棉花抗枯黄萎病品种耐低磷种质筛选

王士杰，王省芬，马峙英*，张桂寅，李喜焕，吴立强
（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：采用蛭石栽培和营养液浇灌的方法，研究棉花品种耐低磷筛选指标，利用这些指标对88份棉花抗枯、黄萎病品种进行磷素利用率极端基因型的筛选。结果表明，株高和根冠比在不同品种和不同磷浓度处理之间无显著差异，而棉苗干物重、地上部鲜重、总叶面积、叶绿素含量、地上部干物重及磷利用率在不同磷浓度处理和不同品种之间均存在显著差异，可以作为棉花苗期耐低磷能力的评价指标。利用这些指标对棉花抗枯、黄萎病品种进行了分析。聚类结果将88个品种主要分为耐低磷基因型和非耐低磷基因型两大类，分别包括25个和55个品种。其中，中棉所21、中99和陕棉11属于耐低磷的极端基因型。

关键词：棉花；耐低磷；筛选指标；枯萎病；黄萎病
中图分类号：S562.032 **文献标识码**：A
文章编号：1002-7807(2009)03-0168-07

Screening of Low Phosphorus Tolerant Cottons with *Fusarium* and *Verticillium* Wilts Resistance at Seedling Stage

WANG Shi-jie, WANG Xing-fen, MA Zhi-ying*, ZHANG Gui-yin, LI Xi-huan, WU Li-qiang
(*Key Laboratory of Crop Germplasm Resources of Hebei; Agricultural University of Hebei, Baoding* 071001, *China*)

Abstract: Vermiculite culture and nutrition solution irrigation were carried out simultaneously to approach the screening index for low phosphorus tolerant cotton varieties in order to screen genotypes with high or low phosphorus use efficiency (PUE) among 88 cotton varieties with *Fusarium* and *Verticillium* wilts resistance. The result showed that the significant differences were detected in dry seedling weight, fresh shoot weight, the total area of leaves, chlorophyll content, and phosphorus use efficiency among different phosphorus concentration treatments and among cotton varieties. These characters could be regarded as selection indices of the cotton response to phosphorus stress. The differences in plant height and root-shoot ratio were not significant. Eighty-eight cotton varieties with *Fusarium* and *Verticillium* wilts resistance were screened for low phosphorus tolerance with these indices and were divided into two groups approximately. One was high phosphorus use efficiency genotypes, including 25 varieties. The other was low phosphorus use efficiency genotypes, including 55 varieties.
Key words: cotton; low phosphorus tolerance; screening index; *Fusarium* wilt; *Verticillium* wilt

磷作为植物生长发育的必需营养元素之一，不仅是植物体内许多重要化合物的组分，而且还以多种途径参与植物体内各种代谢过程，在人类赖以生存的生态系统中起着不可替代的作用[1]。植物吸收磷的主要形式是 HPO_4^{2-} 和 $H_2PO_4^-$，它们在土壤溶液中的浓度很低，一般只有 1.5 μmol·L^{-1}。因此，磷容易被土壤固定，在土壤溶液中的移动性很差。大多农业土壤因长期施用磷肥已成

收稿日期：2008-01-21 **作者简介**：王士杰(1981-)，男，硕士研究生；*通信作者，mzhy@hebau.edu.cn
基金项目：863计划(2006011001040)、河北省科技支撑计划重大项目(06220113D)、河北省自然科学基金重点项目(C2006001034)

为潜在的磷库，磷肥效应与土壤有效磷含量呈负相关[2-3]，磷酸盐的化学性质使其成为作物难以利用的固定态磷，造成土壤磷的“遗传学缺乏”而非“土种类之间和同一植物的不同品种之间的磷素营养利用效率存在差异”，在水稻、小麦、大麦、玉米、大豆、菜豆、蚕豆、高粱和番茄等作物的不同品种间都有磷素营养利用的报道[4-5]，但各自的筛选指标都不相同。有关研究结果表明，水稻相对单株干物重可以作为苗期耐低磷能力的重要评价指标[6]；玉米以相对生物产量作为磷高效指标更合适[7]；甘蓝型油菜的磷高效基因型比磷低效基因型的根冠比大，根系的生长状况好[8]。目前，关于棉花品种磷素营养基因型筛选的研究尚无报道。针对前人未曾开展棉花耐低磷方面的研究以及尚无确立相应的评价指标的现状，本研究拟确立棉花品种苗期耐低磷评价指标，利用该指标对我国棉花抗枯、黄萎病品种资源中进行耐低磷特性鉴定，筛选磷素利用极端基因型，旨在为培育棉花磷高效利用品种和开展有关分子生物学研究提供种质资源和理论依据。

1　材料和方法

1.1　供试材料

供试材料为 88 个抗枯、黄萎病棉花品种。其中，农大 94-7、99B、冀棉 20、冀棉 19、邯 93-2 和中无 642 用于筛选指标试验，所有材料均经多代自交保纯（表 1），由河北农业大学棉花遗传育种研究室提供。

表 1　供试棉花品种名称

Table 1　The cotton varieties tested in the experiment

编号	品种	编号	品种	编号	品种	编号	品种
1	中棉所 9 号	23	豫棉 22	45	陕棉 11	67	绵阳 83-21
2	中棉所 14	24	刘庄 1 号	46	陕 724	68	川 243
3	中棉所 15	25	豫棉 10	47	陕 8092	69	辽棉 5 号
4	中棉所 16	26	豫无 1309	48	秦远 4 号	70	辽棉 7 号
5	中棉所 20	27	冀棉 7 号	49	江苏棉 1 号	71	辽棉 10
6	中棉所 21	28	冀棉 20	50	苏棉 2 号	72	辽棉 12
7	中棉所 23	29	冀合 328	51	苏棉 4 号	73	光铃棉 1
8	中棉所 33	30	冀资 123	52	苏棉 6 号	74	皖棉 11
9	中抗 5	31	农大 94-7	53	苏棉 11 号	75	新陆中 3 号
10	中 99	32	鲁棉 11	54	苏棉 12	76	协作 1 号
11	中 3474	33	平棉 28	55	徐 261	77	川 52-128
12	中 3723	34	菏棉 3 号	56	泗阳抗 76	78	GK1
13	中 6331	35	鲁无 401	57	泗阳 168	79	GK2
14	中棉所 32	36	鲁棉 1 号	58	泗棉 3 号	80	Stoneville603
15	中植 86-6	37	鲁棉 14	59	鄂抗 1 号	81	Deltapine61
16	86-1	38	晋棉 3 号	60	湘棉 10	82	Auburn623RNR
17	86-4	39	晋棉 11	61	抗病洞庭棉	83	Tashkent-1
18	中植 372	40	晋棉 14	62	川 73-27	84	153F
19	豫棉 4 号	41	晋棉 17	63	川 414	85	C6524
20	豫棉 8 号	42	晋棉 26	64	川棉 109	86	中 7263
21	豫 2067	43	陕棉 4 号	65	川碚 2 号	87	渤棉抗 4
22	豫棉 12	44	陕棉 8 号	66	绵无 4176	88	中棉所 30

1.2　试验方法

1.2.1　*棉苗培育及处理*。试验采用蛭石栽培和营养液浇灌的方法（营养液按照 Hoagland 配方配制），在光、温可控的培养室中进行。将供试材料的种子用水浸泡 5 h 后，在 29 ℃培养箱中催芽 36 h，挑选发芽一致的种子种入装有相同质量蛭石的花盆中。每个品种每盆有 2 棵棉苗，共设 4 次重复。在棉苗进入自我营养生长后（第 1 片真叶能够进行光合作用）开始浇灌营养液，营养液中磷水平设高磷（0.25 mmol・L^{-1} P＋）和低磷（0.01 mmol・L^{-1} P-）2 个处理，磷以 KH_2PO_4 的形态供应，KH_2PO_4 中 K 的缺失用 KCl 补齐。培养过程中每周浇 1 次营养液，第 40 天收获。

1.2.2　*性状测定及分析*。收获后，用自来水将棉苗冲洗干净，再用去离子水冲洗几遍，分地上和地下两部分进行研究。棉苗晾干后称取地上部鲜重，测量棉苗株高、总叶面积，并称取 0.1 g 第 1 片真叶用于测定叶绿素含量；然后将地上和地下部分分别装入纸袋中，于 105 ℃杀青 30 min，在 70 ℃下烘 48 h 至恒重，测定干物重，之后用研锤研碎放在封口袋中储存，以供测定磷元素含量。叶绿素含量测定采用酒精浸提法[9]，棉苗全磷测定采用钼锑抗比色法[10]，磷利用率计算公式为：磷利用效率＝棉苗总干物重/棉苗体内磷含量。

1.2.3 *数据分析*。试验用 Excel 软件对数据进行多因素方差及变异分析，采用 NTSYS 2.11 软件[11]的 UPGMA 聚类方法对数据进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 棉苗各项筛选指标的差异表现

对指标筛选试验中各个指标的方差分析表明(表 2)，在两次重复试验中，棉苗地上部鲜重、总叶面积、叶绿素含量、地上部干物重、总干物重和磷利用率等 6 个指标在不同磷处理浓度间和品种间都存在显著或极显著差异，而株高和根冠比 2 个指标在浓度和品种间均无显著差异。因此，将棉苗地上部鲜重、总叶面积、叶绿素含量、地上部干物重、总干物重和磷利用率作为耐低磷品种的筛选指标。

表 2 筛选试验中各个筛选指标的方差分析 P 值

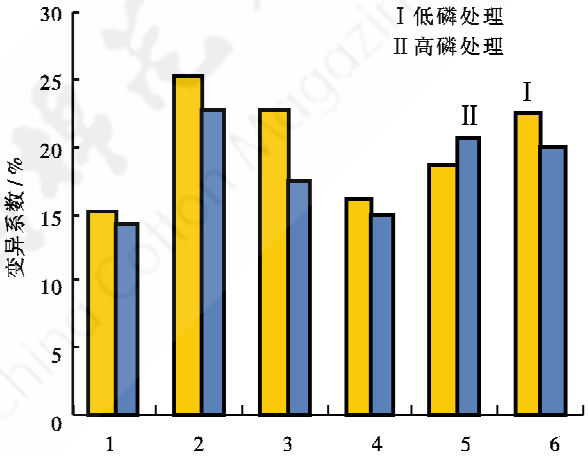
Table 2 P value of variance analysis of each index in screening experiments

差异源	地上部鲜重	总叶面积	叶绿素含量	地上部干物重	总干物重	磷利用率	株高	根冠比
浓度间	0.0002*	0.0091**	0.0013**	4.57E-6**	0.0025**	0.0176*	0.1240	0.7520
品种间	6.57E-04**	0.0006**	0.0156*	0.0002**	3.4E-6**	9.4E-08**	0.7670	0.0023

注：*，**分别表示达 0.05 和 0.01 显著水平，下同。

2.2 棉苗各项筛选指标的变异分析

无论是在高磷还是低磷处理条件下，棉苗各项筛选指标都表现出一定的变异，并且各筛选指标的变异幅度相差较大(图 1)。高磷处理时，棉苗各筛选指标变异系数的大小顺序为：棉苗总干物重＞磷利用率＞地上部干物重＞总叶面积＞叶绿素含量＞地上部鲜重；低磷处理时，棉苗各筛选指标变异系数的大小顺序为：总干物重＞总叶面积＞地上部干物重＞磷利用率＞叶绿素含量＞地上部鲜重。



1.地上部鲜重，2.总干物重，3.总叶面积，4.叶绿素含量，5.磷利用率，6.地上部干物重。

图 1 不同供磷水平下棉苗各筛选指标的基因型变异

Fig. 1 Genotypic variation of cotton seedling screening indices under different phosphorus supplies

2.3 棉花苗期耐低磷品种的筛选

2.3.1 *各项筛选指标的差异表现*。对各个筛选指标的方差分析表明，棉苗的地上部鲜重、总叶面积、叶绿素含量、地上部干物重、总干物重和磷利用率等指标在不同磷处理浓度和不同品种间都存在显著或极显著差异(表 3)，进一步证明这些指标适于耐低磷品种的筛选。

表 3 筛选指标的方差分析

Table 3 Variance analysis of screening indices

差异源	地上部鲜重	总叶面积	叶绿素含量	地上部干物重	总干物重	磷利用率
浓度间	0.0001**	0.0061**	2.87E-06**	1.78E-09**	0.0410*	0.0005**
品种间	0.0230*	2.93E-05**	0.0046**	0.0300*	3.60E-13**	0.0431**

2.3.2 *各项筛选指标的相对值表现*。相对值是指不同基因型棉花品种在不同磷浓度处理下的指标比值(低磷供应/正常供磷)。88 个抗枯、黄萎病棉花品种在地上部鲜重、叶绿素含量、总叶面积、地上部干物重、总干物重和磷利用率等指标上的相对值见表 4。结果表明，中棉所 21、豫棉 4 号、冀棉 20 等叶绿素含量的相对值小于 1，而其它各指标的相对值大于 1，说明这类品种在低磷条件下有较好的生长潜力；而中 3474、农大 94-7、晋棉 3 号等叶绿素含量的相对值大于 1，而其它各指标的相对值小于 1，说明这类品种在供磷充足的条件下能够较好地生长。中棉所 14、中棉所 20、冀棉 7 号等品种不属于这两类，各个筛选指标的表现比较复杂，需要进一步进行聚类分析。

表 4　各指标在品种筛选试验中的相对值

Table 4　Relative value of each index in screening experiment

品种名称	地上部鲜重	总叶面积	叶绿素含量	地上部干物重	总干物重	磷利用率
中棉所 9 号	1.1125	1.1867	1.0295	1.1306	1.5418	1.1355
中棉所 14	0.7938	0.6886	0.8513	0.6071	0.8551	1.0961
中棉所 15	1.1969	1.3803	1.1010	1.3820	2.0667	1.1699
中棉所 16	0.5281	0.5793	1.2000	0.4190	0.7681	1.3858
中棉所 20	0.9615	0.9075	0.9827	0.7973	0.7198	0.9181
中棉所 21	1.2444	1.2764	0.8522	1.5073	1.4247	1.4745
中棉所 23	1.7860	1.8355	0.9375	2.4567	0.8866	1.0194
中棉所 33	0.8200	0.7907	1.1018	0.7369	0.8791	1.2297
中抗 5	0.7668	0.6922	0.8586	0.5456	1.0986	0.2314
中 99	0.5141	0.4865	0.9042	0.3201	0.7785	0.1797
中 3474	0.5704	0.3565	1.0465	0.7605	0.5625	0.7949
中 3723	0.8941	0.7764	0.8459	0.4908	0.9818	0.4284
中 6331	1.2314	1.1744	1.0154	1.1027	0.8783	0.6641
中棉所 32	0.9302	1.0570	0.7878	0.8666	1.0759	0.9584
中植 86-6	1.0372	0.7888	1.1468	0.7303	0.7769	0.2605
86-1	1.0877	1.1443	0.7351	0.9909	0.7048	0.8345
86-4	0.9193	0.9083	0.9912	0.8926	0.8281	0.7838
中植 372	0.9036	0.8892	1.1633	0.8136	1.1199	1.0620
豫棉 4 号	1.0529	1.0797	0.9425	1.1535	1.4920	1.7880
豫棉 8 号	1.1292	1.2312	0.9152	1.1499	1.1239	0.8512
豫 2067	0.8752	0.9409	0.8301	0.8042	1.1733	1.1024
豫棉 12	0.8979	0.9127	1.0855	0.8383	1.5344	0.7323
豫棉 22 号	2.6832	0.9519	0.8549	0.6302	0.8385	0.2748
刘庄 1 号	0.7435	0.7485	0.9100	0.6524	2.2029	1.1279
豫棉 10	1.0356	0.9229	1.0508	0.7689	1.1182	1.1206
豫无 1309	0.7649	0.8229	1.2470	0.6722	1.0567	0.9153
冀棉 7 号	1.0570	0.8610	0.8721	0.7538	1.5635	1.1348
冀棉 20	1.0777	1.1152	0.9076	1.2120	1.5654	1.1061
冀合 328	1.1012	1.0551	0.9759	0.8586	1.1225	0.5673
冀资 123	0.8920	0.6515	0.9155	0.8113	0.9091	0.2522
农大 94-7	0.7132	0.7953	1.2450	0.6418	0.5992	0.9368
鲁棉 11	0.8215	0.8537	1.1222	0.7011	0.8204	1.0283
平棉 28	0.7911	0.7946	1.0042	0.7142	1.0332	0.8658
荷棉 3 号	0.7489	0.7412	0.9008	0.4695	0.5913	1.0957
鲁无 401	0.8651	0.9481	1.4005	0.9659	1.5278	1.1169
鲁棉 1 号	0.5737	0.2419	2.3962	0.7030	1.1147	0.6072
鲁棉 14 号	1.0818	1.1624	0.8836	1.3004	1.1857	1.6062
晋棉 3 号	0.8004	0.8933	1.0709	0.6210	0.6819	0.6129
晋棉 11 号	0.8152	1.0128	1.0217	0.7332	1.3029	0.9522
晋棉 14	0.6753	0.6025	1.1237	0.5052	1.2942	1.0235
晋棉 17	0.8676	0.6300	1.0105	0.6134	0.9415	0.5786
晋棉 26	0.7396	0.8864	1.1678	0.8965	1.1184	1.4916
陕棉 4 号	0.9258	0.9451	1.0167	0.9341	1.4342	1.0981
陕棉 8 号	0.7993	0.8810	0.9173	0.7751	0.8896	1.0264
陕棉 11	1.1636	1.2279	0.9300	1.2115	1.9545	0.8806
陕 724	1.0497	0.8491	1.2537	0.8789	0.7633	0.3489
陕 8092	0.7854	0.8026	1.1404	0.6374	0.9272	0.7477
秦远 4 号	0.9096	1.0043	0.9184	0.8150	0.8469	1.1157
江苏棉 1 号	1.0090	0.9642	0.8686	0.8754	0.9986	1.0654
苏棉 2 号	0.7574	0.8213	0.9866	0.6548	1.2524	1.2575
苏棉 4 号	0.9545	0.9294	0.9870	0.8849	0.8417	1.3086
苏棉 6 号	0.8195	0.9171	0.9357	0.7311	1.2057	0.7513
苏棉 11 号	0.9197	0.7815	1.0933	0.6999	0.7923	0.3139
苏棉 12	0.9940	1.2115	1.2646	0.8777	1.1906	0.6849
徐 261	1.0547	1.0690	1.2249	1.1361	1.1099	0.8844
泗阳抗 76	0.8986	0.8772	1.0572	0.7607	1.1269	0.9851
泗阳 168	0.6540	0.6981	0.9891	0.6060	1.1711	0.6776
泗棉 3 号	1.1537	1.0542	0.9835	1.0829	1.0928	1.3744
鄂抗 1 号	1.0834	1.0563	1.0069	0.9632	1.0389	0.9986
湘棉 10	0.8545	0.7089	0.6569	0.7113	0.8904	0.1993
抗病洞庭棉	0.8342	0.9071	0.7332	0.8921	1.0706	1.1011
川 73-27	0.9364	0.6015	0.9237	0.8636	1.0574	0.2769
川 414	0.5879	0.6771	0.5052	0.4245	0.4751	0.5597
川棉 109	1.2374	1.4275	0.4895	0.9617	1.1873	0.9523
川碚 2 号	0.7451	0.8204	0.8965	0.6232	0.6982	1.0464

续表 4

绵无 4176	0.9281	0.6615	1.0503	1.5387	0.5827	0.2579
绵阳 83-21	1.0653	1.1913	0.8369	1.0271	1.1107	0.8877
川 243	0.8155	0.5133	1.0238	0.4814	1.2039	0.3127
辽棉 5 号	0.7353	0.7259	1.1273	0.8030	1.3015	1.2667
辽棉 7 号	0.9346	0.9871	0.7426	1.0793	1.3859	1.4287
辽棉 10	0.8311	0.7958	1.1114	0.7980	1.1912	1.0861
辽棉 12	1.1366	0.9173	1.0000	1.1520	1.1323	1.8049
光铃棉 1	0.8057	0.6159	0.8315	0.7202	0.9116	0.8315
皖棉 11	1.0431	1.2380	0.8700	1.0360	1.3721	1.3624
新陆中 3 号	0.8804	0.9398	1.0561	0.8538	1.2644	0.9635
协作 1 号	0.8005	0.9421	0.9671	0.7562	1.0063	0.8433
川 52-128	0.8571	0.8769	1.2576	0.7298	0.6405	0.6686
GK1	1.0286	1.2431	1.2795	0.9936	1.5735	0.1412
GK2	0.7590	0.7324	1.2129	0.6128	0.6096	0.7286
Stoneville603	1.1548	1.0886	0.7619	1.1228	0.9057	0.3839
Deltapine61	1.0160	1.0370	1.0378	0.8543	1.5191	1.2774
Auburn623RNR	0.8412	0.8824	1.0249	0.8802	1.0380	1.1559
塔什干 1 号	0.7174	0.7714	1.0729	0.5497	0.9459	0.9085
153F	0.8533	0.9162	1.1176	0.8055	1.1961	1.6892
C6524	0.9325	0.8387	0.8021	0.6902	0.9698	0.9483
中 7263	0.8328	0.6992	0.9272	0.4043	1.1006	0.9156
渤棉抗 4	1.0689	1.1944	0.8974	0.9420	1.2087	1.1467
中棉所 30	0.6365	0.5565	0.7138	0.5794	0.8429	0.3221

2.3.3 *6 项筛选指标的聚类分析。* 依据棉苗地上部鲜重、总叶面积、叶绿素含量、地上部干物重、总干物重和磷利用率 6 个指标，对 88 个棉花抗枯、黄萎病品种进行聚类分析(图 2)。

结果表明，88 个抗枯、黄萎病品种在不同磷素营养供给条件下，主要分为两类：第Ⅰ类包括中棉所 9 号、中棉所 15、中棉所 21、中 6331、86-1、豫棉 4 号、豫棉 8 号、豫棉 22、冀棉 7 号、冀棉 20、冀合 328、鲁无 401、鲁棉 14 号、陕棉 11、苏棉 12、徐 261、泗棉 3 号、川棉 109、绵阳 83-21、辽棉 12、皖棉 11、GK1、Stoneville 603、Deltapine 61 和渤棉抗 4 等 25 个品种，其特点是在低磷处理与高磷处理的比较试验中 6 个指标综合表现好，属于耐低磷品种；第Ⅱ类是以农大 94-7、晋棉 14、川 243、GK2 和 Tashkent-1 等为代表的 55 个品种，其特点是在低磷处理与高磷处理的比较试验中 6 个指标综合表现较差，属于非耐低磷品种(表 5)。刘庄 1 号、江苏棉 1 号、绵无 4176 和辽棉 7 号 4 个品种的表现一般，各个指标的表现值与总体平均值无显著差异，而与第Ⅰ类和第Ⅱ类相差较远，属于耐低磷的中间类型。中棉所 23、鲁棉 1 号和辽棉 10 号 3 个品种较特殊，在聚类图上均单独成为一类，其某个指标的表现值比较特殊，中棉所 23 的地上部干物重、鲁棉 1 号的叶绿素含量、辽棉 10 的磷利用率远远超出总体平均值。综合分析第Ⅰ类和第Ⅱ类中各个品种在地上部鲜重、总叶面积、叶绿素含量、地上部干物重、总干物重和磷利用率 6 个指标上的表现，筛选出耐低磷和非耐低磷的极端基因型品种。其中，中棉所 21、中 99 和陕棉 11 为耐低磷的极端基因型品种，农大 94-7、晋棉 14、川 243、GK2 和 Tashkent-1 为非耐低磷的极端基因型品种。

表 5 不同类型品种各筛选指标的平均值

Table 5 Average value of each index of different types of cotton

平均值	地上部鲜重	总叶面积	叶绿素含量	地上部干物重	总干物重	磷利用率
总平均值	0.9147	0.9019	0.9989	0.8424	1.0783	1.9661
第Ⅰ类平均值	1.1052	1.1387	0.9625	1.0614	1.2957	1.8565
第Ⅱ类平均值	0.8279	0.8017	0.9932	0.7104	0.9703	1.8153

3 结论和讨论

通过筛选试验确立了耐低磷棉花品种的筛选指标，除株高和根冠比对棉花品种和磷浓度不敏感而不能作为棉花品种苗期耐低磷筛选的指标外，地上部鲜重、总叶面积、叶绿素含量、地上部干物重、总干物重和磷利用率可以作为耐低磷棉花品种的筛选指标，利用这些指标将 88 个棉花抗枯、黄萎病品种进行聚类分析，筛选出 3 个耐低磷和 5 个非耐低磷的品种。

不同研究者在进行作物磷素苗期筛选时，多采用营养液培养或砂培法，其优点在于，磷在培养基质中以水溶态存在，受环境影响小，能够比较精确地确定筛选浓度，但成本较高，管理比较繁琐，

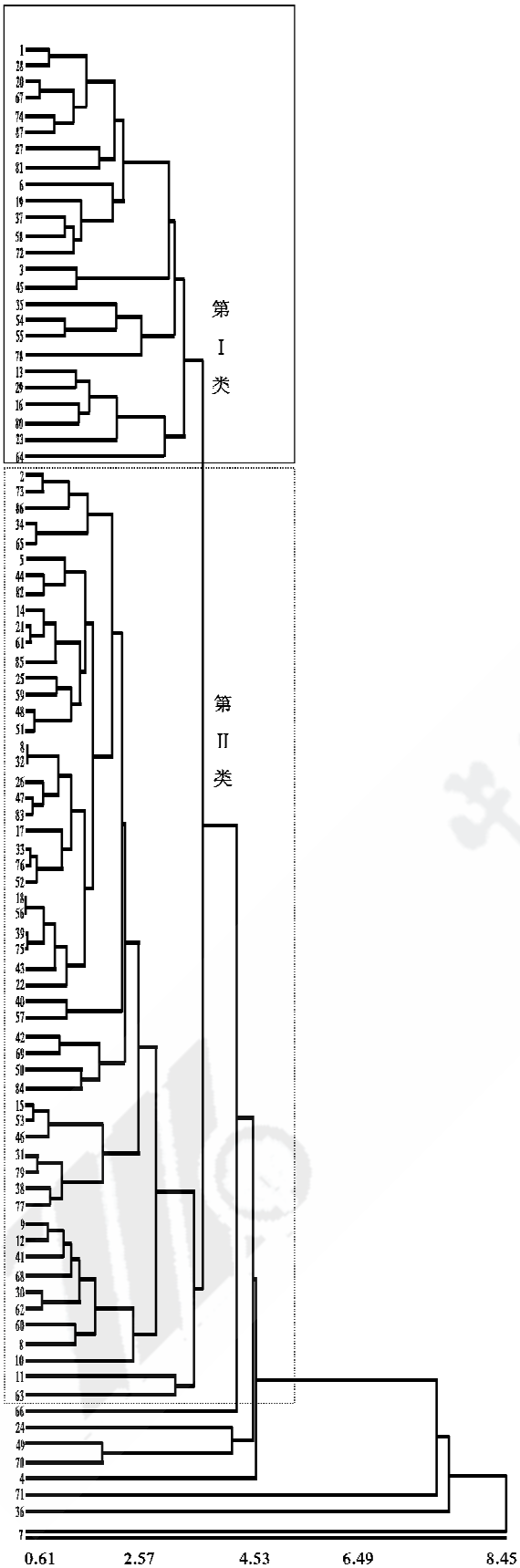


图 2　88 个棉花品种基于 6 个测定指标的聚类分析图

Fig. 2　Dendrogram of 88 cotton varieties based on six screening indices

工作量大[12]。蛭石栽培同时浇灌营养液的方法，具有成本较低、管理简单、工作量小等优点，能够有效地筛选出耐低磷的棉花基因型。前人在植物磷营养效率性状基因型差异方面已经进行了大量研究，积累了丰富的资料。在低磷胁迫下，小麦旗叶中的含磷量、蚕豆的根系生物量、番茄的地上部干物重、水稻的相对分蘖力分别被认为是该种植物可靠的耐磷胁迫参数[3]。本研究通过在指标筛选试验中对多个测定指标的筛选，最终确立棉苗总干物重、磷利用率、地上部鲜重、叶绿素含量、地上部干物重和总叶面积指标可以作为棉花品种苗期耐低磷筛选的指标。

有关研究表明，营养高效基因型是指在缺磷条件下，能够利用自身根系分泌的有机酸活化土壤中难溶性磷，协调生长代谢，维持正常的生长发育过程，最终形成较高产量的基因型[13]。由于植物对磷素的利用能力具有模糊性，耐低磷基因型和非耐低磷基因型的表现特征是连续的，没有明显的界限，磷素的影响不仅表现在相对干物重上，而且与植株的地上部鲜重、叶绿素含量、总叶面积等性状也相关。本试验在确立的筛选指标基础上，从 88 个棉花抗枯、黄萎病品种中筛选出 3 个耐低磷极端基因型品种和 5 个非耐低磷极端基因型品种。这些品种可以作为培育耐低磷胁迫的棉花抗病品种以及开展棉花耐低磷 QTL 定位与克隆等研究的重要资源。

参考文献：

[1] 王庆仁，李继云，李振声. 高效利用土壤磷素的植物营养学研究[J]. 生态学报，1999，19(3)：417-421.
WANG Qing-ren, Li Ji-yun, Li Zhen-sheng. Studies on plant nutrition of efficient utility for soil phosphorus[J]. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(3): 417-421.

[2] 董合林. 我国棉花施肥研究进展[J]. 棉花学报，2007，19(5)：378-384.
DONG He-lin. Research progress on fertilization technology of cotton[J]. Cotton Science, 2007, 19(5): 378-384.

[3] 吴　平，印莉萍，张立平. 植物营养分子生理学[M]. 北京：科学出版社，2001：103-108.
WU Ping, Yin Li-ping, Zhang Li-ping. Molecular physiology of plant nutrition[M]. Beijing: Science Press, 2001: 103-108.

[4] 刘芷宇. 植物的磷素营养和土壤的生物有效性[J]. 土壤，1992，24(2)：97-101.

LIU Zhi-yu. Plant phosphorus nutrition and its soil biological availability[J]. Soil, 1992, 24(2): 97-101.

[5] 张福锁. 植物营养生态生理和遗传学[M]. 北京:中国科技出版社,1993.
ZHANG Fu-suo. Ecophysiology and genetics of plant nutrition[M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1993.

[6] 李永夫,罗安程,王为木,等. 耐低磷水稻基因型筛选指标的研究[J]. 应用生态学报,2005,16(1):119-124.
LI Yong-fu, Luo An-cheng, Wang Wei-mu, et al. An approach to the screening index for low phosphorous tolerant rice genotype[J]. Journal of Applied Ecology, 2005, 16(1): 119-124.

[7] 龚 江,白治新,陈 强,等. 供磷水平对不同磷效率玉米根系的生长及磷营养的影响[J]. 新疆农业科学,2004,41(2):118-120.
GONG Jiang, Bai Zhi-xin, Chen Qiang, et al. Study on mechanism of root growth and P nutrition in different P-efficiency maize[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2004, 41(2): 118-120.

[8] 阎秀兰,段海燕,王运华. 甘蓝型油菜不同基因型幼苗磷营养差异的研究[J]. 中国油料作物学报,2002,24(2):47-49.
YAN Xiu-lan, Duan Hai-yan, Wang Yun-hua. Phosphorus efficiency of different rape (*Brassica napus* L.) genotype[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2002, 24(2): 47-49.

[9] 邹 琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
ZOU Qi. The experiment direction of plant physiology[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000.

[10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
BAO Shi-dan. Soil agrochemistry analysis[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000.

[11] ROHLF F J. *NTSYS* pc numerical taxonomy and multivariate analysis system user guide [M]. Setauket, NY: Exeter Software, 2000.

[12] BARBER W D, Thomas W I, Baker D E. Inheritance of relative phosphorus accumulation in corn (*Zea mays* L.) [J]. Crop Sci, 1967, 7: 104-107.

[13] 陆文龙,曹一平,张福锁. 根分泌的有机酸对土壤磷和微量元素的活化作用[J]. 应用生态学报,1999,10(3):379-382.
LU Wen-long, Cao Yi-ping, Zhang Fu-suo. Role of root exuded organic acids in mobilization of soil phosphorus and micronutrients[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(3): 379-382.