%,且差异多达显著或极显著水平。高磷处理下,磷高效品种的磷积累量在开花期、鼓粒期显著或极显著高于磷低效品种。

生育时期,磷高效品种的磷积累量均高于磷低效品种,平均高 70.1% 和 36.7%,且差异多显著或极显著。高磷处理下,磷高效品种的磷积累量在鼓粒期和满粒期显著或极显著高于磷低效品种。

两年的试验结果表明,磷高效品种根系磷的积累量变化趋势相近,且不同磷浓度处理间变化也较小,低磷和中磷处理下,磷高效基因型大豆根系有较高的磷积累量。

2011 年,低磷和中磷处理下,除分枝期外其它

表 2 各生育期不同磷效率品种根系磷的积累量的比较

Table 2 P accumulation in roots of soybeans with various P efficiencies at different growth stages(mg·plant <sup>-1</sup> )								
年限 Year	磷效率类型 P efficiency types	磷水平 P level	分枝期 V7	开花期 R1	结荚期 R3	鼓粒期 R5	满粒期 R6	始熟期 R7
2010	高效 High	低磷 Low	3.2 a b	6.4 a b	8.0 a b	14.9 a b	14.0 a b	7.0 a a
		中磷 Medium	4.0 ns ab	7.4 a a	10.3 ns a	21.4 a a	21.0 a a	7.6 a a
		高磷 High	4.2 ns a	7.9 a a	9.2 ns ab	22.9 a a	15.1 ns b	6.6 ns b
	低效 Low	低磷 Low	2.3 b b	5.2 b b	5.3 b b	10.1 b b	8.5 b b	2.6 b c
		中磷 Medium	3.9 ns a	5.9 b ab	8.3 ns a	12.6 b a	10.7 b ab	5.5 b b
		高磷 High	3.6 ns a	6.7 b a	9.6 ns a	12.7 b a	12.4 ns a	5.7 ns a
2011	高效 High	低磷 Low	2.8 ns a	5.5 a b	10.1 a a	21.2 a a	18.2 a b	8.9 a a
		中磷 Medium	2.5 ns b	6.2 a a	10.9 ns a	20.7 a a	24.6 a a	7.0 a b
		高磷 High	2.9 ns a	6.3 a a	8.9 ns b	21.5 a a	23.2 a a	8.5 a a
	低效 Low	低磷 Low	2.9 ns a	3.7 b b	7.0 b b	11.5 b a	13.1 b a	3.8 b b
		中磷 Medium	2.6 ns b	5.0 b a	9.6 ns a	13.5 b a	13.2 b a	6.6 b a
		高磷 High	2.5 ns b	5.6 b a	9.8 ns a	11.9 b a	12.1 b b	6.9 b a

表 3 不同磷效率品种根系磷积累量占整株磷积累量比例

Table 3 P accumulation ratio of root/whole plant in soybeans with various P efficiencies at different growth stages( % )

磷效率类型 P efficiency types	磷水平 P level	分枝期 V7	开花期 R1	结荚期 R3	鼓粒期 R5	满粒期 R6	始熟期 R7
高效 High	低磷 Low	10.3	7.5	7.3	6.9	6.0	2.8
	中磷 Medium	10.8	6.7	6.8	6.7	6.1	2.2
	高磷 High	10.1	6.8	6.5	7.2	5.0	2.2
低效 Low	低磷 Low	8.5	8.0	5.7	5.2	4.4	1.6
	中磷 Medium	10.9	6.6	5.8	4.6	4.1	1.6
	高磷 High	10.1	4.9	6.0	5.3	4.0	2.1

整个生育期(表 3),两类型品种根的磷积累量的比例呈逐渐下降趋势,低磷处理下,磷高效品种根系磷积累量比例高于磷低效品种的(平均高 34.9%)( $P<0.05$ ),且差异多显著或极显著。中磷处理下,在鼓粒期到始熟期,磷高效品种根系磷积累量比例显著高于磷低效品种( $P<0.05$ )。

2.2.3 钾的积累量 2010 年的数据表明,低磷处理下(表 4),除开花期和满粒期的其它生育时期磷高效品种根的钾积累量均显著高于磷低效品种,平均高 143.8%。中磷处理下,开花期、鼓粒期到始熟期磷高效品种根的钾积累量均极显著高于磷低效

品种,平均高 150.2%。高磷处理下,两类型品种根系钾积累量差异逐渐变小。2011 年,低磷处理下(表 4),除满粒期的其它生育时期磷高效品种根的钾积累量均显著高于磷低效品种,平均高 102.0%。中磷处理下,开花期、鼓粒期到始熟期磷高效品种根的钾积累量均显著高于磷低效品种,平均高 107.0%。高磷处理下,两类型品种根系钾积累量差异逐渐变小。

两年的试验结果表明,年度间磷高效品种根系钾的积累量变化趋势相近,低磷和中磷处理下,磷高效基因型大豆根系的钾素积累量均较高。

表 4 各生育期不同磷效率品种根系钾积累量的比较

Table 4 K accumulation in roots of soybeans with various P efficiencies at different growth stages( mg·plant<sup>-1</sup> )

年限 Year	磷效率类型 P efficiency types	磷水平 P level	分枝期 V7	开花期 R1	结荚期 R3	鼓粒期 R5	满粒期 R6	始熟期 R7
2010	高效 High	低磷 Low	28.9 a a	39.4 ns b	39.8 a b	59.5 a b	28.9 ns b	22.7 a a
		中磷 Medium	34.9 a a	60.9 a a	56.8 ns a	91.5 a a	61.6 a a	25.7 a a
		高磷 High	33.1 ns a	46.5 ns b	39.5 ns b	85.2 a a	33.2 ns b	30.0 a a
	低效 Low	低磷 Low	14.2 b b	27.0 ns b	18.5 b b	30.3 b b	20.8 ns a	6.3 b b
		中磷 Medium	27.5 b a	37.9 b a	52.5 ns a	41.8 b a	18.6 b b	8.8 b b
		高磷 High	28.8 ns a	34.5 ns a	33.3 ns ab	43.9 b a	30.1 ns a	19.1 b a
2011	高效 High	低磷 Low	26.4 a a	31.2 a a	42.6 a a	85.3 a a	40.5 ns b	27.3 a a
		中磷 Medium	23.7 a a	46.3 a a	41.1 ns a	69.2 a a	51.0 a a	25.3 a a
		高磷 High	20.5 ns a	35.4 ns a	32.1 a a	57.3 a a	38.9 ns b	32.2 a a
	低效 Low	低磷 Low	18.2 b b	18.1 b b	21.2 b b	33.3 b b	32.5 ns a	11.6 b b
		中磷 Medium	19.9 b a	25.5 b a	47.3 ns a	34.6 b b	19.6 b b	13.5 b ab
		高磷 High	19.9 ns a	22.3 ns a	23.2 b b	38.4 b a	22.7 ns ab	18.5 b a

从氮磷钾积累量的相关性来看(表5),磷高效品种的氮磷钾积累量两两呈极显著正相关;磷低效品种的氮磷钾积累量也均呈显著正相关。说明,不

同磷效率基因型大豆根系的氮磷钾积累量之间关系密切,相互影响。随着根系磷素积累量增加,也可以促进其它两元素的积累。

表 5 氮磷钾积累量的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of N,P,K accumulation in soybeans with various P efficiencies

磷高效基因型				磷低效基因型			
High P efficiency genotypes				Low P efficiency genotypes			
相关性	氮积累量	钾积累量	磷积累量	相关性	氮积累量	钾积累量	磷积累量
Correlation	N	K	P	Correlation	N	K	P
	accumulation	accumulation	accumulation		accumulation	accumulation	accumulation
氮积累量				氮积累量			
N	1.000	0.844 **	0.919 **	N	1.000	0.731 **	0.893 **
accumulation				accumulation			
钾积累量				钾积累量			
K		1.000	0.752 **	K		1.000	0.552 *
accumulation				accumulation			
磷积累量				磷积累量			
P			1.000	P			1.000
accumulation				accumulation			

\* 和 \*\* 分别代表 0.05 和 0.01 水平显著相关。  
\* and \*\* indicate significant correlation at 0.05 and 0.01 level, respectively.

3 结论与讨论

氮、磷、钾是大豆生长所需的必不可少的元素,氮对作物产量影响最大,缺氮很难实现作物高产优质;磷素在植物体内行使重要的生理功能,磷素盈亏明显影响植物光合作用的光合磷酸化过程和碳水化合物的合成;钾素促进碳水化合物的合成与运转,使机械组织发育良好,厚角组织发达,提高抗倒伏性<sup>[12]</sup>。前人研究表明,养分的吸收是干物质形成和累积的基础,也是籽粒产量形成的基础<sup>[13]</sup>。不同基因型大豆品种对磷肥的反应不一致,不同品种只有适宜的施磷,植株及各器官才会表现出较高的氮、磷、钾含量,且磷、氮、钾之间存在互作效应,适宜的施磷能促进氮和钾的吸收<sup>[14-15]</sup>。年海<sup>[16]</sup>、王美丽<sup>[17]</sup>、童学军<sup>[9]</sup>等研究表明,大豆在磷营养特性方面存在着一定的品种差异。本研究结果表明,低磷处理下,在鼓粒期(R5)和始熟期(R7)磷高效品种根系氮的百分含量显著高于磷低效品种;除分枝期外其它生育时期磷高效品种的根系磷百分含量均高于磷低效品种的,平均高 41.4%;磷高效品种根的 K 百分含量均高于磷低效品种,平均高 84.8%,且差异多达显著水平。

低磷下,磷高效品种的氮、磷、钾积累量均高于磷低效品种。高磷处理下,两类型品种根系氮积累量差异较小,仅在在鼓粒期(R5)磷高效品种显著高于磷低效品种。与低磷相比,随磷处理浓度的增加,磷高效品种根系氮积累量变化不明显,即使在较低的磷浓度下,也能保持较高的根系氮积累量。中磷和高磷处理能显著增加磷低效品种的根系磷和钾素的积累量,而相对磷高效品种来说受磷处理影响相对较小,即使在较低的磷浓度下其根系也能吸收较多的磷、钾。这可能也是磷高效基因型大豆能够有效抵抗低磷胁迫的生理特性之一。

参考文献

[1] 樊明寿,张福锁. 植物磷吸收效率的生理基础[J]. 生命科学, 2001,13(3):128-131. (Fan M S, Zhang F S. The variation in plant phosphorus acquisition efficiency and its physiological mechanism[J]. Chinese Bulletin of Life Sciences, 2001, 13(3):128-131.)  
[2] 董薇,练云,余永亮,等. 大豆磷胁迫响应研究进展[J]. 大豆科学,2012,31(1):135-140. (Dong W, Lian Y, Yu Y L, et al. Advances in low phosphorus stress on soybean[J]. Soybean Science, 2012, 31(1):135-140.)  
[3] 敖雪,谢甫绂,刘婧琦,等. 不同磷效率大豆品种光合特性的比较[J]. 作物学报,2009,35(3):522-529. (Ao X, Xie F T,

Liu J Q, et al. Comparison of photosynthetic characteristics in soybean cultivars with different phosphorus efficiencies[J]. Chinese Journal of Crop Sciences, 2009, 35(3):522-529. )

[4] AO X,Guo X H,Zhu Q, et al. Effect of phosphorus fertilization to P uptake and dry matter accumulation in soybean with different P efficiencies[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014,13(2):326-334.

[5] 陈怀珠,赵艳红,杨守臻,等. 磷胁迫下不同基因型大豆的症状表现及耐性极限研究[J]. 大豆科学, 2008,27(1):165-169. (Chen H Z, Zhao Y H, Yang S Z, et al. Symptoms and tolerant limit of different genotype soybeans under phosphorus stress [J]. Soybean Science, 2008,27(1):165-169. )

[6] 刘灵,廖红,王秀荣,等. 不同根构型大豆对低磷的适应性变化及其与磷效率的关系[J]. 中国农业科学,2008,41(4):1089-1099. (Liu L, Liao H, Wang X R, et al. Adaptive changes of soybean genotypes with different root architectures to low phosphorus availability as related to phosphorus efficiency[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008,41(4):1089-1099. )

[7] 李志刚,谢甫绶,宋书宏. 大豆高效利用磷素基因型的筛选[J]. 中国农学通报,2004,20(5):126-129. (Li Z G, Xie F T, Song S H. The selection of high phosphorus using efficient soybean genotype [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2004, 20(5):126-129. )

[8] Ao X, Liu J Q, Zhang H J, et al. Distinct physiological and biochemical characteristics of soybean genotypes with different phosphorus efficiency under treatments of various phosphorus concentrations[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2013,44:2796-2808.

[9] 童学军,严小龙,卢永根,等. 广东大豆地方种质磷效率特性研究 I. 大豆基因型磷效率特性差异及其与土壤有效磷含量的关系[J]. 土壤学报, 1999,36(3):404-411. (Tong X J, Yan X L, Lu Y G, et al. Study on characteristics of phosphorus efficiency of soybean native germplasm in Guangdong province I. Differences of soybean genotypes in characteristics of phosphorus efficiency and relationship between phosphorus efficiency and content of soil available phosphorus [J]. Acta Pedologica Sinica, 1999,36(3):404-411. )

[10] 王应祥,廖红,严小龙. 大豆适应低磷胁迫的机理初探[J]. 大豆科学, 2003,22(3):208-212. (Wang Y X, Liao H, Yan X L. Preliminary studies on the mechanisms of soybean in adaptation to low P stress[J]. Soybean Science, 2003,22(3):208-212. )

[11] 张福锁,林翠兰. 植物营养基因型差异的机理[M]//土壤与植物营养学研究新动态, 北京:北京农业大学出版社,1992:23-30. (Zhang F S, Lin C L. Genotype differences mechanism of plant nutrition[M]//Soil and plant nutrition research new developments, Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1992:23-30. )

[12] 张玉芹. 超高产春玉米根冠特性及钾素养分调控效应的研究 [D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2011. )Zhang Y Q. Properties of canopy and root of super-high yield maize and regulating effect of potassium[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University,2011. )

[13] 向达兵,郭凯,杨文钰. 不同磷钾处理下套作大豆干物质积累及钾肥利用率的动态变化[J]. 中国油料作物学报, 2012,34(2):163-167. (Xiang D B, Guo K, Yang W Y. Dynamics of dry matter accumulation and potassium utilization in relay strip intercropped soybean under different phosphorus and potassium levels [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2012,34(2):163-167. )

[14] 蔡柏岩,葛菁萍,祖伟. 磷素水平对不同大豆品种氮素营养的影响[J]. 中国油料作物学报,2006,28(2):156-161. (Cai B Y, Ge J P, Zu W. The effect of phosphorus level on nitrogen uptake of different soybean varieties[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2006,28(2):156-161. )

[15] 蔡柏岩,葛菁萍,金惠玉,等. 磷素水平对不同大豆品种钾素吸收效率的影响[J]. 大豆科学,2006,25(1):42-46. (Cai B Y, Ge J P, Jin H Y, et al. The effect of phosphorus level on potassium uptake efficiency of different soybean varieties [J]. Soybean Science, 2006,25(1):42-46. )

[16] 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. (Nian H, Guo Z H, Yu R C, et al. The evaluation of the different sources of soybean varieties resistant to low phosphorus capacity [J]. Soybean Science,1998, 17(2):108-114. )

[17] 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. (Wang M L, Yan X L. Characteristics on root morphology and root exudation of soybean in relation to phosphorus efficiency[J]. Journal of South China Agricultural University, 2001,22(3):1-4. )