

磷胁迫下不同基因型大豆的症状表现及耐性极限研究

陈怀珠, 赵艳红, 杨守臻, 李初英, 孙祖东

(广西农业科学院经济作物研究所, 广西南宁 530007)

摘 要:通过水培试验, 研究 8 个不同基因型大豆品种在 5 种不同浓度磷营养处理下的生长发育情况、症状表现以及不同生育期耐低磷和耐高磷极限。结果表明, 多数大豆品种水培的适宜磷营养浓度在 1.5 mmol L^{-1} 左右; 水培大豆苗期和鼓粒期对磷的需求相对较少, 开花期和结荚期需磷较多; 大豆缺磷表现出嫩叶淡绿色、叶片褐斑、褐脉、叶皱缩扭曲、主根变褐、植株丛化、叶缘焦枯、生长点干枯坏死、花少和荚少等 10 种症状; 磷过量表现出嫩叶淡绿色、叶片褐斑、褐脉、生长点干枯坏死等 4 种症状; 缺磷和磷过量症状均存在轻、中、重的差异; 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。

关键词:大豆; 磷胁迫; 基因型; 症状; 耐性极限

Symptoms and Tolerant Limit of Different Genotype Soybeans under Phosphorus Stress

CHEN Huai-zhu, ZHAO Yan-hong, YANG Shou-zhen, LI Chu-ying, and SUN Zu-dong

(Cash Crop Institute of Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, Guangxi, China)

Abstract: Eight soybean genotypes were used to study the effect of phosphorus stress (excessive or lacking) on the growth and development and tolerant limit of the solution cultured plants. The results showed that 1.5 mmol L^{-1} of phosphorus was suitable for most of the soybean genotypes. Hydroponic soybean plants required less phosphorus in flowering and pod setting stages but more at seedling and pod filling stages. Lacking of phosphorus resulted in pea-green young leaves, speckle or crimple leaves, brown veins, brown taproot, clumped plants, withered leaf edge, dry rot growth point, less flowers and pods. In the excessive phosphorus treatment, the soybean plants expressed pea-green leaves, speckle leaves, brown veins and dry rot growth point. All symptoms showed light, moderate and severe levels. The result also indicated that the tolerant limit to P stress was significantly different among soybean genotypes.

Key words: Soybean; Phosphorus stress; Genotype; Symptom; Tolerance limit

磷是植物必需的三大元素之一, 是植物的重要组成部分, 以多种方式参与植物体内各种生理生化过程, 对促进植物的生长发育和新陈代谢起着非常重要的作用。大豆是需磷量较多的作物, 大豆籽粒含磷量远远高于稻米、小麦和玉米(董钻, 2000)。我国约有 $1/2$ 的耕地土壤缺磷(鲁如坤, 2003), 低磷是大豆生产的主要限制因素之一。栽培上, 一方面可通过增施磷肥来提高产量, 但施用磷肥的当季磷利用率只有 15%, 把后效包括在内也不超过 25%, 还造成磷素沉积, 若过量施用磷肥, 还会使土壤理化性质恶化, 不仅增加了农业成本, 而且加重了资源消耗和环境污染等问题(王庆仁等, 1998); 另一方面亦可通过施用石灰

提高表层土壤 pH 来提高土壤磷的有效率, 但亚表层土壤酸度仍未改变, 在使用石灰的土壤中作物根系生长往往不良, 对干旱十分敏感, 过多使用石灰导致土壤结构破坏、磷和一些微量元素有效性降低。因此, 科学栽培和充分利用大豆品种自身的抗耐性来解决低磷问题, 是促进大豆生产良性循环的有效措施。对于生产上科学施肥, 以及筛选和培育耐低磷的大豆品种来说, 正确判断磷养分的丰缺, 掌握反映植株磷素丰缺的指标是至关重要的。本研究采用 8 个不同基因型的大豆品种, 进行不同磷素营养水平的水培试验, 在严格控制磷素营养的条件下, 观察大豆生长发育表现、缺磷和磷过量症状, 明确大豆耐低磷和耐高

收稿日期 (Received): 2007-04-11; 接受日期 (Accepted): 2007-12-15

基金项目: 广西壮族自治区青年科学基金资助项目(桂科青 0542025)

作者简介: 陈怀珠(1967-), 女, 副研究员, 主要从事大豆遗传育种研究。E-mail: chhuaizhu@yahoo.com.cn

磷极限,旨在为生产上的正确诊断和科研上耐低磷大豆品种的筛选提供依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

选用对磷营养利用效率有差异的不同基因型大豆桂早一号、桂春豆 1 号、瓦窑黄豆、扶隆豆、保黑、广东 5 号、公正黄豆、中作 YC17 为水培材料。

1.2 试验方法

试验于 2006 年 8 月至 11 月在广西农业科学院经济作物研究所玻璃室进行。采用全生育期水培试验方法,设置 0、0.5、1.0、1.5、2.0 mmol L⁻¹ 5 种磷元素浓度,分别用 P1、P2、P3、P4 和 P5 表示,其他营养元素采用 1/2 倍 Hoagland 大量元素和 Arnon 微量元素配方,3 次重复。

选择饱满一致的供试种子,浸泡 6 h 后,播于水分适中的清洗消毒细砂中砂培,待单叶展平时,移入水培箱中。水培箱为硬质深色遮光方形塑料箱,内体积为 62 × 37 × 14 cm,每箱盛 27 L 营养液,覆盖 1 块厚 3.5 cm 的泡沫板,板上钻 2 行、每行 6 个直径为 1 cm 的圆洞,植苗 12 株。培养期间,营养液 pH 值用 NaOH 和 HCl 调至 5.5 ~ 6.5 之间,每隔 7 d 更换一次营养液,用定时器调控电动泵每隔 15 min 通气 10 min 供氧。

1.3 测定项目

1.3.1 缺磷和磷过量症状观察 全生育期间,对供试大豆品种在磷营养元素 5 种浓度处理下的症状加以细致观察和描述,拍照典型症状。低浓度和高浓度下的不正常表现分别为缺磷症状和磷过量症状。

1.3.2 耐低磷和耐高磷极限的确定 将缺磷症状严重程度分为重、中、轻、正常四级,分别用“---”、“--”、“-”和“0”表示,将磷过量症状严重程度分为重、中、轻、正常四级,分别用“+++”、“++”、“+”和“0”表示。在大豆苗期、开花期、结荚期、鼓粒期 4 个主要物候期进行调查,将开始出现轻微症状的最低和最高磷浓度范围分别确定为耐低磷和高磷极限。

2 结果与分析

2.1 不同浓度磷营养水培下大豆的生长表现

不同浓度磷营养水培下大豆的生长表现见表 1。由表 1 可见,在中等浓度的 P3 和 P4 培养下,除部分品种嫩叶出现淡绿色这一现象之外,无其他不正常现象发生,各供试品种生长发育、开花结实和株高基本正常;在无磷的 P1 和低浓度的 P2 培养下,各供试品种分别出现不同程度的缺磷症状,株高降低,不能结实或结实不正常;在高浓度的 P5 培养下,部分供试品种出现磷过量症状,各品种开花结实和株高基本正常。

表 1 不同磷浓度水培对大豆生长的影响

Table 1 Effect of different phosphorus concentration on growth of soybean

处理 Treatment	主要症状 Symptoms
P1	6 d 后嫩叶变淡绿色;10 d 后嫩叶淡绿色,老叶出现褐色斑点;14 d 后嫩叶淡绿色,老叶深绿色、褐斑、叶脉变褐,主根变褐,老叶皱缩扭曲,叶缘焦枯;20 d 后老叶褐斑、褐脉,褐根,生长点干枯坏死,不能开花或开花少;生长后期植株非常矮小,无荚或空荚或有少量结实荚。
P2	6 d 后部分品种嫩叶变淡绿色(程度较 P1 处理轻);10 d 后老叶出现褐色斑点,部分品种生长正常,无症状;已出现症状的品种 14 d 后表现嫩叶淡绿色、老叶褐斑、叶脉变褐、主根变褐,无症状品种开始出现嫩叶淡绿色;20 d 后供试品种都表现植株矮化,褐脉,褐根,有些品种出现丛化、叶缘焦枯、生长点干枯坏死;生长后期植株矮,花少,荚少。
P3	6 d 后部分品种嫩叶变淡绿色(程度较 P2 处理轻),其余品种叶色正常;14 d 后部分品种嫩叶仍表现淡绿色(程度较 P2 处理轻),其余品种叶色正常;20 d 后生长表现同前,且各供试品种开花、结荚基本正常;生长后期植株高,正常成熟落黄,荚数无明显减少。
P4	除开花期有 2 个品种嫩叶出现淡绿色之外,其他时期供试品种均无症状,植株生长、开花、结荚、落黄均正常,植株高,荚数多。
P5	苗期有 3 个品种嫩叶出现淡绿色,有 1 个品种老叶面叶背出现褐色斑点。开花期有 2 个品种嫩叶出现淡绿色。结荚期有 2 个品种嫩叶出现淡绿色。鼓粒期有 5 个品种出现轻微褐脉和茎顶端干枯坏死现象。供试品种均正常成熟落黄,植株高,荚数无明显减少。

2.2 缺磷症状和磷过量症状

2.2.1 缺磷症状 由表 1 可见,水培大豆缺磷出现以下 10 种症状:

嫩叶淡绿色:整片叶片和叶脉均匀退绿,严重时接近黄化。这是处理 P1 和 P2 中 8 个供试品种表现的症状,处理 P3 中瓦窑黄豆(苗期、开花期)、扶隆豆(苗期、开花期)、保黑(苗期、开花期)、广东 5 号(苗期)、公正黄豆(苗期)、中作 YC17(苗期、开花期)出现此现象;处理 P4 中的公正黄豆(苗期)、保黑(苗期)、瓦窑黄豆(开花期)、广东 5 号(开花期)也出现此现象。

叶片褐色斑点:植株老叶的叶面和叶背分布褐色小斑点。这种现象在处理 P1 的 8 个供试品种中均有表现,在低浓度处理 P2 中瓦窑黄豆、公正黄豆、扶隆豆、中作 YC17、保黑、广东 5 号出现此现象。

褐脉:从老叶叶脉主脉底端开始变褐,逐渐向叶梢和侧脉扩展。在处理 P1 和 P2 中此现象普遍发生。

叶缘焦枯:叶片边缘变褐坏死皱缩。在处理 P1 和 P2 中有此现象。

叶皱缩扭曲:在叶脉变褐的后期,主脉干枯,继而叶片皱缩,严重时发生扭曲。在处理 P1 中有此现象,处理 P2 中少有发生。

植株矮化:处理 P1 和 P2 的供试品种植株严重矮化,株高不到它们各自在 P3、P4 和 P5 培养下株高的一半。

植株丛化:供试品种在处理 P2 培养中,分枝增多,植株矮,出现丛化现象。

生长点干枯坏死:8 个供试品种在处理 P1 和 P2 下,主茎和分枝的顶端发生生长点干枯坏死现象。

主根变褐:处理 P1 和 P2 的供试品种,进入 3 节期(从单叶着生的节算起,主茎第 3 节复叶全展)后主根变褐,P3 的部分供试品种也有此症状。

花少,荚少:处理 P2 的供试品种出现此症状。在无磷处理 P1 下,出现不开花或花而不实现象。

2.2.2 磷过量症状 由表 1 可见,水培大豆磷过量出现以下 4 种症状:

嫩叶淡绿色:与缺磷症状相同。在高磷处理 P5 下,公正黄豆(苗期、开花期)、瓦窑黄豆(苗期)、扶隆豆(苗期、开花期)、广东 5 号(苗期、开花期)出现此症状。

叶片褐色斑点:与缺磷症状相同。在高磷处理 P5 下,广东 5 号(苗期、结荚期)和扶隆豆(开花期、结荚期)出现此症状。

褐脉:与缺磷症状相同。在高磷处理 P5 下,广东 5 号(结荚期、鼓粒期)和扶隆豆(开花期、结荚期、鼓粒期)出现此症状。

生长点干枯坏死:与缺磷症状相同。在高磷处理 P5 下,广东 5 号(结荚期、鼓粒期)、扶隆豆(开花期、结荚期、鼓粒期)、瓦窑黄豆(鼓粒期)、公正黄豆(鼓粒期)和中作 YC17(结荚期、鼓粒期)出现此症状。

2.3 不同基因型大豆在不同生育时期对不同磷营养水平的耐性差异

由表 2 可见,不同磷浓度水培条件下,各供试大豆品种在苗期、开花期、结荚期、鼓粒期对磷的需求不同,耐低磷和高磷能力表现出很大的差异。

2.3.1 各生育期耐性表现 由表 2 可见,不同生育期供试品种对低磷和高磷的耐性不同。苗期供试品种在 P4 培养下生长正常,无缺磷症状;磷浓度降到 P3 培养时有 4 个品种(扶隆豆、保黑、广东 5 号、公正黄豆和中作 YC17)出现轻度缺磷症状,其余品种生长正常;低浓度磷(P2)培养各参试品种分别出现中度或轻度缺磷症状;高浓度磷(P5)培养除桂早一号、桂春豆 1 号、保黑和中作 YC17 生长正常外,其余 4 个品种出现轻度或中度磷过量症状。开花期供试品种在 P4 培养下有 2 个品种(瓦窑黄豆和广东 5 号)出现轻度缺磷症状,其余品种生长正常;P2 培养下各参试品种的缺磷症状均比苗期重,P5 培养下有 2 个品种(扶隆豆和公正黄豆)出现轻度磷过量症状,其余品种生长正常;此期,各品种缺磷症状较苗期加重,耐低磷极限较苗期高,磷过量症状较苗期轻。结荚期供试品种耐性表现与开花期相似。鼓粒期供试品种的缺磷程度与开花期和结荚期相同,磷过量的品种数均比苗期、开花期和结荚期多。高浓度磷(2.0 mmol L^{-1})培养下出现磷过量的品种数鼓粒期 > 苗期 > 开花期 = 结荚期。

上述结果表明,苗期大豆需磷量少,对低磷的耐性比开花期、结荚期和鼓粒期强,对高磷的耐性比开花期和结荚期弱、比鼓粒期强。开花期和结荚期大豆需磷量较苗期增多,对低磷的耐性比苗期弱,对高磷的耐性比苗期和鼓粒期强。鼓粒期大豆对磷的需求下降,对高磷的耐性比苗期、开花期和结荚期弱。

2.3.2 不同基因型大豆品种的耐性差异 由表 2 可见,不同基因型大豆品种不同生育时期对低磷和高磷的耐性存在差异。桂早一号和桂春豆 1 号全生

育期 P3、P4、P5 培养下均生长正常,无磷过量症状, 开花期、结荚期和鼓粒期出现中度到重度缺磷症状, 在低磷处理 P2 条件下,苗期只出现轻度缺磷症状, 耐低磷极限在 1.0 mmol L⁻¹ 和 0.5 mmol L⁻¹ 之间, 且较其余品种轻,耐低磷极限在 0.5 mmolL⁻¹ 左右, 为耐低磷和耐高磷最强的品种。

表2 不同基因型大豆在不同生育期的缺磷或磷过量症状

Table 2 Excessive or lacking Phosphorus symptoms of different genotype soybeans in different growth period

品种 Cultivar	苗期 Seedling					开花期 Flowering					结荚期 Pod setting					鼓粒期 Pod filling				
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
桂早一号 Guizao 1	--	-	0	0	0	---	--	0	0	0	---	---	0	0	0	---	---	0	0	0
桂春豆 1 号 Guichundou 1	--	-	0	0	0	---	--	0	0	0	---	---	0	0	0	---	---	0	0	0
瓦窑黄豆 Wayaohuangdou	---	--	0	0	+	---	---	-	-	0	---	---	-	0	0	---	---	-	0	+
扶隆豆 Fulongdou	---	--	-	0	+	---	---	-	0	+	---	---	-	0	+	---	---	-	0	+
保黑 Baohai	--	--	-	0	0	---	--	-	0	0	---	---	-	0	0	---	---	-	0	0
广东 5 号 Guangdong 5	--	--	-	0	++	---	---	-	-	0	---	---	0	0	+	---	---	0	0	+
公正黄豆 Gongzhenghuangdou	---	--	-	0	+	---	---	-	0	+	---	--	0	0	0	---	--	0	0	+
中作 YC17 Zhongzuo YC17	--	--	-	0	0	---	---	-	0	0	---	---	-	0	0	---	---	--	0	+

P1, P2, P3, P4 and P5 stand for 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mmol L⁻¹ phosphorus, respectively.
Level of P lacking symptom: “0” 正常 (normal), “-” 轻度缺磷症状 (light), “--” 中度缺磷症状 (medium), “---” 重度缺磷症状 (serious).
Level of P excessive symptom: “0” 正常 (normal), “+” 轻度磷过量症状 (light), “++” 中度磷过量症状 (medium), “+++” 重度磷过量症状 (serious).

扶隆豆在苗期、开花期、结荚期和鼓粒期 P3 培养下均出现轻度缺磷症状,耐低磷极限均在 1.0 mmol L⁻¹左右,在 P5 培养下各生育时期均出现轻度磷过量症状,耐高磷极限在 2.0 mmol L⁻¹左右,对磷浓度的适应窄,对磷的丰缺反应极敏感,是不耐低磷和不耐高磷品种。

保黑在苗期、开花期、结荚期和鼓粒期 P3 培养下均出现轻度缺磷症状,耐低磷极限均在 1.0 mmol L⁻¹左右,而全生育期在高浓度磷(P5)水培下均无磷过量症状,对低磷的反应敏感,对高磷的反应不敏感,是不耐低磷、耐高磷品种。

瓦窑黄豆、广东 5 号、公正黄豆和中作 YC17 全生育期低磷极限在 1.0 mmol L⁻¹和 1.5 mmol L⁻¹之间,在 P5 培养下苗期和鼓粒期出现轻度或中度磷过量症状,对磷浓度的适应较扶隆豆宽、较桂早一号、桂春豆 1 号和保黑窄,对磷反应敏感,是不耐低磷和

不耐高磷品种。

3 讨论

供试的多数大豆品种水培的适宜磷营养浓度在 1.5 mmol L⁻¹左右。浓度过低,易出现磷缺乏,表现缺磷症状;浓度过高,会出现磷过量,表现磷中毒症状。

吴明才等(1999)水培及砂姜土壤栽植大豆,观察到大豆缺磷症状为苗期茎色紫,叶小而浓绿,叶绿素含量高,植株瘦弱等特征。王聪等(2004)发现大豆叶片特征对缺磷和低磷的反应程度存在明显的差异。本研究水培条件下不同基因型大豆缺磷时表现出嫩叶淡绿色、叶片褐斑、褐脉、叶皱缩扭曲、主根变褐、植株丛化、叶缘焦枯、生长点干枯坏死、花少和荚少等症状。磷过量时表现出嫩叶淡绿色、叶片褐斑、褐脉、生长点干枯坏死等症状,这 4 种症状与缺磷表现的对应症状相同。缺磷和磷过量症状存在轻、中、

重的差异。对于本研究观察到的4种磷过量与缺磷表现相同对应症状的结果,还有待于进一步研究和深入了解其机理。

水培大豆不同生育时期对磷的需求不同,苗期和鼓粒期对磷的需求相对较少,开花期和结荚期需磷较多(磷浓度为 2.0 mmol L^{-1} 条件下出现磷过量的品种数鼓粒期>苗期>开花期=结荚期)。丁玉川等(2005)土壤盆栽试验结果表明,大豆品种植株在幼苗阶段对缺磷反应不敏感,但随着植株的生长和发育,对介质中磷素营养的要求越来越高时,特别在开花期前,缺磷处理就表现出一定程度的缺磷性状。董钻和谢甫绀(1996)的研究表明,大豆出苗至分枝,磷的积累量较少,开花至结荚,磷的积累量最多,以后直至成熟,磷的积累量递减。王立刚等(2007)的研究也表明,大豆植株磷素最高吸收速率出现在结荚至鼓粒期。本研究获得的水培大豆对磷的需求现象与他们研究的磷的积累规律基本相符。

大豆不同品种对磷胁迫有显著的遗传差异(丁洪等,1997;丁洪和李秀生,1998)。本研究亦获得相同的研究结果,不同大豆品种对磷胁迫反应不同,不同生育时期对磷的耐性极限存在差异。桂早一号、桂春豆1号苗期的耐低磷极限在 0.5 mmol L^{-1} 左右,开花期、结荚期和鼓粒期的耐低磷极限在 0.5 mmol L^{-1} 和 1.0 mmol L^{-1} 之间,而全生育期在高浓度磷(2.0 mmol L^{-1})水培下未出现中毒症状,对磷的丰缺反应不敏感,是耐低磷和耐高磷性最强的品种。扶隆豆在苗期、开花期、结荚期和鼓粒期的耐低磷极限均在 1.0 mmol L^{-1} 左右,耐高磷极限在 2.0 mmol L^{-1} 左右,对磷浓度的适应窄,对磷的丰缺反应极敏感,是不耐低磷和不耐高磷品种。保黑在苗期、开花期、结荚期和鼓粒期的耐低磷极限均在 1.0 mmol L^{-1} 左右,而全生育期在高浓度P5(2.0 mmol L^{-1})水培下均无磷过量症状,对低磷的反应敏感,是不耐低磷、耐高磷品种。

References

- Ding H, and Li S X. 1998. Genetic difference of response of soybean cultivars to low phosphorus stress and phosphorus fertilizer. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 4(3):257-263(丁洪,李生秀.1998.大豆品种耐低磷和对磷肥效应的遗传差异.植物营养与肥料学报,4(3):257-263)
- Ding H, Li S X, and Guo Q Y. 1997. Study on correlation between acid phosphatase activity and low phosphorus tolerance of soybean. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 3(2):123-128(丁洪,李生秀,郭庆元.1997.酸性磷酸酶活性与大豆耐低磷能力的相关研究.植物营养与肥料学报,3(2):123-128)
- Ding Y C, Chen M C, Cheng B, Li L J, and Li D Y. 2005. Phosphorous uptakes and uses of different soybean varieties. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 25(9):1791-1797(丁玉川,陈明昌,程滨,李丽君,李典友.2005.不同大豆品种磷吸收利用特性比较研究.西北植物学报,25(9):1791-1797)
- Dong Z, ed. 2000. Soybean yield physiology. Agriculture Press, China, Beijing, pp. 63-64(董钻,著.2000.大豆产量生理,中国农业出版社,中国,北京,pp. 63-64)
- Dong Z, and Xie F T. 1996. Studies on dynamics and models of N, P, K absorption in soybeans. *Acta Agronomica Sinica*, (1):89-95(董钻,谢甫绀.1996.大豆氮磷钾吸收动态及模式的研究.作物学报, (1):89-95)
- Lu R K. 2003. The phosphorus level of soil and environmental protection of water body. *Phosphate and Compound Fertilizer*, 18(1):4-7(鲁如坤.2003.土壤磷素水平和水体环境保护.磷肥与复肥,18(1):4-7)
- Wang C, Liu S G, Li Z G, Cheng X D, and Xing Q F. 2004. Effects of phosphorus stress on the leaf characteristics of different soybean genotypes at seedling stage. *Journal of Inner Mongolian University for Nationalities*, 19(3):303-306(王聪,刘曙光,李志刚,成晓东,邢庆芬.2004.磷胁迫对不同基因型大豆苗期叶片特征的影响.内蒙古民族大学学报(自然科学版),19(3):303-306)
- Wang L G, Liu K L, Gao Q L, Liu J H, and Zhang S. 2007. Study on the law of phosphorus absorption in soybean. *Soybean Science*, 26(1):30-35(王立刚,刘克礼,高聚林,刘景辉,张胜.2007.大豆对磷素吸收规律的研究.大豆科学,26(1):30-35)
- Wang Q R, Li J Y, and Li Z S. 1998. Dynamics and prospect on studies of high acquisition of soil unavailable phosphorus by plants. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 4(2):107-116(王庆仁,李继云,李振声.1998.植物高效利用土壤难溶态磷研究动态及展望.植物营养与肥料学报,4(2):107-116)
- Wu M C, Xiao C Z, and Zheng P Y. 1999. Study on the physiological function of phosphorus to soybean. *Scientia Agricultura Sinica*, 32(3):59-65(吴明才,肖昌珍,郑普英.1999.大豆磷素营养研究.中国农业科学,32(3):59-65)

Ding H, and Li S X. 1998. Genetic difference of response of soybean cultivars to low phosphorus stress and phosphorus fertilizer. *Plant Nutri-*