

# 河北大豆地方品种耐低磷种质筛选

王 英,李喜焕,张彩英

(河北省作物种质资源重点实验室,河北农业大学,河北 保定 071001)

**摘 要:**对 97 份河北省大豆地方品种在 2 个磷梯度下的苗期耐低磷特性分析表明,植株总生物量、地下部生物量、地上部生物量、地下部磷含量、地上部磷含量、总磷含量和根冠比 7 个指标的相对值存在较大的基因型差异。经相关分析和逐步回归分析发现,相对总生物量和总磷含量与其它指标间存在显著相关关系,二者比值(植株磷效率)可作为磷胁迫下耐低磷大豆品种的筛选指标。以相对植株磷效率为指标进行聚类分析,将材料分为耐低磷、中间类型和不耐低磷 3 类,并筛选出“皮狐狸”和“本地黑”2 个高耐低磷大豆品种。

**关键词:**大豆;品种资源;耐低磷;种质筛选

**中图分类号:**S565.1      **文献标识码:**A      **文章编号:**1000-9841(2009)03-0588-07

## Screening of Low-P Tolerant Soybean Landraces from Hebei Growing-areas

WANG Ying,LI Xi-huan,ZHANG Cai-ying

(Key Laboratory of Crop Germplasm Resources of Hebei,Agricultural University of Hebei Province,Baoding 071001,Hebei,China)

**Abstract:**In China,soil area with phosphorus lack has reached 151.3 thousand ha,and more than 75% of soil in Hebei growing-areas is short of phosphorus. Soybean needs high phosphorus contents,especially,in seedling stage. Excessive usage of phosphate fertilizer,will aggravate shortage of P resources,destroy entironment and block the sustainable agriculture development. Landraces with better gene which can be used by people are provided with adaptability and diversity. Ninety-seven soybean landraces from Hebei growing-areas were identified for low-P tolerant characters at seedling stage with two phosphorous levels-in both suited P( $0.001\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) and Low P( $0\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) fertilizer levels. Screening the Low-P tolerant soybean landraces which adapt to Hebei growing-areas will provide the germplasm and theorical basis to breeding new Low-P tolerant soybean variety by cross-breeding and bio-techniques. Relative values were investigated about total biomass,biomass of roots,biomass of shoots,P contents of roots,P contents of shoots,P contents of whole plant and root-shoot ratio. The results showed that significant difference existed in relative values of the seven traits of 97 soybean landraces. The result of correlation analysis showed that relative value of total biomass and relative value of P contents of whole plant were significantly related to the others except root-shoot ratio. Moreover,the optimum regression equation was  $Y = 2.257 + 2.732X_1 - 1.737X_6 - 3.556 X_7$  ( $F = 24.78^{**}$ ,  $R = 0.645$ ) by stepwise regression analysis,and partial correlation analysis indicated that relative value of total biomass and relative value of total P contents were significantly related. The ratio of the two relative values,i.e. the index of plant phosphorus efficiency,was suggested as reliable screening character to low-phosphorus stress. Furthermore,Relative value of plant phosphorus efficiency ratio (PPER) of soybean genotypes was significant and plant phosphorus efficiency ratio under low P levels are higher than them under suited P levels. All 97 entries could be classified into three groups based on the PPER and two better low-P tolerant soybean varieties,Pihuli and Bendihei,were selected.

**Key words:**Soybean;Germplasm resoures;Low-P tolerance;Germplasm screening

磷是植物生长发育必需营养元素之一,植物所需磷素主要来源于土壤。土壤中的磷主要以磷酸铝、磷酸钙、磷酸铁等化合物形式存在<sup>[1-2]</sup>,不但移动性差,且较易被固定<sup>[3]</sup>,因而造成土壤有效磷含

收稿日期:2009-03-14

基金项目:河北省自然科学基金资助项目(C2007000474);河北农业大学博士(博士后)、回国人员科研资助项目;转基因生物新品种培育重大专项课题(2009ZX08004-004B)。

作者简介:王英(1982-),女,硕士研究生,研究方向为大豆遗传育种研究。E-mail:wangyingqq2005@163.com。

通讯作者:张彩英,研究员。E-mail:cyzhang\_60@hotmail.com。

量较低,很难满足植物生长发育需要。全世界约有43%的土壤存在不同程度的缺磷问题<sup>[4]</sup>,我国缺磷土壤面积也达到了15.13万hm<sup>2</sup>,其中河北省的缺磷土壤面积达到75%以上(中国科学院南京土壤研究所, [http://www. soil. csdb. cn/soilkepu/default. htm](http://www.soil.csdb.cn/soilkepu/default.htm))。同时,磷矿不可再生,全球磷矿趋于耗尽,我国更是磷矿资源匮乏。

大豆对土壤磷含量要求较高,苗期是大豆需磷敏感期<sup>[5-7]</sup>,缺磷造成大豆减产<sup>[8]</sup>。通过大量施用磷肥来满足大豆正常生长发育所需,这不仅造成磷矿资源危机、破坏生态环境,而且不利于农业可持续发展<sup>[9]</sup>。因此,筛选和利用耐低磷大豆品种对于节约农资成本,保护环境,提高产量具有重要意义。

地方品种未经过现代农业措施的选择,具有特

殊的地域适应性和丰富的遗传多样性,带有许多可以利用的优良基因<sup>[10]</sup>。目前,耐低磷大豆品种的研究在我国其它省份有一些报道<sup>[6,11-16]</sup>,但是针对河北省地方品种的耐低磷种质筛选研究还未见报道。在确立大豆耐低磷基因型筛选指标基础上,对供试97份大豆地方品种的苗期耐低磷性进行分析,鉴定各品种的耐低磷性,并遴选出适应河北省土壤条件的耐低磷大豆种质材料,为以杂交育种和生物技术手段培育耐低磷大豆品种提供物质基础和理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

采用97份河北省大豆地方品种为试材,由河北省作物种质资源库提供(表1)。

表1 供试大豆品种名称及来源

Table 1 The soybean landrace tested in the experiment								
编号 No.	品种名称 Name	来源地 Original	编号 No.	品种名称 Name	来源地 Original	编号 No.	品种名称 Name	来源地 Original
1	铁荚黄 Tiejiahuang	承德 Chengde	34	小黄豆 Xiaohuangdou	沧州 Cangzhou	67	8012混-18012hun-1	沧州 Cangzhou
2	铁荚黄 Tiejiahuang	承德 Chengde	35	石嘴子大黄豆 Shizuiqidahuangdou	张家口 Zhangjiakou	68	小红豆 Xiaohuangdou	石家庄 Shijiazhuang
3	大屯大黄豆 Datundahuangdou	保定 Baoding	36	赤城绿黄豆 Chichenglvhuangdou	张家口 Zhangjiakou	69	大茶豆 Dachadou	沧州 Cangzhou
4	旺村大黄豆 Wangcundahuangdou	廊坊 Langfang	37	牛李村大青豆 Niulicundaqingdou	唐山 Tangshan	70	牛毛黄 Niumaohuang	邯郸 Handan
5	青豆 Qingdou	衡水 Hengshui	38	北高晃黑豆 Biegaohuangheidou	保定 Baoding	71	岳庄大豆 Yuezhuangladou	邯郸 Handan
6	7537-2	张家口 Zhangjiakou	39	梁村大黑豆 Liangcundaheidou	沧州 Cangzhou	72	早春二号 Zaochun2	邯郸 Handan
7	黑豆 Heidou	保定 Baoding	40	西大小黑豆 Xidaxiaoheidou	张家口 Zhangjiakou	73	青豆 Qingdou	石家庄 Shijiazhuang
8	大黑豆 Daheidou	保定 Baoding	41	鹤峪口黑豆 Heyukouheidou	张家口 Zhangjiakou	74	黑豆 Heidou	衡水 Hengshui
9	黑豆 Heidou	保定 Baoding	42	不串蔓黑豆 Buchuanmanheidou	衡水 Hengshui	75	白露忙 Bailumang	沧州 Cangzhou
10	短杆黑豆 Duanganheidou	保定 Baoding	43	小红皮 Xiaohongpi	张家口 Zhangjiakou	76	快黑豆 Kuaiheidou	沧州 Cangzhou
11	绕秧黑豆 Raoyangheidou	邯郸 Handan	44	尚谷抹石豆 Shanggumoshidou	承德 Chengde	77	麻豆 Madou	衡水 Hengshui
12	黑豆 Heidou	邯郸 Handan	45	样田猫眼豆 Yangtianmaoyandou	张家口 Zhangjiakou	78	阜平大黑豆 Fupingdaheidou	保定 Baoding
13	小黑豆 Xiaoheidou	邯郸 Handan	46	一窝蜂 Yiwofeng	邯郸 Handan	79	7634-1	张家口 Zhangjiakou
14	绕秧黑豆 Raoyangheidou	邯郸 Handan	47	二大粒黄豆 Erdalihuangdou	邯郸 Handan	80	赶乱子 Ganluanzi	沧州 Cangzhou

续表 1

编号 No.	品种名称 Name	来源地 Original	编号 No.	品种名称 Name	来源地 Original	编号 No.	品种名称 Name	来源地 Original
15	铁黑豆 Tieheidou	邯郸	48	黄豆 Huangdou	邯郸	81	黄豆 Huangdou	沧州
16	绕秧黑豆 Raoyingheidou	邯郸	49	麻黄豆 Mahuangdou	邯郸	82	红滚石 Xiaogunshi	石家庄
17	小黄葵 Xiaohuangjia	沧州	50	皮狐狸黄豆 Pihulihuangdou	沧州	83	本地黑豆 Bendiheidou	沧州
18	密角白花齐 Mijiaobaihuaqi	邯郸	51	夏黄豆 Xiahuangdou	沧州	84	白露忙 Bailumang	沧州
19	小黑豆 Xiaoheidou	邢台	52	小黄豆 Xiaohuangdou	沧州	85	黑豆 Heidou	邯郸
20	李村灰葵 Licunhuiying	沧州	53	小黄豆 Xiaohuangdou	沧州	86	平顶黄 Pingdinghuang	沧州
21	早熟豆 Zaoshudou	邯郸	54	李村灰葵 Licunhuiying	沧州	87	排花棵 Paihuake	邯郸
22	大黄豆 Dahuangdou	邯郸	55	满场滚 Manchanggun	沧州	88	平顶黄 Pingdinghuang	沧州
23	黑豆 Heidou	保定	56	白黑豆 Baiheidou	沧州	89	黄豆 Huangdou	保定
24	杜梨子豆 Dulizidou	邯郸	57	燕石 Yanshi	石家庄	90	大猫眼黑豆 Damaoyanheidou	唐山
25	殿子小黑豆 Dianzixiaoheidou	沧州	58	大青豆 Daqingdou	沧州	91	沧州大青豆 Cangzhoudaqingdou	沧州
26	大红豆 Dahongdou	沧州	59	橄榄大豆 Ganlandadou	沧州	92	早黄一号 Zaohuangyihao	邯郸
27	沧县黑豆 Cangxianheidou	沧州	60	绿皮青豆 Lvpiqingdou	张家口	93	大红豆 Dahongdou	保定
28	青豆 Qingdou	石家庄	61	大黑豆 Daheidou	石家庄	94	小黑豆 Xiaoheidou	邢台
29	黑豆 Heidou	沧州	62	小黑豆 Xiaoheidou	衡水	95	黑豆 Heidou	邯郸
30	花里虎 Hualihu	沧州	63	肃宁小黑豆 Suningxiaoheidou	沧州	96	天鹅蛋 Tian,edan	张家口
31	青皮豆 Qingpidou	沧州	64	平顶黄 Pingdinghuang	沧州	97	红黑豆 Hongheidou	沧州
32	小扁黄豆 Xiaobianhuangdou	石家庄	65	孟村黑豆 Mengcunheidou	沧州			
33	大黄豆 Dahuangdou	沧州	66	黑徐黑豆 Heixuheidou	沧州			

1.2 试验方法

1.2.1 幼苗培育及处理 挑选饱满、整齐一致的大豆种子用去离子水清洗干净,25℃催芽,待露出胚根3 mm 左右后,移至装有蛭石的塑料盆中,大豆生长所需营养由 Hoagland 营养液 (pH = 5.8 ~ 6.0) 提供。设适磷(0.001 mol·L<sup>-1</sup>) 和低磷(0 mol·L<sup>-1</sup>) 2 个处理,3 次重复。低磷处理中 K 的缺乏另由 KCl

补足,生长期间每 5 d 浇一次营养液,35 d 后收获。  
1.2.2 性状测定及分析 收获植株地上部和地下部,于 105℃ 杀青 30 min,80℃ 下烘干至恒重,测定各部分干重和磷含量,其中磷含量测定采用钒钼黄比色法<sup>[17]</sup>。依据所测定指标,分别计算出植株总生物量、地上生物量、地下生物量、地上磷含量、地下磷含量、总磷含量、根冠比、植株磷效率 (PPER) 各指

标的相对值( $0\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}/0.001\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ),其中植株磷效率(PPER) = 总生物量/总磷含量。

1.3 数据分析

通过多元线性逐步回归分析建立最优回归方程,用 SPSS(10.0)软件对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 品种间部分性状耐低磷系数的差异分析

通过分析 2 个磷梯度下不同性状,发现低磷处理条件下大豆地上部生物量,地下部生物量,植株总生物量,地上部磷含量,地下部磷含量和植株

磷含量均低于适磷处理。与地下部生物量和地下部磷含量相比,地上部生物量和地上部磷含量对总生物量和总磷含量的贡献率最高。除根冠比外,各项指标的相对值品种间差异均达到极显著水平(表 2)。

2.2 大豆部分性状的相关分析

对各性状进行相关分析发现,总生物量与地下生物量、地上生物量、地下磷含量、地上磷含量和总磷含量呈极显著正相关;植株总磷含量与总生物量、地上生物量、地下生物量、地上磷含量、地下磷含量呈极显著正相关。

表 2 品种间部分性状耐低磷系数( -P/ +P)的方差分析  
Table 2 Variance analysis of some character for tolerance to low phosphorus in soybean Landraces

性 状	总生物量	根冠比	地下部生物量	地上部生物量	地下部磷含量	地上部磷含量	总磷含量
Character	RVTB	RVRS	RVBR	RVBS	RVPR	RVPS	RVTP
P-value	1.49667E-19**	0.0861	5.26E-9**	0.0030**	3.4E-6**	6.67E-14**	7.28E-14**

\*表示 5% 显著水平; \*\*表示 1% 显著水平 \*, \*\* indicate significant at 5% and 1% level, respectively.  
RVTB = Relative value of total biomass, RVRS = Relative value of root-shoot ratio, RVBR = Relative value of biomass of roots, RVBS = Relative value of biomass of shoots, RVPR = Relative value of P contents of roots, RVPS = Relative value of P contents of shoots, RVTP = Relative value of total content, RVPPER = Relative value of plant phosphorus efficiency ratio.

另外,根冠比与地下生物量、地上生物量和地下磷含量呈极显著正相关;地下部生物量与地上部生物量、地下部磷含量极显著正相关,与总磷含量呈显

著相关;地上部生物量与地上部磷含量和总磷含量呈极显著正相关;地下磷含量与总磷含量呈极显著正相关。

表 3 大豆地方品种部分性状耐低磷系数( -P/ +P)的相关性分析  
Table 3 Correlation analysis of coefficient for tolerance to low phosphorus in soybean Landraces( -P/ +P)

性状	总生物量	根冠比	地下部生物量	地上部生物量	地下部磷含量	地上部磷含量	总磷含量
Character	RVTB	RVRS	RVBR	RVBS	RVPR	RVPS	RVTP
总生物量 RVTB	1						
根冠比 RVRS	-0.11	1					
地下生物量 RVBR	0.67**	0.57**	1				
地上生物量 RVBS	0.93**	0.33**	0.44**	1			
地下磷含量 RVPR	0.28**	0.30**	0.45**	0.16	1		
地上磷含量 RVPS	0.29**	-0.16	-0.06	0.37**	-0.05	1	
总磷含量 RVTP	0.50**	-0.14	0.22*	0.50**	0.46**	0.75**	1

2.3 相对植株磷效率与大豆部分性状间的逐步回归分析与偏相关分析

通过多元线性逐步回归分析法对相对植株磷效率(Y)与总生物量相对值( $X_1$ )、根冠比( $X_2$ )、地下部生物量相对值( $X_3$ )、地上部生物量相对值( $X_4$ )、地下磷含量相对值( $X_5$ )、地上磷含量相对值( $X_6$ )、总磷含量相对值( $X_7$ )各项指标进行分析,建立最优回归方程为:

$Y=2.257+2.732X_1-1.737X_6-3.556X_7$  ( $F=24.78^{**}, R=0.645$ )。另外,从表 4 可看出,总生物量、地上部磷含量和总磷含量与相对植株磷效率的偏相关结果也达到极显著水平。因此以相对植株磷效率作为筛选指标,既可综合体现总生物量和总磷含量这两个指标,又可满足生产需要。

表4 总生物量和总磷含量与植株磷效率比值的偏相关分析  
Table 4 Partial correlation analysis of TB,PT and PPT of soybean

$r(Y,X_1)$			$r(Y,X_6)$			$r(Y,X_7)$		
偏相关系数			偏相关系数			偏相关系数		
Partial correlation	$t$ -test	$P$	Partial correlation	$t$ -test	$P$	Partial correlation	$t$ -test	$P$
coefficient			coefficient			coefficient		
0.5178	5.8685**	<0.01	-0.2653	2.6533**	<0.01	-0.6044	7.3545**	<0.01

2.4 品种间相对植株磷效率的差异分析

分析各品种的相对植株磷效率,发现不同品种间差异达极显著水平,其中皮狐狸黄豆的相对磷效率最高,为3.83;而白露忙最低为1.11,二者差3.45倍(表5)。另外,分析还发现所有供试大豆品种在低磷处理下的磷效率均明显高于适磷处理值,说明低磷条件下,大豆品种可以利用体内较低的磷产生较多生物量,是磷利用效率的体现,同时也是生物对逆境的一种适应。

表5 不同磷水平下大豆品种植株磷效率差异  
Table 5 Plant phosphorus efficiency ratio of soybean genotypes under different P levels

植株磷效率 PPER				植株磷效率 PPER				植株磷效率 PPER			
编号				编号				编号			
No.	- p	+ p	- p/ + p	No.	- p	+ p	- p/ + p	No.	- p	+ p	- p/ + p
1	8.28	4.54	1.82	34	6.62	3.22	2.06	67	6.09	4.16	1.46
2	10.11	3.98	2.54	35	5.06	3.31	1.53	68	7.30	2.79	2.62
3	7.67	4.54	1.69	36	7.04	3.70	1.90	69	5.42	2.89	1.88
4	8.25	4.16	1.98	37	9.03	3.73	2.42	70	7.55	3.63	2.08
5	9.70	5.05	1.92	38	9.01	4.73	1.91	71	10.58	3.21	3.29
6	9.08	4.53	2.01	39	5.55	4.00	1.39	72	10.61	3.34	3.18
7	6.85	4.47	1.53	40	8.85	3.63	2.44	73	9.52	3.74	2.55
8	8.12	4.35	1.87	41	7.40	3.28	2.26	74	6.42	3.49	1.84
9	9.49	5.77	1.64	42	6.21	3.77	1.65	75	7.41	4.19	1.77
10	9.21	4.20	2.19	43	6.42	4.42	1.45	76	7.82	3.72	2.10
11	10.73	3.83	2.81	44	5.42	3.49	1.55	77	6.91	4.05	1.71
12	9.53	4.09	2.33	45	5.37	3.48	1.54	78	8.36	4.01	2.08
13	9.29	4.71	1.97	46	8.22	3.63	2.26	79	7.88	4.18	1.88
14	10.32	4.78	2.16	47	6.99	3.74	1.87	80	6.45	3.14	2.05
15	7.53	4.24	1.78	48	9.04	3.74	2.42	81	6.81	4.40	1.55
16	9.41	4.46	2.11	49	10.01	4.49	2.23	82	6.34	3.80	1.67
17	11.20	4.26	2.63	50	12.02	3.14	3.83	83	12.33	3.25	3.79
18	9.38	4.69	2.00	51	8.50	3.83	2.22	84	4.25	3.81	1.11
19	7.72	4.47	1.73	52	11.89	4.30	2.77	85	7.07	2.97	2.38
20	8.78	4.69	1.87	53	6.86	3.53	1.95	86	9.77	3.32	2.94
21	7.93	4.05	1.96	54	9.56	3.47	2.76	87	7.51	3.45	2.17
22	9.85	4.27	2.31	55	8.94	4.18	2.14	88	6.69	4.14	1.61
23	10.25	4.20	2.44	56	7.05	3.82	1.84	89	6.77	3.56	1.90
24	10.13	4.26	2.38	57	9.41	3.14	3.00	90	11.05	3.44	3.21
25	8.16	4.52	1.81	58	6.30	2.91	2.17	91	6.65	4.12	1.61
26	9.30	4.01	2.32	59	8.51	3.60	2.36	92	8.45	3.36	2.51
27	8.49	4.80	1.77	60	8.63	3.47	2.49	93	7.46	3.41	2.19
28	10.50	4.97	2.11	61	5.07	3.21	1.58	94	8.51	3.78	2.25
29	9.26	4.50	2.06	62	6.28	4.24	1.48	95	9.06	4.59	1.98
30	7.56	4.74	1.60	63	5.38	3.90	1.38	96	8.46	3.51	2.41
31	10.11	4.17	2.42	64	9.02	3.20	2.82	97	11.22	4.32	2.60
32	10.74	3.89	2.76	65	8.54	3.95	2.16				
33	8.68	4.85	1.79	66	5.54	3.07	1.80				

PPER:Plant phosphorus efficiency ratio.

2.5 品种耐低磷鉴定及高耐低磷型品种的遴选

根据供试大豆品种相对磷效率可将品种分成 3 类(图 1)。第Ⅰ类属于耐低磷型品种,包括皮狐狸黄豆、本地黑豆、岳庄大豆、大猫眼黑豆、早春二号、燕石、平顶黄、平顶黄、绕秧黑豆、小黄豆、小扁黄豆、李村灰英,这类材料可以最低的磷浓度维持植株正常生长发育,产生相对较高生物量,且以“皮狐狸黄豆”和“本地黑豆”2 个品种表现最好;第Ⅱ类包含

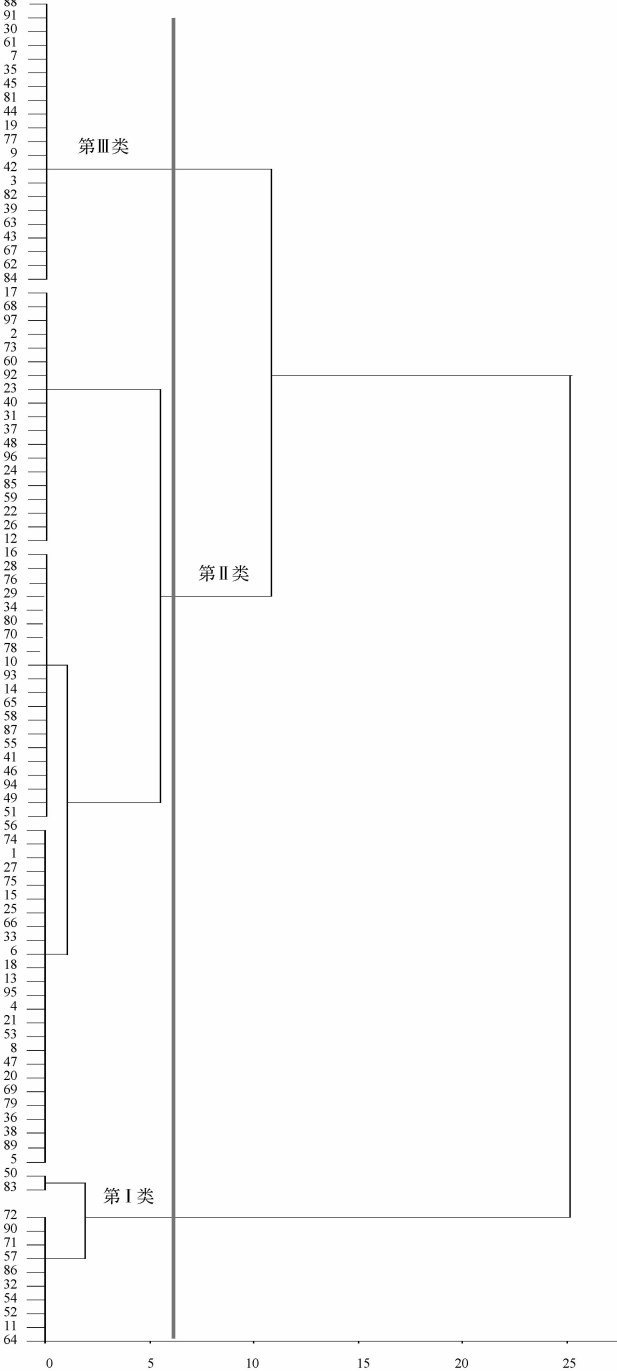


图 1 供试大豆地方品种基于相对磷效率比值的聚类分析图  
Fig.1 Dendrogram of 97 soybean landraces based on RVPPER

64 个品种,为中间类型;第Ⅲ类属于非耐低磷类型,包括白露忙,肃宁小黑豆,梁村大黑豆,小红皮,二大粒黄豆等共 21 个品种,这类品种在低磷条件下,单位磷含量所产生的生物量相对较低,缺磷严重影响了其植株正常生长发育。

3 讨论

大豆在整个生育期都要求有较高磷营养水平,特别是在幼苗期,虽然植株对磷素吸收量较少,但却是大豆的需磷敏感期。幼苗期缺磷,不仅会抑制植株营养器官的生长和分枝的形成,而且影响花芽的分化,即使生育后期供给充足的磷,也难以消除缺磷的影响<sup>[7]</sup>。相反,大豆植株在开花前若能获得足够磷素,即使在生育后期磷素供应减少或缺乏,亦不能导致其显著减产。究其原因,就在于后期豆荚中的磷,主要是依靠植株营养器官中磷的转运来满足需要,并且以土壤缺磷条件下的这种转移尤为重要。因而,本研究将大豆苗期作为耐低磷筛选的关键时期,这不仅可以快速、准确的进行品种鉴定和筛选,而且可以明显地减少生育后期大田筛选的工作量和成本。

目前,国内、外关于大豆耐低磷基因型筛选的具体指标尚无定论<sup>[6,16,18-19]</sup>。通过对不同大豆品种的 7 个指标相对值进行分析,发现苗期各指标均能在植株总生物量和总磷含量两个指标中得到全面反映。

逐步回归分析方法是针对多个自变量建立最优回归方程的一种统计方法;偏相关分析能够排除其他变量的影响,真实地反映两个变量间的关系<sup>[20]</sup>。通过建立植株磷效率与其它指标间的最优回归方程,发现总生物重、总磷含量对相对植株磷效率的影响最大,其中总生物重与相对植株磷效率呈极显著正偏相关,总磷含量与相对植株磷效率呈极显著负偏相关。因此,选用相对植株磷效率作为筛选指标,能够综合考虑生物量和磷含量这 2 个指标。

植物磷效率(苗期用生物量来衡量)包括吸收效率,转运效率和利用效率。从农业生产角度考虑,吸磷较多、磷代谢效率高的类型和吸磷不多而磷代谢效率高的类型是最理想的基因型<sup>[21]</sup>。前者要求较好的营养条件而后者适合种植在低磷土壤条件下,既经济又环保。研究中利用的“相对植株磷效率”实际上反映了介质中养分有效浓度较低时,植物维持正常生长的能力。该指标不仅能够将作物干重和磷含量较好地结合,是二者的综合表现,同时亦能够符合农业生产上低投入高产出的目标。

参考文献

[1] Narang R A, Bruene A, Altmann T. Analysis of phosphate acquisition efficiency in different Arabidopsis accessions[J]. Plant Physiology, 2000, 124: 1786-1799.

[2] 郭延平, 陈屏昭, 张良诚, 等. 缺磷胁迫加重柑橘叶片光合作用的光抑制及叶黄素循环的作用[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 359-363. (Guo Y P, Chen P Z, Zhang L C, et al. Phosphorus deficiency stress aggravate photoinhibition of photosynthesis and function of xanthophylls cycle in citrus leaves[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(3): 359-363.)

[3] 李海波, 夏铭, 吴平. 低磷胁迫对水稻苗期侧根生长及养分吸收的影响[J]. 植物学报, 2001, 43(11): 1154-1160. (Li H B, Xia M, Wu P. Effect of phosphorus deficiency stress on rice lateral root growth and nutrient absorption[J]. Acta Botanica Sinica, 2001, 43(11): 1154-1160.)

[4] 刘建中, 李振声, 李继云. 利用植物自身潜力提高土壤中磷的生物有效性[J]. 生态农业研究, 1994, 2(1): 16-23. (Liu J Z, Li Z S, Li J Y. Utilization of plant potentialities to enhance the bio-efficiency of phosphorus in soil[J]. Eco-Agriculture Research, 1994, 2(1): 16-23.)

[5] 丁玉川, 陈明昌, 程滨, 等. 磷营养对不同大豆品种生长和磷吸收利用效率的影响[J]. 华北农学报, 2006, 21(1): 121-124. (Ding Y C, Chen M C, Cheng B, et al. Effect of phosphorus on plant growth and phosphorus uptake and use efficiency in different soybean cultivar[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2006, 21(1): 121-124.)

[6] 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): 404-412. (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): 404-412.)

[7] 王立刚, 刘克礼, 高聚林, 等. 大豆对磷素吸收规律的研究[J]. 大豆科学, 2007, 26(1): 30-35. (Wang L G, Liu K L, Gao J L, et al. Study on the law of phosphorus absorption in soybean[J]. Soybean Science, 2007, 26(1): 30-35.)

[8] 王建国, 李兆林, 李文斌, 等. 磷肥与大豆产量及品质的关系[J]. 农业系统科学与综合研究, 2006, 22(1): 55-57. (Wang J G, Li Z L, Li W B, et al. Application of phosphorus in relation to soybean yield and quality[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2006, 22(1): 55-57.)

[9] 鲁如坤. 土壤磷素水平和水体环境保护[J]. 磷肥与复肥, 2003, 18(1): 4-7. (Lu R K. The phosphorus level of soil and environmental protection of water body[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2003, 18(1): 4-7.)

[10] 严小龙, 张福锁. 植物营养遗传学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997, 191-192 (Yan X L, Zhang F S. Plant nutritional genetics [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1997, 191-192.)

[11] 童学军, 卢永根, 严小龙. 广东大豆地方种质磷效率特性研究 II. 不同大豆基因型冠部、根部磷效率特性差异及其与植株磷效率特性的关系[J]. 中国油料作物学报, 2000, 22(4): 48-53. (Tong X J, Lu Y G, Yan X L. Studies on the characteristics of phosphorus efficiency of native soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) germplasm II. Differences in characteristics of phosphorus efficiency of shoot and root among soybean genotypes and correlation analysis[J]. Chinese Journal of Oil Crop Science, 2000, 22(4): 48-53.)

[12] 童学军, 严小龙, 李惠珍, 等. 大豆磷效率与形态生理性状的关系[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2000, 16(1): 84-88. (Tong X J, Yan X L, Li H Z, et al. Studies on characteristics of phosphorus efficiency of soybean genotypes and relationship between those and some morphological, physiological traits[J]. Journal of Fujian Teachers University (Natural Science), 2002, 16(1): 84-88.)

[13] 曹敏建, 佟占昌, 韩明祺, 等. 磷高效利用的大豆遗传资源的筛选和评价[J]. 作物杂志, 2001, 4: 22-24. (Cao M J, Dong Z C, Han M Q, et al. Selection and evaluation of soybean strains with high-efficient utilization phosphorus[J]. Crops, 2001, 4: 22-24.)

[14] 徐青萍, 罗超云, 廖红, 等. 大豆不同品种对磷胁迫反应的研究[J]. 大豆科学, 2003, 22(2): 108-114. (Xu Q P, Luo C Y, Liao H, et al. Study on the response of soybean varieties to p deficiency[J]. Soybean Science, 2003, 22(2): 108-114.)

[15] 李志刚, 谢甫锦, 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): 126-12. (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): 126-12.)

[16] 丁玉川, 陈明昌, 程滨, 等. 北方春大豆磷高效基因型的筛选[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 597-600. (Ding Y C, Chen M C, Cheng B, et al. The selection of spring soybean genotypes with high phosphorus efficiency in northern China[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(4): 597-600.)

[17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000, 268-270 (Bao S D. Analysis for soil and agricultural chemistry [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000, 268-270.)

[18] Hedley M J, Kirk G. J D, Santos M B. Phosphorus efficiency and the forms of soil phosphorus utilized by upland cultivars[J]. Plant and Soil, 1994, 158: 53-62.

[19] 吴明才, 肖昌珍, 郑普英. 大豆磷素营养研究[J]. 中国农业科学, 1999, 32(3): 59-65. (Wu M C, Xiao C Z, Zheng P Y. Study on the physiological function of phosphorus to soybean[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1999, 32(3): 59-65.)

[20] 陈俊意, 蔡一林, 徐德林, 等. 不同玉米基因型的磷效率和相对生物性状的差异及其回归模型研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6): 1068-1073. (Cheng J Y, Cai Y L, Xu D L, et al. Maize genotype differences in phosphorus efficiency and relative biological characteristics and regression modeling analysis[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(6): 1068-1073.)

[21] 丁洪, 李生秀. 大豆品种耐低磷和对磷肥效应的遗传差异[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(3): 257-263. (Ding H, Li S X. Genetic difference of response of soybean cultivars to low phosphorus stress and phosphorus fertilizer[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(3): 257-263.)