

文章编号: 1005-0906(2007)05-0012-05

几个玉米自交系和杂交种耐低磷能力的研究

杨 永¹, 石海春², 柯永培², 李静威², 袁继超², 结子汪桂², 汤 昭²

(1. 四川农业大学资源与环境学院, 四川 雅安 625014; 2. 四川农业大学农学院, 四川 雅安 625014)

摘要: 采用水培法对玉米自交系和杂交种进行了耐低磷能力指标鉴定, 提出了利用耐低磷综合指数评价不同材料耐低磷能力的方法。结果表明, 低磷胁迫对玉米幼苗形态表现、干物质积累、磷积累量及磷利用效率均有显著影响, 但不同指标对不同玉米基因型的影响程度并不一致。综合指数分析结果, 自交系 698-3H 和杂交种正红 6 号的综合耐低磷能力较强, 分别属于磷高效利用型和高效吸收型; 自交系 K335 和杂交种正红 115 的综合耐低磷能力较弱。

关键词: 玉米; 耐低磷能力; 鉴定**中图分类号:** S513.024**文献标识码:** A

Study on the Ability of Low Phosphorus Tolerance of Some Maize Inbred Lines and Hybrids

YANG Yong¹, SHI Hai-chun², KE Yong-pei², YUAN Ji-chao², et al.

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014;

2. Agronomy College, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

Abstract: Study on the ability of low phosphorus tolerance of maize inbred lines and hybrid varieties by hydro-culture were conducted, and evaluated the ability of low phosphorus tolerance with different maize by composite tolerant low-P index. The result showed that low phosphorus stress had a significant effect on physiological characteristic of maize seedling, dry matter accumulation, P-accumulation and P-utilization efficiency, but the impact degree of different indexes on different maize genotypes were incongruous. The result of composite tolerant low-P index showed that composite ability of low phosphorus tolerance of inbred lines 698-3H and hybrid varieties Zhenghong6 were better, which belonged to high utilizing of phosphorus and high absorption of phosphorus separately. However, composite ability of low phosphorus tolerance of inbred lines K335 and hybrid varieties Zhenghong115 were inferior.

Key words: Maize; Low-phosphorus tolerance; Identification

土壤缺磷是当今农业生产中限制作物生长与产量的主要因素之一。我国有 2/3 的耕地缺磷, 主要

集中在南方的红壤及砖红壤地区。增施可溶性肥可部分缓解磷胁迫的影响, 但随着磷矿资源的日趋耗竭和能源危机的加剧, 磷肥生产受到严重限制, 施入土壤中的磷肥绝大部分(75% ~ 90%)被转化为难溶态, 植物对其利用效率很低。此外, 大量施用磷肥还会导致环境污染。因此, 挖掘植物自身的潜力, 充分活化和利用潜在磷, 是自身进行磷高效利用的重要机制。

本研究以玉米苗期的生物产量和磷积累量为重要指标进行磷敏感性的鉴定, 提出了利用耐低磷综合指数评价不同材料耐低磷能力的方法。以生产上广泛使用及新选育的部分优良玉米自交系和杂交种为材料, 进行磷敏感性研究和综合评价, 筛选

收稿日期: 2007-05-28**基金项目:** 国家农业科技成果转化资金项目(04EFN215110257)、国家科技成果重点推广项目(2005EC000304)、国家星火计划项目 (2005EA810080)、四川省教育厅重点科技项目(2005A001)**作者简介:** 杨 永(1983-), 男, 四川成都人, 在读硕士研究生, 主要从事植物营养与生理研究。Tel: 13795848508

E-mail: yangyong2025@163.com

袁继超为本文通讯作者。Tel: 0835-2882239

E-mail: yuanjichao5@163.com

耐低磷的杂交种和自交系,为指导玉米生产应用和耐低磷玉米品种的选育提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料选用 9 个玉米自交系 698-3H、18-599、K236、NF05-411、K169、K335、R08、K305、48-2 和 7 个杂交种川单 15、川单 19、正红 2 号、正红 6 号、正红 115、正红 211、正红 311。其中,自交系 698-3H 由四川省农科院作物所选育;自交系 18-599、R08 和 48-2 由四川农业大学玉米所选育;其余自交系和杂交种均由四川农业大学农学院育成。

1.2 试验设计

试验采用水培法。将精选的玉米种子用 15%的 H_2O_2 表面消毒 10 min,蒸馏水洗净后用水浸泡 8 h。转移至用蒸馏水浸透的滤纸上,装入培养皿中并在 27℃ 培养箱中催芽,待种子露白后播种在带沙网的培养杯中,于室温下生长。幼苗长至一叶一心时,将幼苗移入高 20 cm、直径 18 cm 的塑料桶中培养(苗基部用脱脂棉裹住,桶上部用泡膜作支持物),塑料桶外部用双层黑塑料布遮光。每桶留 3 株苗,每处理设 3 个重复。起初在桶中装入蒸馏水,使植株适应生长 24 h 后换成营养液。设两个营养处理:对照(CK, P 浓度为 1 mmol/L 营养液)、低 P(P 浓度为 0.001 mmol/L)。营养液的其他养分组成如下:0.1 mM KCl、0.75 mM K_2SO_4 、2 mM $Ca(NO_3)_2$ 、0.65 mM $MgSO_4$ 、100 μM Fe_2EDTA 、1 μM H_3BO_3 、1 μM $MnSO_4$ 、1 μM $ZnSO_4$ 、0.1 μM $CuSO_4$ 、0.5 μM $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$,磷源为 KH_2PO_4 。其中低 P 处理加 0.85 mol/L 的 K_2SO_4 以补足 K 的量。每天用加氧泵向溶液中通气 3~4 次,每次 60 min,保证根系良好生长。每 4 d 换一次营养液。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 低磷胁迫下植株症状的判断与分级

其方法采用目测分级法,于出苗后 32 d 进行目测分级:1 级,植株生长健壮,无缺磷症状;2 级,基本无缺磷症状,植株较瘦小;3 级,少数叶片呈现紫红色,植株较瘦弱;4 级,多数叶片出现紫红色,植株瘦弱,生长势很差。

1.3.2 幼苗长度及干物质积累量测定

测定每株幼苗的长度后,将植株立即于烘箱中 105℃ 杀青 30 min,70℃ 烘至恒重,并记录其干重。

1.3.3 植株磷含量测定

分别将称过于重的植株样品磨碎至通过直径 0.4 mm 筛,采用硫酸—高氯酸消化,钼锑抗比色法

测定磷含量。

1.4 评价方法

1.4.1 磷养分表达方法

根据 Morris 和 Garritty 指出的资源的捕获量和利用效率的关系,植物对磷的吸收效率可以用植株的磷吸收量表示,说明作物从介质中获取磷的能力。本研究在苗期以植株地上每单位吸收的磷量所产生的干物质重定义为植株的磷利用效率。

1.4.2 耐低磷指数评价方法

某性状的相对值,即低磷条件下的性状值/正常磷条件下的性状值,作为衡量该性状的耐低磷能力,以综合耐低磷指数评价某品种或材料的综合耐低磷能力,其计算公式如下:

$$P_i = \sum_{j=1}^n W_j P_{ij} \quad \text{..... ①}$$

式中 P_i 为第 i 品种或材料的综合耐低磷指数, P_i 越大,耐低磷能力越强; W_j 为第 j 性状(指标)的权重, P_{ij} 为第 i 品种或材料第 j 指标的耐低磷指数,介于 0~1 之间,按下式计算。

$$P_{ij} = \frac{R_{ij} - S_j}{M_j - S_j} \quad \text{..... ②}$$

$$\text{或 } P_{ij} = \frac{M_j - R_{ij}}{M_j - S_j} \quad \text{..... ③}$$

式中 R_{ij} 为第 i 品种或材料第 j 性状(指标)的实际值, M_j 为所有品种或材料中第 j 性状(指标)的最大值, S_j 为所有品种或材料中第 j 性状(指标)的最小值,式②适用于性状(指标)值大耐磷能力强的性状(指标),如干物重、株高等,式③则适用于性状(指标)值小耐磷能力强的性状(指标),如症状级别等。

2 结果与分析

2.1 低磷处理下幼苗形态表现

低磷处理下各供试材料茎、根受害症状及评级情况见表 1。从表 1 可见,不同基因型供试玉米材料的茎色和根色对低磷胁迫的反应各不相同,有的品种在低磷处理下茎色依然表现正常,有的却表现出紫色甚至是深紫色的差异。由于在低磷胁迫下玉米根系表面会出现“铁锈”色物质,所以其根色也表现出黄色和橙黄色的差异。同时,低磷条件下玉米幼苗长度也表现出不同程度的降低,根据相对株高和症状级别可初步判断,自交系 698-3H 和 R08、杂交种正红 2 号、正红 6 号和正红 311 相对耐低磷,自交系 18-599、NF05-411、K335 和杂交种川单 19、正红 115 相对磷敏感。

表 1 低磷处理下各供试材料茎、根受害症状及评级

Table 1 The symptom and assessment of stems and roots under low-phosphorus stress

材料名称及类型 Names and types		色泽 Colour		株高 Plant Height		相对苗高	症状级别
		茎 色 Stem	根 色 Root	CK	低磷处理 low-phosphorus stress	Relative plant height	Level of symptom
自交系	698-3H	黄绿	黄色	40.8	37.4	0.938 a	2.0 g
	18-599	深紫	橙黄	55.3	36.4	0.667 d	3.6 bed
	K236	紫色	橙黄	52.3	42.3	0.814 abc	3.7 bc
	NF05-411	紫色	黄色	63.0	46.4	0.737 bed	3.8 ab
	K169	紫色	黄色	50.9	37.6	0.742 bed	3.5 cd
	K335	紫色	黄色	65.8	46.3	0.707 cd	3.2 ef
	R08	深紫	橙黄	53.6	45.4	0.850 ab	3.0 f
	K305	紫色	橙黄	52.3	46.5	0.889 a	3.5 cd
	48-2	紫色	橙黄	55.9	51.9	0.931 a	3.6 bed
	杂交种	川单 15	深紫	橙黄	64.6	52.9	0.820 abc
川单 19		深紫	橙黄	66.8	49.4	0.749 bed	4.0 a
正红 2 号		深紫	橙黄	54.7	51.6	0.949 a	3.2 ef
正红 6 号		紫色	橙黄	49.1	44.8	0.930 a	3.0 f
正红 115		紫色	橙黄	53.7	43.8	0.820 abc	3.7 bc
正红 211		深紫	橙黄	59.8	53.6	0.897 a	3.5 cd
正红 311		紫色	橙黄	57.9	54.0	0.941 a	3.4 de

注:小写字母代表 5%显著水平。下表同。

Note: Lower case letters indicate significant at 5% level. The same as the following tables.

2.2 低磷处理对幼苗干物质积累的影响

出苗后 32 d 取样测定两种处理下各供试材料的干物质重,其中低磷处理各材料干物质重平均为 0.325 g/株,变幅为 0.206~0.510 g/株;正常磷处理的平均干物重为 0.463 g/株,变幅为 0.260~0.866 g/株。

低磷处理显著降低干物质积累量,平均降低 29.8%(表 2)。其中,以自交系 R08 降低的幅度最小,相对干重最大;其次为杂交种正红 6 号、正红 2 号及自交系 698-3H;自交系 K335 和 K305 及杂交种正红 115 的相对干物重最低,耐低磷能力较弱。

表 2 低磷处理对供试玉米材料干物质积累量的影响

Table 2 The effect of low-phosphorus stress on dry matter accumulation of maize

材料名称 Names	干重(g/ 株) Dry Matter		相对干重 Relative dry matter	材料名称 Names	干重(g/ 株) Dry Matter		相对干重 Relative dry matter
	CK	低磷处理			CK	低磷处理	
		low-phosphorus stress				low-phosphorus stress	
698-3H	0.352	0.273	0.776 e	48-2	0.446	0.268	0.601 j
18-599	0.432	0.310	0.718 f	川单 15	0.740	0.504	0.681 g
K236	0.446	0.291	0.651 hi	川单 19	0.768	0.510	0.664 h
NF05-411	0.623	0.376	0.604 j	正红 2 号	0.371	0.322	0.868 c
K169	0.361	0.206	0.571 k	正红 6 号	0.260	0.244	0.940 b
K335	0.866	0.490	0.565 k	正红 115	0.332	0.212	0.639 i
R08	0.384	0.405	1.057 a	正红 211	0.366	0.238	0.651 hi
K305	0.408	0.228	0.558 k	正红 311	0.415	0.328	0.790 d

2.3 低磷处理对植株磷积累量及磷利用效率的影响

低磷处理后显著降低各试验材料磷的吸收积累量,平均 1.944 mg/株,降幅达 84.3%,但不同品种或材料间降幅差异较大,其中自交系 K169、NF05-441

和杂交种正红 6 号的降幅较小,相对磷积累量均在 0.2 以上;而杂交种川单 19 号和自交系 698-3H、18-599 的降幅较大,相对磷积累量均在 0.1 以下(表 3)。

磷利用效率一般是指单位磷产生的干物质的多

少,它与磷营养环境及基因型有关。在正常磷条件下,供试的 16 个玉米材料中以自交系 K335 的磷利用率最高,其次为杂交种川单 19,自交系 R08 的磷利用率最低(表 3)。低磷胁迫大幅度提高了磷的利用效率,与对照相比,磷利用效率平均提高了 5.31 倍,其中以自交系 R08 和杂交种川单 19 提高的幅度最大,相对磷效率最高,以自交系 K169 和 K335 的相对磷效率最低。

表 3 低磷处理对供试材料磷积累量及磷利用效率的影响
Table 3 The effect of low-phosphorus stress on P-accumulation and P-utilization efficiency of maize

材料名称 Names	磷积累量(mg/ 株) P-accumulation		相对磷积累量 Relative P-accumulation	磷效率(g/mg P) P-utilization efficiency		相对磷效率 Relative P-utilization efficiency
	CK	低磷处理 low-phosphorus stress		CK	低磷处理 low-phosphorus stress	
698-3H	2.247	0.194	0.087 bc	0.157	1.543	9.886 a
18-599	2.249	0.216	0.097 bc	0.193	1.460	7.644 ab
K236	2.575	0.363	0.141 bc	0.174	0.815	4.707 cdef
NF05-411	3.226	0.673	0.207 ab	0.193	0.611	3.140 def
K169	2.753	0.759	0.275 a	0.131	0.330	2.509 f
K335	2.408	0.479	0.199 abc	0.360	1.037	2.875 ef
R08	4.028	0.490	0.161 abc	0.095	0.638	6.696 bc
K305	1.459	0.286	0.196 abc	0.280	0.797	2.849 ef
48-2	1.952	0.281	0.144 abc	0.229	0.952	4.169 cdef
川单 15	2.754	0.552	0.199 abc	0.269	1.638	6.049 bc
川单 19	2.652	0.181	0.068 c	0.291	2.904	9.886 a
正红 2 号	1.631	0.246	0.151 abc	0.228	1.310	5.752 bcd
正红 6 号	1.535	0.324	0.211 ab	0.169	0.754	4.455 cdef
正红 115	1.732	0.259	0.150 abc	0.192	0.818	4.278 cdef
正红 211	2.111	0.253	0.120 bc	0.174	0.946	5.451 bcde
正红 311	1.559	0.219	0.141 bc	0.266	1.498	5.627 bcde

从总体上看,无论是正常磷还是低磷条件下,单株磷的吸收积累数量以及低磷与正常磷条件下磷积累量的比值(即磷相对积累量)自交系均高于杂交种,平均提高幅度分别为 27.4%(正常磷条件磷积累量)、43.1%(低磷处理磷积累量)和 12.7%(磷相对积累量)。但磷的利用(生产)效率则相反,无论是正常磷还是低磷处理,杂交种的磷效率均较自交系的高,特别是在低磷处理下更高(正常磷和低磷处理下单株磷积累量杂交种分别较自交系高 12.7%和 55.0%),因此杂交种的相对磷效率也较自交系的高(20.0%)。由此表明,玉米自交系吸收积累磷的能力较杂交种强,但其利用效率则较杂交种低,其生理机制有待进一

步研究。
2.4 综合耐低磷能力评价
分析表明,磷胁迫对苗高、地上部干重、单株磷积累量及磷效率均有明显影响,可将其作为试验材料耐低磷能力的判断指标。但其影响的程度在基因型间存在显著差异,单一指标难以全面反映供试材料的综合耐低磷能力,而不同指标间常常是此低彼高,表现不一。因此有必要寻求一新的评价指标,以综合平衡各指标信息,基本体现不同试验材料的耐低磷能力。根据本文提出的耐低磷指数公式,计算时各指标的权重均取 1,不同材料的综合耐低磷指数见表 4。

表 4 试验材料间耐低磷指数比较
Table 4 The comparison of tolerant low-P index among maize genotypes

材料名称 Name	相对苗高指数 Index of relative plant height	症状级别指数 Index of level of symptom	相对干物重指数 Index of relative dry matter	相对磷积累量指数 Index of relative P-accumulation	相对磷效率指数 Index of relative P-utilization efficiency	综合耐低磷指数 Composite tolerant low-P index
698-3H	0.961	1.000	0.437	0.092	1.000	3.490
18-599	0.000	0.200	0.321	0.140	0.696	1.358

续表 4Continued 4

材料名称 Name	相对苗高指数 Index of relative plant height	症状级别指数 Index of level of symptom	相对干物重指数 Index of relative dry matter	相对磷积累量指数 Index of relative P-accumulation	相对磷效率指数 Index of relative P-utilization efficiency	综合耐低磷指数 Composite tolerant low-P index
K236	0.521	0.150	0.186	0.355	0.298	1.510
NF05-411	0.248	0.100	0.091	0.673	0.086	1.198
K169	0.266	0.250	0.026	1.000	0.000	1.542
K335	0.142	0.400	0.014	0.631	0.050	1.237
R08	0.649	0.500	1.000	0.450	0.568	3.166
K305	0.787	0.250	0.000	0.618	0.046	1.701
48-2	0.936	0.200	0.085	0.368	0.225	1.814
川单 15	0.543	0.250	0.247	0.632	0.480	2.151
川单 19	0.291	0.000	0.211	0.000	1.000	1.502
正红 2 号	1.000	0.400	0.620	0.401	0.440	2.861
正红 6 号	0.933	0.500	0.766	0.691	0.264	3.153
正红 115	0.543	0.150	0.162	0.394	0.240	1.488
正红 211	0.816	0.250	0.186	0.250	0.399	1.900
正红 311	0.972	0.300	0.465	0.351	0.423	2.511

从表 4 可以看出，在参试材料中，自交系 698-3H 的综合耐低磷能力最强,K335 的综合耐低磷能力最弱,其余材料介于两者之间;杂交种以正红 6 号的综合耐低磷能力最强，正红 115 的综合耐低磷能力最弱。从总体上看，综合耐低磷能力杂交种(平均综合耐低磷指数为 2.224)较自交系(平均综合耐低磷指数为 1.891)强。

3 结论与讨论

Smith 在 1934 年报道了玉米在吸收利用磷方面的品种间差异;Alvaro eleuterio da silva 提出地上部分干重和植株总含磷量均可作为玉米耐低磷筛选指标;张丽梅等认为应以干重和症状耐低磷指数的加权平均值为耐低磷玉米的筛选指标，但植株症状的判断具有一定的主观差异。本文在总结前人研究的基础上，采用综合耐低磷指数来评价试验材料的综合耐低磷能力,效果较好.该方法可以综合更多指标信息，包括形态特征、生理特性方面的性状 (或指标),反映更为全面,而且该方法克服了不同指标间量纲(单位)的不统一和数量级别上的差异,具有更高的可比性。在计算综合耐低磷指数时,还可根据各评价指标(性状)的相对重要性,赋予相应的权重,使评价结果更接近实际或评价目的。

根据综合耐低磷指数结果，参试材料中自交系 698-3H 的耐低能力强,可以作为耐低磷品种选育的重要材料加以应用,而 K335 的耐低磷能力较弱,需加以进一步的遗传改良；杂交种正红 6 号的综合耐

低磷能力强,可在土壤缺磷地区和地块示范推广,正红 115 的综合耐低磷能力较弱，适宜布局在磷素丰富的土壤和地区。从营养学角度看,作物耐低磷特性是通过提高植株总含磷量和磷利用效率来实现的。张丽梅等研究发现，即使同属于耐低磷的玉米自交系在生物学性状方面仍然存在着差异，因此其耐低磷机制也就有所不同，分为高效吸收型和高效利用型两种。本研究发现，耐低磷能力较强的自交系 698-3H 属于高效利用型,而杂交种正红 6 号则属于高效吸收型。

参考文献:

[1] Wissuwa M. How do plants achieve tolerance to phosphorus deficiency Small causes with big effects[J]. Plant Physiology, 2003, 133(4): 1947-1958.

[2] 鲁如坤,时正元. 退化红壤肥力障碍特征及重建措施 I .退化状况评价及酸害纠正措施[J]. 土壤,2000(4):198-209 .

[3] 李绍长,龚江,王军. 玉米自交系苗期耐低磷基因型的筛选[J]. 玉米科学,2003,11(3):85-89 .

[4] 山东农学院. 西北农学院.植物生理学实验指导[M]. 济南:山东科学技术出版社,1980 .

[5] Morris R A, Garrity D P. Resource capture and utilization in intercropping: non-nitrogen nutrients[J]. Field Crops Research, 1993, 341: 319-334

[6] 严小龙,张福锁. 植物营养遗传学[M]. 北京:中国农业出版社,1997 .

[7] 张丽梅,贺立源,李建生,徐尚忠. 玉米自交系耐低磷材料苗期筛选研究[J]. 中国农业科学,2004,37(12):55-59 .

(责任编辑:朱玉芹)