

## 大豆根区逆境耐性的种质鉴定及其与根系性状的关系

刘莹<sup>1,2</sup> 盖钧镒<sup>1,\*</sup> 吕慧能<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>南京农业大学大豆研究所,国家大豆改良中心,作物遗传与种质创新国家重点实验室,江苏南京210095; <sup>2</sup>河北工程学院,河北邯郸056038)

**摘要:**依根系类型从黄淮海和长江中下游地区301份代表性材料中选取62份,以株高、叶龄、地上部干物重、地下部干物重为指标,采用平均隶属函数值方法鉴定了苗期耐旱性、苗期耐铝毒性,加上主茎节数、分枝数、单株荚数、单株粒数、百粒重等性状鉴定了后期耐旱性,并通过钒钼黄比色法测定植株P含量鉴定了苗期耐低磷性。筛选出1级苗期耐旱材料4份、后期耐旱材料6份、前后期均耐旱材料2份、苗期耐铝毒材料7份、耐低磷材料3份、同时具有铝毒和低磷耐性的材料3份。相关分析表明,耐旱平均隶属函数值与根干重、根总长和根体积的相对值均呈极显著相关;耐铝毒平均隶属函数值与一级侧根数、主根长、总根长、根体积、根干重的相对值均呈极显著相关;未发现与耐低磷相关的根系性状。

**关键词:**大豆;耐旱;耐铝毒;耐低磷;鉴定;耐逆境相关根系性状  
中图分类号: S565

## Identification of Rhizosphere Abiotic Stress Tolerance and Related Root Traits in Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]

LIU Ying<sup>1,2</sup>, GAI Jun-Yi<sup>1,\*</sup>, LÜ Hui-Neng<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Soybean Research Institute, Nanjing Agricultural University/National Center for Soybean Improvement/ National Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement, Nanjing 210095, Jiangsu; <sup>2</sup>Hebei University of Engineering, Handan 056038, Hebei, China)

**Abstract:** Sixty two accessions of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] selected from 301 representative entries from Huang-Huai-Hai and Middle-Lower Yangtze Valleys according to their root performance were used to identify their tolerance to rhizosphere-abiotic stresses, including drought, aluminum toxin and low phosphorus. Tolerance to drought at seedling and reproductive stage was evaluated with mean membership index value averaged over those of plant height, number of leaves on main stem, dry root weight, and dry stem and leaf weight at seedling stage, as well as plant height, number of nodes on main stem, number of branches on main stem, number of pods per plant, number of seeds per plant, 100-seed weight, dry root weight, and dry stem and leaf weight at reproductive stage, respectively. Tolerance to aluminum toxin at seedling stage was evaluated with the same set of root traits as those for tolerance to drought at seedling stage. Tolerance to low phosphorus was evaluated through testing the P content in plants. Accessions with Class 1 abiotic stress tolerance were screened out, including four tolerant to drought at seedling stage, six tolerant to drought at reproductive stage, and among them two tolerant to drought at both stages; seven tolerant to aluminum toxin at seedling stage, three tolerant to low phosphorus, and among them, two tolerant to both stresses at seedling stage. The mean membership index of drought tolerance was correlated with the relative values of total root length, root volume and dry root weight per plant significantly at the 0.01 probability level, respectively; the mean membership index of tolerance to aluminum toxin was correlated with the stressed to unstressed relative values of number of lateral roots, main root length, total root length, root volume and dry root weight; and there was no root trait found to be correlated with tolerance to low phosphorus.

**Key words:** Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]; Drought; Aluminum toxin; Low phosphorus; Tolerance; Identification; Root trait related to stress tolerance

**基金项目:** 国际原子能机构资助项目 No. 303-D2-CPR-10815 (International Atomic Energy Agency Project No. 03-D2-CPR-10815); 农业部 948 项目 No. 201013(A); 国家自然科学基金项目 No. 30490250。

**作者简介:** 刘莹(1966-),女,讲师,在职博士研究生,从事大豆耐逆性的遗传育种研究,现在河北工程学院工作。

\* 通讯作者(Author for correspondence):盖钧镒。Tel: 025-84395405; E-mail: ari@njau.edu.cn

Received(收稿日期):2004-08-30, Accepted(接受日期):2004-10-29.

大豆不仅在干旱区有耐旱性问题,在南方地区也存在耐季节性干旱问题,在酸性土壤则存在铝毒、低磷胁迫问题。有关大豆对上述逆境耐性的研究多侧重在对单一耐性方面<sup>[1-5]</sup>,而对逆境综合耐性的研究甚少。在土壤逆境胁迫条件下,作物最先感受胁迫的器官是根系,通过根系生长和代谢的相应调整以适应逆境胁迫,故而对耐不同逆境材料根系的研究日益引起重视<sup>[6,7]</sup>。本文对大豆在干旱、铝毒、低磷胁迫三方面的耐性作了研究和鉴定,并探讨了不同耐逆性与根系性状之间的关系,以期筛选出综

合耐逆性较好的大豆种质资源,为根系耐逆境育种提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

从关内各生态区选取 301 份材料,于根系形态稳定的结荚鼓粒期大田挖根观察,依根系形态差异,选取代表黄淮海和长江中下游地区的材料 62 份(表 1)。

表 1 耐逆性试验材料

Table 1 Materials used in tests for tolerance to stresses

序号号 Serial No.	材料名称 Material	原产地 或来源 Source	干旱 D	铝毒 A	低磷 P	序号号 Serial No.	材料名称 Material	原产地 或来源 Source	干旱 D	铝毒 A	低磷 P
1	汉中八月黄	陕西 Shaanxi	D	A	P	32	谷城一树猴	湖北 Hubei	D	A	P
2	略阳药黑豆	陕西 Shaanxi	D	A		33	油 91-11	湖北 Hubei	D	A	P
3	宁强老鼠皮	陕西 Shaanxi	D	A		34	中豆 19	湖北 Hubei	D		
4	镇巴小白黄豆	陕西 Shaanxi	D			35	中豆 8 号	湖北 Hubei	D	A	
5	扁黑豆	山西 Shanxi	D	A	P	36	南农 1138-2 × 86-53	江苏 Jiangsu	D	A	
6	晋大 53	山西 Shanxi	D	A		37	NC94-156	江苏 Jiangsu	A		
7	晋豆 14	山西 Shanxi	D	A	P	38	波高	江苏 Jiangsu	A		
8	晋豆 16	山西 Shanxi	D			39	丰县孙接子黄	江苏 Jiangsu	D	A	P
9	晋豆 19	山西 Shanxi	D			40	句容大扁青豆	江苏 Jiangsu	D	A	P
10	圆黑豆	山西 Shanxi	D			41	临河大粉青	江苏 Jiangsu	D	A	
11	科丰 1 号	北京 Beijing	D	A	P	42	绿宝珠	江苏 Jiangsu	D	A	P
12	3-29	河北 Hebei	D	A		43	南农 1138-2	江苏 Jiangsu	D	A	P
13	5-5	河北 Hebei	D	A	P	44	南农 18-6	江苏 Jiangsu	D	A	
14	6-13	河北 Hebei	B			45	南农 86-4	江苏 Jiangsu	D	A	P
15	大乌豆	河北 Hebei	D	A	P	46	南农 88-29	江苏 Jiangsu	D	A	
16	耐阴黑豆	河北 Hebei	D	A		47	南农 88-31	江苏 Jiangsu	D	A	P
17	易县黑豆	河北 Hebei	D			48	南农 96B-2	江苏 Jiangsu	D	A	P
18	苍山小黑豆	山东 Shandong	D	A	P	49	启东黑豆	江苏 Jiangsu	D	A	
19	惠民铁竹杆	山东 Shandong	D	A	P	50	酒洪大粒黄豆	江苏 Jiangsu	D	A	
20	齐黄 10 号	山东 Shandong	D	A	P	51	苏协 1 号	江苏 Jiangsu	D	A	P
21	齐黄 1 号	山东 Shandong	D	A	P	52	横丰桂子兰	江西 Jiangxi	D	A	P
22	汶上滚龙珠	山东 Shandong	D	A	P	53	南城魁不要	江西 Jiangxi	D	A	P
23	长垣范屯小天鹅蛋	河南 Henan	D	A	P	54	铜鼓夏至豆	江西 Jiangxi	D		
24	汝南平顶豆	河南 Henan	D	A	P	55	余干早乌豆	江西 Jiangxi	D	A	
25	西峡小粒黄	河南 Henan	D	A	P	56	崇明铁硬豆	上海 Shanghai	D		
26	夏县太平紫花豆	河南 Henan	D	A	P	57	上海大青豆(选)	上海 Shanghai	D	A	P
27	襄县双庙大粒黄	河南 Henan	D	A		58	德清香株豆	浙江 Zhejiang	D	A	
28	滁县农家无名	安徽 Anhui	D	A		59	宁海晚黄豆	浙江 Zhejiang	D	A	P
29	六丰	安徽 Anhui	D			60	仙居小毛豆	浙江 Zhejiang	D	A	P
30	舒城去荚黄豆	安徽 Anhui	D			61	新昌白毛豆	浙江 Zhejiang	D	A	P
31	涡阳黑豆	安徽 Anhui	D	A	P	62	PI416937	美国 USA	A		

Note: D, A and P represent the materials used for evaluation of tolerance to drought, aluminum toxin and low phosphorus, respectively.

## 1.2 耐旱性鉴定

1.2.1 生长前期耐旱性鉴定试验 分别在 2001 年 6 月、2002 年 7 月于南京农业大学江浦实验基地温室内盆栽。盆钵规格为直径 25 cm × 高 28 cm。采用砂:土(85:15)混合基质,7 kg 基质/盆。裂区设计,主区为水分处理(适宜水分与干旱胁迫),副区为供试材料,每副区 1 盆,每盆留 2 株,3 次重复。种

子催芽后,同一材料挑选胚根长度一致的种子种于盆钵。待植株对称叶展开时进行水分处理,胁迫处理加水 30 mL · pot<sup>-1</sup> · d<sup>-1</sup>,适宜水分处理加水 100 mL · pot<sup>-1</sup> · d<sup>-1</sup>。

水分处理前后测定株高、叶龄各一次,处理 18 d 后收获。以子叶节为界把植株分为地上部分(简称茎)和地下部分(简称根),立即将根浸入 FAA 固定

液,茎在 105℃ 烘箱杀青 0.5 h, 80℃ 烘至恒重,冷却后称重。将根浸泡 0.5 h 后取出,观察根系形态,测定根系性状。

分别计算各材料各处理的平均株高、叶龄、茎干重、根干重,及其胁迫与适宜条件下平均值的比值,其中株高、叶龄分别以每 10 d 平均生长率进行计算。按下式计算耐旱隶属函数值。

$$F_i = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

$X_{ij}$  为第  $i$  个材料第  $j$  个性状胁迫对非胁迫的比值,  $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$  分别为该性状中最大、最小比值。  $F_i$  为第  $i$  个品种该性状的隶属值。最后将各材料各性状的隶属值平均,得平均隶属函数值。各供试材料按照下列标准进行耐旱性分级。

1 级:各性状间平均隶属值在 0.8 以上——强耐旱型;

2 级:各性状间平均隶属值在 0.6 ~ 0.8 之间——较强耐旱型;

3 级:各性状间平均隶属值在 0.4 ~ 0.6 之间——中间型;

4 级:各性状间平均隶属值在 0.2 ~ 0.4 之间——干旱较敏感型;

5 级:各性状间平均隶属值在 0.2 以下——干旱敏感型。

1.2.2 生长后期耐旱性鉴定 试验设计和种植情况同上,近半数材料开花时进行水分处理,历时 44 d。成熟后考察株高、主茎节数、单株分枝数、单株荚数、单株粒数、百粒重、根干重、茎干重。按上述方法求得平均耐旱隶属函数值并对材料进行耐旱性分级。

### 1.3 耐铝毒鉴定

2002 年 7 月于南京农业大学江浦实验基地温室内。盆栽,砂培。盆钵规格和试验设计同前。营养液 800 mL/盆,以后每 4 d 浇灌 400 mL/盆。采用 1/5 Steintburg<sup>[8]</sup> 营养液,营养液铝浓度为 0 和 28  $\mu\text{mol/L}$ , pH 调至 4.1。2 周后收获,植株的处理和性状考查同 1.2.1。

以株高、叶龄、地上部干重和地下部干重为耐铝毒分级的综合鉴定指标,分级方法同上。

### 1.4 耐低磷胁迫鉴定

2002 年 7 月于南京农业大学江浦实验基地温室内盆栽,砂培。盆钵规格、试验设计和种植情况同

上。设高磷(1 000  $\mu\text{mol/L}$ )、低磷(0.2  $\mu\text{mol/L}$ )2 个处理。每 3 d 浇一次营养液,营养液含  $\text{K}_2\text{SO}_4$  0.75 mmol/L、 $\text{KCl}$  0.1 mmol/L、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  2 mmol/L、 $\text{H}_3\text{BO}_3$  1  $\mu\text{mol/L}$ 、 $\text{MnSO}_4$  1  $\mu\text{mol/L}$ 、 $\text{CuSO}_4$  0.1  $\mu\text{mol/L}$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_7$  0.005  $\mu\text{mol/L}$ 、 $\text{ZnSO}_4$  10  $\mu\text{mol/L}$ 、 $\text{Fe-EDTA}$  10 mmol/L。培养 8 d 后收获植株,采用  $\text{H}_2\text{SO}_4$ - $\text{H}_2\text{O}_2$  消煮和钒钼黄比色法测定植株 P 含量。根据植株低磷处理磷含量与高磷处理磷含量的比值,将耐低磷性分为 5 级。

1 级:比值 > 0.85——耐低磷型;

2 级:比值 0.85 ~ 0.70——较耐低磷型;

3 级:比值 0.70 ~ 0.55——中间型;

4 级:比值 0.55 ~ 0.40——较不耐低磷型;

5 级:比值 < 0.40——不耐低磷型。

### 1.5 根系性状测定

一级侧根数:人工计数长度大于 1 cm 的一级侧根。

主根长:直尺测量。

总根长、根体积:将侧根及主根剪下,于 Epson 扫描仪上扫描,应用 WinRhizo 图像分析软件分析扫描图像得出。

比根干重、比根体积、比总根长为干旱条件下的根干重、根体积、总根长与整株干物重之比值。

根重比、根体积比、总根长比、主根长比、一级侧根数比为铝毒胁迫下的根干重、根体积、总根长、主根长和一级侧根数与非胁迫相应根系性状之比值。

## 2 结果与分析

### 2.1 耐旱性鉴定

2.1.1 前期耐旱性鉴定 从表 2 可以看出,2 年的结果虽有一些出入,但总的趋势是一致的。综合 2 年的鉴定结果筛选出前期强耐旱性(1 级)表现一致的材料为圆黑豆、汉中八月黄、晋豆 14、科丰 1 号。

2.1.2 后期耐旱性鉴定 8 个性状在不同水分处理下方差分析均达极显著差异,计算所得平均耐旱隶属函数值和鉴定分级结果见表 2 和表 4。后期耐旱性 1 级的材料为圆黑豆、晋豆 14、晋豆 16、宁强老鼠皮、6-13 和涡阳黑豆。综合 2 年的鉴定结果筛选出前后期强耐旱性(1 级)表现一致的材料为圆黑豆和晋豆 14。

表 2 供试材料的耐逆性评价  
Table 2 Evaluation of indices and classes of tolerance to stresses for the materials tested

序列号 Serial No.	耐旱 Drought tolerance						耐铝毒 AL		耐低磷 LP			
	前期 S			后期 R			前期 S		前期 S			
	2001		2002	2 年平均 Average		2001		2002		2002		
	F	级别 Class	F	级别 Class	平均 F Average	级别 Class	F	级别 Class	F	级别 Class	磷含量比值 Ratio of P content	级别 Class
1	0.822	1	0.854	1	0.838	1	0.583	3	0.708	2	0.650	3
2	0.865	1	0.629	2	0.747	2	0.789	2	0.478	3		
3	0.446	3	0.408	3	0.427	3	0.837	1	0.454	3		
4	0.624	2	0.412	3	0.518	3	0.775	2				
5	0.809	1	0.642	2	0.726	2	0.696	2	0.744	2	0.620	3
6	0.628	2	0.614	2	0.621	2	0.542	3	0.385	4		
7	0.955	1	0.906	1	0.931	1	0.846	1	0.679	2	0.836	2
8	0.674	2	0.443	3	0.559	3	0.882	1				
9	0.841	1					0.495	3				
10	0.875	1	0.807	1	0.841	1	0.820	1				
11	0.872	1	0.891	1	0.882	1	0.787	2	0.555	3	0.825	2
12	0.434	3	0.638	2	0.536	3	0.735	2	0.575	3		
13	0.570	3	0.251	4	0.411	3	0.750	2	0.167	5	0.347	5
14	0.603	2	0.792	2	0.698	2	0.880	1				
15	0.633	2	0.507	3	0.570	3	0.543	3	0.090	5	0.511	4
16	0.830	1	0.630	2	0.730	2	0.746	2	0.362	4		
17	0.796	2	0.904	1	0.850	1	0.517	3				
18	0.874	1	0.610	2	0.742	2	0.745	2	0.703	2	0.814	1
19	0.652	2	0.467	3	0.560	3	0.541	3	0.875	1	0.896	1
20	0.405	4	0.341	4	0.373	4	0.528	3	0.351	4	0.497	4
21	0.760	2	0.727	2	0.744	2	0.587	3	0.873	1	0.973	1
22	0.480	3	0.468	3	0.474	3	0.686	2	0.723	2	0.598	3
23	0.690	2	0.908	1	0.799	2	0.484	3	0.907	1	0.826	2
24	0.244	4	0.405	3	0.325	4	0.276	4	0.921	1	0.673	3
25	0.579	3	0.774	2	0.677	2	0.329	4	0.207	4	0.346	5
26	0.431	3	0.628	2	0.530	3	0.715	2	0.461	3	0.671	3
27	0.480	3	0.614	2	0.547	3	0.743	2	0.621	2		
28	0.417	3	0.61	2	0.514	3	0.656	2	0.555	3		
29	0.417	3	0.439	3	0.428	3	0.194	5				
30	0.540	3	0.565	3	0.553	3	0.273	4				
31	0.787	2	0.446	3	0.617	2	0.917	1	0.798	2	0.836	2
32	0.474	3	0.362	4	0.418	3	0.289	4	0.497	3	0.555	3
33	0.325	4	0.338	4	0.332	4	0.569	3	0.851	1	0.571	3
34	0.533	3	0.435	3	0.484	3	0.511	3				
35	0.423	3	0.442	3	0.433	3	0.236	4	0.456	3		
36	0.108	5	0.235	4	0.172	5	0.335	4	0.185	5		
37									0.767	2		
38									0.314	4		
39	0.725	2	0.823	1	0.774	2	0.583	3	0.573	3	0.531	4
40	0.357	4	0.399	4	0.378	4	0.181	5	0.346	4	0.332	5
41	0.153	5	0.171	5	0.162	5	0.470	3	0.292	4		
42	0.507	3	0.260	4	0.384	4	0.128	5	0.222	4		
43	0.248	4	0.282	4	0.265	4	0.318	4	0.461	3	0.810	2
44	0.485	3	0.416	3	0.451	3	0.353	4	0.464	3		
45	0.441	3	0.481	3	0.461	3	0.442	3	0.725	2	0.835	2
46	0.315	4	0.434	3	0.375	4	0.447	3	0.379	4		
47	0.434	3	0.406	3	0.420	3	0.506	3	0.423	3	0.630	3
48	0.242	4	0.326	4	0.284	4	0.551	3	0.554	3	0.675	3
49	0.324	4	0.403	3	0.364	4	0.585	3	0.477	3		
50	0.450	3	0.507	3	0.479	3	0.153	5	0.212	4		
51	0.342	4	0.188	5	0.265	4	0.483	3	0.379	4	0.509	4
52	0.289	4	0.153	5	0.221	4	0.150	5	0.753	2		
53	0.415	3	0.360	4	0.388	4	0.483	3	0.669	2	0.666	3
54	0.233	4	0.238	4	0.236	4	0.450	3				
55	0.241	4	0.404	3	0.323	4	0.541	3	0.689	2		
56	0.665	2	0.647	2	0.656	2	0.362	3				
57	0.183	5	0.306	4	0.245	4	0.484	3	0.927	1	0.937	1
58	0.438	3	0.225	4	0.332	4	0.099	5	0.598	3		
59	0.112	5	0.178	5	0.145	5	0.268	4	0.274	4	0.459	4
60	0.650	2	0.829	1	0.74	2	0.695	2	0.681	2	0.721	2
61	0.194	5	0.295	4	0.245	4	0.469	3	0.922	1	0.727	2
62									0.677	2		

Note: AL = aluminum toxin tolerance; LP = low phosphorus tolerance; S = seedling stage; R = reproductive stage.

2.2 耐铝毒性、低磷胁迫鉴定

耐铝毒性胁迫、耐低磷胁迫鉴定结果见表2和表4。属于强耐铝毒性(1级)的材料为汝南平顶豆、长垣范屯小天鹅蛋、上海大青豆(选)、惠民铁竹杆、新乡六月豆、齐黄1号和油91-11。

强耐低磷(1级)材料有上海大青豆(选)、惠民铁竹杆、齐黄1号。

上海大青豆(选)、惠民铁竹杆和齐黄1号兼具耐铝毒性和耐低磷性。

2.3 不同耐逆性间的相关

表3表明,前、后期耐旱性间具有极显著正相关,本试验筛选出前、后期均耐旱的材料2份;耐低磷性和耐铝毒性间具有极显著正相关,筛选出3份兼具二耐性的材料。后期耐旱性与耐低磷性间极显著正相关,但程度不高,前期耐旱性与耐低磷性和耐铝毒性间均有显著相关,但程度较低。

表4列出耐性为1级的入选材料。耐逆境表现具有一定的生态特点。耐旱材料均分布在北方干旱

地区;耐低磷与耐铝毒材料主要来自南方及黄淮南部地区。入选材料的熟期组为Ⅲ~Ⅶ组。

2.4 大豆耐逆境与根系性状的关系

2.4.1 大豆耐旱性与根系性状的关系 表5结果表明,根干重、总根长、根体积与耐旱性无相关,而比根重、比总根长、比根体积与平均耐旱隶属函数值的相关均呈极显著正相关,程度也较高,可作为鉴定大豆苗期耐旱的根系性状指标。

2.4.2 大豆耐铝毒、低磷胁迫与根系性状的关系

表6为对侧根数、主根长、总根长、根体积、根干重及其与对照之比值和耐铝毒平均隶属函数值的相关分析,结果表明,各根系性状比值与耐铝性呈较高度度的极显著正相关,可作为鉴定大豆苗期耐铝毒根系的性状指标,其他还有3个直接性状有相关,但程度相对较低。

大豆根系性状在不同磷处理下,经方差分析均无显著性差异,因而未发现与耐低磷相关的根系性状。

表3 不同耐逆性间的相关分析

Table 3 Correlation among different tolerances

性状 Trait	前期耐旱 Drought tolerance at seedling stage	后期耐旱 Drought tolerance at reproductive stage	前期耐铝毒 Aluminum toxin tolerance at seedling stage
后期耐旱 Drought tolerance at reproductive stage	0.52**		
前期耐铝毒 Aluminum toxin tolerance at seedling stage	0.23*	0.20	
前期耐低磷 Low phosphorous tolerance at seedling stage	0.29*	0.36**	0.74**

注:\*,\*\*表示在0.05和0.01水平下显著。下同。

Note: \*,\*\* represent significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. The same below.

表4 耐性为1级的入选材料

Table 4 Selected accessions with class 1 stress tolerance

材料名称 Materia	代号 Code	来源与产地 Source	耐逆境表现 Stress tolerance				熟期组 Maturity group
			SD	RD	A	P	
圆黑豆	10	山西 Shanxi	1	1			Ⅲ
晋豆14	7	山西 Shanxi	1	1	2	2	Ⅲ
晋豆16	8	山西 Shanxi	3	1			Ⅲ
汉中八月黄	1	陕西 Shaanxi	1	3	2	3	Ⅵ
科丰1号	11	北京 Beijing	1	2	3	2	Ⅲ
宁强老鼠皮	3	陕西 Shaanxi	3	1	3		Ⅳ
6-13	14	河北 Hebei	2	1			Ⅲ
涡阳黑豆	31	安徽 Anhui	2	1	2	2	V
新乡六月豆	61	江西 Jiangxi	4	3	1	2	Ⅳ
油91-11	33	湖北 Hubei	4	3	1	3	V
长垣范屯小天鹅蛋	23	安徽 Anhui	2	3	1	2	V
汝南平顶豆	24	河南 Henan	4	4	1	3	Ⅳ
惠民铁竹杆	19	山东 Shandong	3	3	1	1	Ⅳ
齐黄1号	21	山东 Shandong	2	3	1	1	Ⅳ
上海大青豆选	57	上海 Shanghai	4	3	1	1	Ⅶ

注:SD, RD, A, P分别代表前期耐旱、后期耐旱、前期耐铝毒、前期耐低磷。

Note: SD, RD, A and P represent drought tolerance at seedling stage, drought tolerance at reproductive stage, aluminum toxin tolerance, and low phosphorus tolerance, respectively.

表5 大豆根系性状与平均耐旱隶属函数值的相关分析

Table 5 Correlations between root traits and drought tolerance

年份 Year	根干重 Dry root weight	根总长 Total root length	根体积 Root volume	比根干重 Dry root weight/plant dry weight	比根总长 Total root length/plant dry weight	比根体积 Root volume/plant dry weight
2001	-0.21	0.10	-0.05	0.63**	0.81**	0.77**
2002	-0.23	0.17	0.07	0.66**	0.79**	0.81**

表6 大豆根系性状与平均耐铝毒隶属函数值的相关分析

Table 6 Correlations between root traits and aluminum toxin tolerance

侧根数 Number of lateral roots	主根长 Tap root length	总根长 Total root length	根体积 Root volume	根干重 Dry root weight	侧根数比 Relative number of lateral roots	主根长比 Relative tap root length	总根长比 Relative total root length	根体积比 Relative root volume	根干重比 Relative dry root weight
-0.26*	0.55**	0.34**	0.20	-0.01	0.67**	0.74**	0.81**	0.81**	0.93**

### 3 讨论

#### 3.1 大豆种质优选与生产上的利用

本研究从供试材料中筛选出分别具有耐旱、耐铝毒、耐低磷等根区非生物逆境特性材料共15个。材料耐逆境表现具有一定的生态特点,耐旱材料主要分布在北方干旱地区,耐铝毒、耐低磷材料主要来自南方及黄淮偏南地区,这一方面说明在逆境地区由于长期的选择适应产生了特异性变异,另一方面预示在逆境地区有进一步筛选的潜力。但逆境地区材料的高产潜力往往有限,选用亲本时必须注意互补。

我国东南一带分布大片酸性土壤,铝毒和低磷状况严重影响大豆的发展,从现有资料看,耐旱的研究起步较早,但耐低磷和铝毒的研究在我国从上世纪90年代才开始,筛选出的优异种质亦比较匮乏。大豆起源于我国,种质资源极为丰富,从表4可见具铝毒和低磷耐性的材料南北方地区均有分布且成熟组变异范围较广,有改良潜力。

#### 3.2 耐逆性与根系性状的关系

本研究表明,根干重、根体积、总根长等根系性状的绝对值与耐旱性(以平均耐旱隶属函数值为指标)间未发现有关,而比根干重、比根体积、比总根长等相对值则均与之极显著相关;与耐铝性有较高程度极显著相关的根重比、根体积比、总根长比、主根长比、一级侧根数比也均为相对值。这可能由于材料成熟组不同,根系发育程度不同,而在比较材料特别是来源于不同生态区材料之间根系数量性状时采用了消除发育程度差异的相对值为标准,因而显现出内在的相关性。看来根系性状中相对值尤其重要。

前人从侧根数、总根长、主根长、根体积、根干重

几个方面分别验证了铝毒对作物根系的伤害<sup>[10]</sup>,并采用多种人工胁迫方式,包括营养液栽培<sup>[10]</sup>、温室土壤盆栽<sup>[11]</sup>、水培<sup>[12]</sup>等筛选方法。本文研究表明,大豆根系性状的相对值均与耐铝平均隶属值呈较高程度极显著相关,用其作为耐铝毒的相关根系性状指标将可能更佳。

### References

- [1] Wright R J. Soil aluminum toxicity and plant growth. *Communication of Soil Science and Plant Annual*, 1989, 20(15-16): 1479-1497
- [2] Yan X-L(严小龙), Lu R-J(卢仁俊). Genetic research on crop phosphor efficiency. *Soil(土壤)*, 1992, 24:102-105(in Chinese)
- [3] Yan X-L(严小龙), Zhang F-S(张福锁). *Plant Nutrition Genetics(植物营养遗传学)*. Beijing: China Agriculture Press, 1997. 193-196 (in Chinese)
- [4] Carter T E Jr, Ruffy T W, Kuo C G. Soybean plant introductions exhibiting drought and aluminum tolerance. In: *Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress: Proceedings of an International Symposium, Taiwan, 13-18 August, 1992*. 335-346
- [5] Liu F L, Andersen M N, Jensen C R. Root signal controls pod growth in drought-stressed soybean during the critical, abortion-sensitive phase of pod development. *Field Crops Research*, 2004, 85:159-166
- [6] Hudak C M, Patterson R P. Root distribution and soil moisture depletion pattern of a drought-resistant soybean plant introduction. *Agronomy Journal*, 1996, 88: 478-485
- [7] Sloane R J, Patterson R P, Carter T E. Field drought tolerance of soybean plant introduction. *Crop Science*, 1990, 30: 118-123
- [8] Foy C D, Fleming A L, Burns C R. Characterization of differential aluminum tolerance among varieties of wheat and barley. *Soil Science Society of America Proceeding*, 1967, 31:513-521
- [9] Liu Y(刘莹), Gai J-Y(盖钧镒). Identification of tolerance to aluminum toxin and inheritance of related root traits in soybeans [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Soybean Science(大豆科学)*, 2004, 23(3): 164-168(in Chinese with English)
- [10] Sartain J B, Kamprath E J. Aluminum tolerance of soybean cultivars based on root elongation in solution culture compared with growth in acid soil. *Agronomy Journal*, 1998, 70: 17-20
- [11] Foy C D, Carter T E Jr, Duke J A. Correlation on shoot and root growth and its role in selecting for aluminum tolerance in soybean. *J Plant Nutr*, 1993, 16(2): 305-325
- [12] Spehar C R. Aluminum tolerance of soybean genotypes in short term experiments. *Euphytica*, 1994, 76:73-80