植物营养与肥料学报 2001,7(2):199～204
Plant Nutrition and Fertilizer Science

大豆种质耐低磷与耐铝毒部分指标及其相互关系的研究

万延慧,年　海,严小龙
(华南农业大学植物营养遗传研究室,广东广州,510642)

摘要:通过溶液培养试验,对来源于华南酸性土壤的5个大豆品种的地上部及根部耐低磷及耐酸铝部分指标进行了系统的研究。研究结果表明,大豆在磷效率和耐铝毒特性方面存在着一定的差异,大豆品种62号、乐昌及广州大粒具有较高的磷效率和耐铝毒特性。在低磷及铝毒胁迫下它们具有较高的生物量、磷含量、叶面积、叶绿素含量、总酸分泌量以及主根长。低磷和铝毒胁迫严重影响地上部磷的吸收,高磷能缓解铝毒。铝浓度不同处理大豆的地上部无显著差异;但在铝毒胁迫下,根部的铝浓度比地上部高5～6倍,且品种间存在显著差异。本研究初步确定了大豆耐低磷与耐铝毒的相关关系。

关键词:大豆;磷胁迫;铝毒;磷铝互作
中图分类号:S565.1;Q945.78　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2001)02-0199-06

在华南地区广泛分布的酸性红壤上,不但有效磷含量较低,而且所含高量的交换性铝也严重抑制作物的生长和发育[1]。仅靠施磷肥和施石灰收效不是很大,且会对环境造成一定的污染。通过遗传育种的方法培育具有肥料利用效率高及适应不良土壤环境的作物品种,是一条有效的解决途径。许多研究表明,作物磷效率和耐铝毒方面均存在着基因差异[2～5]。Sartain等发现,大豆品种中凡是具有较强的耐铝性,其根系每单位长度吸收磷的量也较多[6];Bahia Filho等认为植物对铝胁迫、低磷的适应性可能为同一种机制所控制[7]。但两者之间的相互关系还缺乏足够的研究证据。

本研究探讨了大豆对酸性缺磷红壤适应性方面的基因型差异,并试图找出其高磷效率和耐铝毒的一些共同指标及其相互关系,从而为阐明大豆适应酸性缺磷土壤的机理和耐低磷、耐铝毒品种的改良提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计

试验选用从华南各地收集来的5个地方大豆品种进行溶液培养。试验设:低磷1不加铝(P_1Al_0)、低磷2不加铝(P_2Al_0)、高磷不加铝(P_3Al_0)、低磷1加铝(P_1Al_1)、低磷2加铝(P_2Al_1)、高磷加铝(P_3Al_1)等6个处理,重复4次。各处理除磷和铝用量有差异外,其它肥料用量一致,分别为KNO_3 0.4550g/L,NH_4NO_3 0.0960g/L,$Ca(NO_3)_2\cdot4H_2O$ 0.8501g/L,K_2SO_4 0.2091g/L,$MgSO_4\cdot7H_2O$ 0.7394g/L,$(NH_4)_2SO_4$ 0.1586g/L,$MnSO_4\cdot H_2O$ 0.76mg/L,$CuSO_4\cdot5H_2O$ 0.37mg/L,H_3BO_3 0.09mg/L,$(NH_4)_6Mo_7O_{24}\cdot4H_2O$ 0.49mg/L,$ZnSO_4\cdot7H_2O$ 1.29mg/L,Fe-EDTA 1.68mg/L。其中施磷处理(KH_2PO_4)用量低磷1为2.72×10^{-5}g/L,低

收稿日期:1999-11-15
基金项目:国家自然科学基金项目(39700086;39970431)资助。
作者简介:万延慧(1970—),女,山东人,硕士,博士研究生,主要从事植物营养遗传研究方面的工作.

磷2为6.4×10^{-4}g/L,高磷为0.1360g/L。加铝处理($Al_2(SO_4)_3\cdot18H_2O$)用量为0.3198g/L。

试验于1998年10月20日在华南农业大学农化网室及实验室内进行。种子发芽前用自来水浮选法去掉瘪粒,留下饱满的种子用30%的双氧水表面消毒10min,并用饱和的硫酸钙溶液浸润30min,然后播于石英砂中,当种子萌发到2片叶刚展开时,小心将均匀一致的幼苗从石英砂中取出,用水轻轻冲洗,然后将其移栽至盛有pH 3.8营养液的溶液培养箱中,每个定植杯2株幼苗,液培箱容积为30L,每箱10株,每周换1次营养液,每隔2d调1次pH值。于11月16日收集大豆根分泌总酸量,17日测定;12月23日收获,测地上部和根部生物量、株高、叶绿素含量、叶面积、植株主根长、地上部吸磷量和地上部及根部铝含量。

1.2 分析测定方法

铝测定:采用铬天青S-溴化十六烷基三甲铵-乙醇分光光度法[8]。

总酸分泌量测定:将植株取出,用水轻轻冲洗干净后置于500mL的去离子水中生长8h,收集根洗液,然后取50mL根洗液用4.444×10^{-3}mol/L NaOH溶液滴定,用酚酞作指示剂,滴至粉红色终点。

叶片叶面积测定:利用L1-3000型便携式面积测定仪测定。

叶片叶绿素总含量测定:收获后取植株基部第二片复叶,用丙酮-乙醇混合液提取,分光光度法测定[9]。

其它测定采用常规方法。所有试验数据均通过计算机软件Excel、SAS进行处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 磷、铝对大豆植株生长的影响

从表1大豆整株生物量可以看出,缺磷和铝毒严重影响大豆植株的生长,高磷和无铝处理时,不同大豆品种整株生物量普遍高于低磷和铝毒处理时的整株生物量。在低磷铝毒胁迫下,大豆生长明显受到抑制,但在高磷铝毒处理下生长正常,二者之间差异极显著,表明在本试验条件下高磷有缓解铝毒的作用。另外不同大豆品种对缺磷和铝毒反应也有差异。乐昌和62号的整株生物量在高、低磷处理下的差异要比象阳春小,表现出较好的耐低磷特性。低磷铝毒存在情况下,乐昌和广州大粒的整株生物量相对要高些。

缺磷和有铝毒时各品种整株叶面积明显小于高磷和无铝毒时的叶面积,但不同品种对缺磷和铝毒的反应有显著差异。低磷无铝毒处理下乐昌、62号和广州大粒的相对叶面积有大于保黑色豆和象阳春的相对叶面积的趋势;低磷铝毒情况下亦有相似结果(表1)。

表1还表明,无铝毒处理时,各大豆品种主根长显著大于低磷铝毒处理时的主根长,但与高磷铝毒处理时的主根长无显著差异,这表明了铝对根系的影响、毒害作用和磷的缓解铝毒作用。在低磷无铝毒条件下,各品种的主根长有显著增长甚至有超过高磷处理的趋势,说明低磷确实可以刺激根系的伸长,使植株能够吸收到更多的磷。低磷无铝毒处理下乐昌、62号和广州大粒的主根长都有大于高磷情况下的主根长的趋势,而保黑色豆和象阳春却反之;低磷铝毒处理下只有乐昌主根长明显高于其他4个品种。这也表明乐昌、62号和广州大粒可能较保黑色豆和象阳春耐低磷,而乐昌可能较耐铝毒。

2.2 大豆植株对磷、铝的吸收状况

从地上面部磷量来看(表2),营养液供磷状况严重影响大豆植株的吸磷量。高磷处理时,不同大豆品种地上部吸磷量显著高于低磷处理时的地上部吸磷量;铝毒也严重影响大豆植株对磷的吸收。

表 1　大豆整株生物量、叶面积和主根长

Table 1　Biomass of soybean plant, leaf area and tap root length

处理 Treat.	保黑色豆 Baoheise	乐昌 Lechang	象阳春 Xiangyangchun	62 号 No.62	广州大粒 Guangzhou
			整株生物量 Biomass (g/plant,DW)		
P_1Al_0	0.888±0.10a	1.179±0.06a	0.883±0.12a	1.071±0.13a	1.056±0.10a
P_2Al_0	1.473±0.20b	1.988±0.05a	1.804±0.15ab	1.694±0.04ab	1.856±0.20ab
P_3Al_0	3.240±0.12ab	3.689±0.26ab	3.881±0.32a	2.624±0.41b	3.649±0.43ab
P_1Al_1	0.763±0.15a	0.813±0.04a	0.791±0.05a	0.743±0.05a	0.999±0.05a
P_2Al_1	0.934±0.06abc	1.038±0.04ab	0.828±0.02bc	0.748±0.03c	1.070±0.13a
P_3Al_1	3.253±0.23a	3.503±0.20a	3.464±0.19a	3.244±0.12a	3.170±0.25a
			叶面积 Leaf area (cm^2/plant)		
P_1Al_0	234.8±6.8ab	313.0±51.4a	197.3±57.1b	281.3±48.1ab	263.8±43.4ab
P_2Al_0	465.8±3.1a	559.5±33.7a	481.5±90.5a	444.2±46.1a	493.3±54.6a
P_3Al_0	1292.3±6.5ab	1394.8±79.2a	1408.0±171.9a	1100.7±48.4b	1264.3±138.0ab
P_1Al_1	170.2±18.5a	191.3±15.9a	155.2±10.0a	150.8±15.2a	186.3±9.1a
P_2Al_1	205.8±3.3a	231.8±6.9a	172.0±6.0b	159.7±10.5b	212.8±24.0a
P_3Al_1	1255.5±8.6a	1285.7±127.3a	1218.7±173.1a	1139.2±69.5a	1178.2±126.8a
			主根长 Tap root length(cm)		
P_1Al_0	31.8±0.9d	48.9±3.0b	38.8±2.5cd	58.5±4.9a	41.4±2.0bc
P_2Al_0	33.8±1.8c	44.5±1.4ab	40.8±2.7abc	47.6±3.7a	37.9±1.4bc
P_3Al_0	36.6±0.9c	45.3±2.2ab	40.1±1.6bc	50.1±3.9a	36.6±3.0c
P_1Al_1	9.4±0.4b	11.5±1.2a	8.6±0.7b	8.3±0.3b	7.8±0.3b
P_2Al_1	7.9±0.7b	12.6±1.4a	6.4±0.2b	7.8±0.7b	7.8±0.7b
P_3Al_1	46.5±1.2a	44.9±2.5a	38.4±4.7a	44.9±8.2a	36.1±4.1a

注:表中数据为 4 次重复的平均数;每一行数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平,下同。

Note:Data in table are average of 4 replications; Different letters means significant at 5% levels, same as follows.

表 2　地上部吸磷量(mg/plant)

Table 2　P uptake of shoot

处理 Treat.	保黑色豆 Baoheise	乐昌 Lechang	象阳春 Xiangyangchun	62 号 No.62	广州大粒 Guangzhou
P_1Al_0	0.84±0.16a	1.24±0.25a	1.06±0.22a	1.22±0.22a	1.10±0.12a
P_2Al_0	1.99±0.21a	2.76±0.65a	2.93±0.86a	2.99±0.46a	2.87±0.38a
P_3Al_0	26.32±2.49ab	30.69±3.00a	30.44±3.44a	18.77±3.24b	25.45±2.63ab
P_1Al_1	0.74±0.12b	0.71±0.05b	0.80±0.09ab	0.74±0.07b	1.05±0.07a
P_2Al_1	0.96±0.05b	1.44±0.17a	1.03±0.13ab	0.89±0.02b	1.23±0.23ab
P_3Al_1	23.25±1.92a	22.24±1.25a	22.41±1.04a	20.96±0.79a	22.40±1.29a

从表 3 大豆植株中铝浓度可以看出,大豆植株根部铝浓度明显高于地上部铝浓度,差异达 5～6 倍;在低磷有铝毒处理时,各大豆品种的铝浓度明显高于低磷无铝毒及高磷有铝毒处理时的铝浓度。这充分说明了植物能通过抑制铝从根部向地上部的运输而达到降低铝毒害的作用,且营养液中的高磷浓度能起到部分缓解铝毒的作用。另外,在各处理条件下地上部铝浓度品种间没有显著差异;而根部铝浓度品种间存在显著差异。低磷铝毒胁迫下象阳

春、乐昌及62号根部铝浓度与其它品种存在显著差异。

表3 大豆植株中铝浓度(mg/g,DW)

Table 3 Aluminum concentration in plant of soybean

	处理 Treat.	保黑色豆 Baoheise	乐昌 Lechang	象阳春 Xiangyangchun	62号 No.62	广州大粒 Guangzhou
地上部 Shoot	P_1Al_0	0.21±0.02a	0.25±0.02a	0.20±0.03a	0.24±0.02a	0.24±0.03a
	P_1Al_1	0.62±0.09a	0.68±0.06a	0.71±0.11a	0.76±0.08a	0.73±0.11a
	P_2Al_1	0.85±0.13a	0.88±0.10a	0.59±0.10a	0.80±0.12a	0.68±0.05a
	P_3Al_1	0.41±0.06a	0.32±0.03a	0.25±0.08a	0.42±0.03a	0.27±0.01a
根部 Root	P_1Al_0	0.23±0.06a	0.41±0.08a	0.31±0.05a	0.37±0.06a	0.36±0.06a
	P_1Al_1	2.90±0.09c	3.87±0.19b	4.59±0.15a	4.37±0.06a	3.65±0.07b
	P_2Al_1	3.01±0.23ab	3.43±0.11a	3.38±0.10a	2.80±0.12b	3.20±0.21ab
	P_3Al_1	0.66±0.11bc	0.51±0.03c	0.85±0.08ab	0.93±0.10ab	1.00±0.15a

2.3 大豆叶片时绿素含量及根部总酸分泌量

在不同磷处理水平下,各大豆基因型叶片叶绿素含量之间仅低磷无铝毒处理与其它处理之间存在差异。乐昌、62号和广州大粒在低磷无铝毒处理下的叶绿素含量相对高于保黑色豆和象阳春的叶绿素含量(表4)。

作物在缺磷时会大量分泌出一些物质,其中酸类物质对活化土壤中的难溶磷有特殊功效。表4看出,在磷胁迫条件下大豆的总酸分泌量较正常供磷条件下显著增加,并达到显著差异;低磷铝毒胁迫下差异更显著。低磷胁迫下62号和广州大粒分泌的总酸量较多,与其

表4 大豆叶绿素含量和总酸分泌量

Table 4 Chlorophyll contents and total acid exudation of soybean

处理 Treat.	保黑色豆 Baoheise	乐昌 Lechang	象阳春 Xiangyangchun	62号 No.62	广州大粒 Guangzhou
		叶绿素含量 Chlorophyll content (mg/g,FW)			
P_1Al_0	1.60±0.17a	2.18±0.29a	1.73±0.20a	1.99±0.44a	1.86±0.17a
P_2Al_0	1.95±0.34ab	2.82±0.36a	1.61±0.10b	2.62±0.42a	2.26±0.19ab
P_3Al_0	3.39±0.17a	3.16±0.21a	3.77±0.16a	4.29±1.19a	3.16±0.14a
P_1Al_1	2.92±0.25a	3.07±0.13a	3.21±0.14a	3.48±0.25a	3.22±0.06a
P_2Al_1	2.91±0.23b	3.57±0.39b	3.68±0.20b	6.15±1.48a	2.96±0.07b
P_3Al_1	3.26±0.33b	3.10±0.13b	6.74±1.07a	3.75±0.10b	3.29±0.03b
		总酸分泌量 Total acid exudation ($\mu mol \cdot g_{DW}^{-1} \cdot 8h^{-1}$)			
P_1Al_0	95.40±6.8ab	74.18±9.7b	94.57±9.1ab	94.51±8.1ab	114.99±11.8a
P_2Al_0	64.25±3.1ab	56.05±1.4b	60.13±5.2ab	72.49±3.1a	66.69±8.1ab
P_3Al_0	67.20±6.5a	57.85±9.3a	47.58±3.1a	77.12±7.6a	63.76±15.8a
P_1Al_1	148.87±18.5a	131.73±5.1a	176.75±20.8a	153.02±11.4a	140.24±17.3a
P_2Al_1	100.57±3.3b	103.65±6.7b	164.38±26.0a	141.01±7.4ab	114.95±14.7b
P_3Al_1	58.07±8.6a	58.80±7.8a	46.65±6.6a	52.11±6.0a	55.75±6.1a

他品种间差异达到显著水平。而在低磷铝毒胁迫条件下象阳春总酸分泌量最高,乐昌和广州大粒却较低。

3 讨论

大豆植株生长状况明显受到营养液中磷、铝含量的影响,缺磷主要影响大豆地上部的生长,而铝毒主要影响大豆根部生长。这主要是因为缺磷可以刺激根的生长,而铝毒则毒害根的生长点,抑制根的生长。大豆品种间的确存在磷效率和耐铝毒方面的差异。

Mugwira 研究结果表明,增加营养液中磷的浓度可大大减轻铝的毒害[10]。本试验结果以及方差分析结果也证明,磷、铝之间存在着明显的互作关系,随着磷在营养液中的浓度的增加,铝对大豆的毒害作用大大减轻,这在整株生物量、整株吸磷量以及植株中铝浓度上都有所表现。高磷可缓解铝的毒害作用,一种原因可能是在营养液中一部分磷与铝结合生成磷酸铝盐沉淀,降低了介质中铝的浓度,从而减轻了铝的毒害作用;另一种可能则是由于在大豆植株内部铝与磷形成沉淀,降低了铝的毒害。

华南酸性红壤上既缺磷又伴随着铝毒,生长在这种土壤上的大豆经过长期的自然选择和进化后,具有了耐低磷和耐铝毒的症状。但由于人工选择的作用,一部分大豆种质在具有高产耐肥性状的同时,它们本来具有的耐低磷与耐铝毒的性状也随之丢失了,而一些没有经过高肥力土壤选择的大豆种质还保留了这些特性。本试验条件下耐低磷的大豆品种相对也较耐铝毒,因此耐低磷与耐铝毒之间可能有较密切的互作关系。起源于酸性缺磷红壤上的一些大豆种质可能具有耐低磷和耐铝毒的协同抗逆性。

本研究初步确定了大豆耐低磷与耐酸铝之间的相互关系,但由于耐低磷与耐铝毒都是由多基因控制的数量性状,因此仅依据表型选择还不能最终确定它们之间的关系。分子标记辅助选择(MAS)技术的应用可以避开一些复杂环境因素的干扰,可为这些性状的遗传改良提供依据。目前我们正应用分子标记技术对上述一些指标进行分子图谱连锁分析,试图从分子水平上找到它们之间的实质性关系。

参 考 文 献:

[1] 孟赐福,傅庆林. 施石灰石粉后红壤化学性质的变化[J]. 土壤学报,1995,32(3):300-307.

[2] Smith S N. Response of inbred lines and crosses in maize to variations of N and P supplied as nutrients[J]. J.Amer.Soc.Agron.,1935,26:785-804.

[3] Yan X, Lynch J P and Beebe S E. Phosphorus efficiency in common bean genotypes in contrasting soil types. Ⅰ. Vegetative response[J]. Crop Science, 1995,35:1086-1093.

[4] Yan X, Beebe S E and Lynch J P. Phosphorus efficiency in common bean genotypes in contrasting soil types. Ⅱ. Vegetative response[J]. Crop Science, 1995,35:1094-1099.

[5] Foy C D, Duke J A, Devine T E. Tolerance of soybean germplasm to an acid tatum subsoil[J]. J. of Plant Nutr., 1992, 15(5):527-547.

[6] Sartain H P and Kamprath E P. Aluminum tolerance of soybean cultivars based on root elongation in solution culture compared with growth in acid soil[J]. Agron.J., 1978,70:1-20.

[7] Bahia Filho A F C, Magnavaca R and Schaffert R E. Identification, utilization, and economic impact of maize germplasm tolerant to low levels of phophorus and toxic levels of exchangeable aluminum in Brazilian soils[A]. Plant-Soil Interactions at Low pH:Sustainable Agriculture and Forestry Production[C]. 1997.59-70.

[8] 何斌,梁机．铬天青S-溴化十六烷基三甲铵-乙醇高灵敏分光光度法测定植物和土壤水中铝[J]．广西农业大学学报,1996,15(2):151-155.

[9] 张宪政．作物生理研究法[M]．北京:农业出版社,1992.145-150..

[10] Mugwira L M and Haque I. Screening forage and browse legumes germplasm to nutrient stresses. Ⅲ. Tolerance of sesbania to aluminum and low phosphorus in soils and nutrient solution[J]. J. of Plant Nutr., 1993,16(1):51-66.

Tolerance indices for P deficiency and Al toxicity and their interactions in soybean

WAN Yan-hui, NIAN Hai, YAN Xiao-long

(*Lab. of Plant Nutritional Genetics, South China Agr. Univ., Guangzhou 510642, China*)

Abstract: Some tolerance indices for P deficiency and Al toxicity in five soybean genotypes collected from South China were studied in nutrient solution culture. The results indicated that genetic variation existed within the tested soybeans in P efficiency and Al tolerance. Soybean varieties No.62, Le Chang and Guangzhou had relatively high P efficiency and Al tolerance. Under low P and Al toxicity conditions, they were relatively higher in biomass, P content, leaf area, chlorophyll content, total acid exudation and tap root length. Low P and Al toxicity affected shoot P uptake, and increased concentration P in nutrient solution could significantly ameliorate Al toxicity in soybean. There was no significant variation in Al concentration in the shoot, but under Al toxicity stress, the Al concentration in the root was five or six times as that in the shoot, with significant differences among genotypes. Our results indicate a possible relationship between P efficiency and Al tolerance in soybean, but this relationship should be further verified by linkage analysis with the molecular marker technique.

Key words: soybean; P deficiency; Al toxicity; P-Al interactions