

# 四川盆地及盆周山区玉米地方种质耐低磷胁迫研究

向葵, 杨克诚

(四川农业大学 玉米研究所, 教育部作物基因资源与遗传改良重点实验室, 四川 雅安 625014)

**摘要:** 以来自四川盆地及盆周山区的 22 个玉米地方种质为材料, 在低磷胁迫下对苗期缺磷症状、成株期株高、穗行数、百粒重、行粒数以及穗粒重等性状表现进行了研究。结果表明, 低磷胁迫对玉米的主要农艺、经济性状均有不同程度的影响, 其中对苗期缺磷症状及成株期穗粒重的影响最大, 且不同玉米地方种质在苗期和成株期对低磷胁迫的反应不同, 以苗期缺磷症状和成株期穗粒重的耐低磷胁迫系数的平均值作为耐低磷综合指数, 能较好地反映玉米地方种质的耐低磷胁迫能力。将耐低磷综合指数按最短距离法进行聚类, 可将 22 个玉米地方种质划分为三类。其中, 第一类材料包括: 汉源红包谷、汉源白包谷、汶川二白、江北大板牙, 占鉴定总数的 18.2%, 它们的耐低磷综合指数在 0.81 以上, 属于对低磷胁迫不敏感基因型; 第二类材料包括南充秋子等 4 个玉米地方种质, 占鉴定总数的 18.2%, 它们的耐低磷综合指数在 0.73~0.77 之间, 属于对低磷胁迫反应中间型; 第三类材料包括小金金皇后等 14 个地方种质, 占鉴定总数的 63.6%, 它们的耐低磷综合指数在 0.73 以下, 属于对低磷胁迫敏感基因型。

**关键词:** 玉米; 地方种质; 耐低磷胁迫; 筛选

中图分类号: S513.06 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2008)02-0132-06

## Study on the Response to Low Phosphorus Stress in Maize Landraces in Sichuan Basin and the Mountain Areas Around Sichuan Basin

XIANG Kui, YANG Ke-cheng

(Maize Research Institute, Key Laboratory of Crop Genetic Resources and Improvement, Ya'an 625014, China)

**Abstract:** Under the low phosphorus conditions, 22 maize landraces which from Sichuan Basin and the Mountain Areas Around Sichuan Basin have been studied on the lacking phosphorus for maize seedling stage, plant height, rows per ear, 100-kernel weight, kernels per row and kernel yield per ear. The results showed that there were different responses to low-P stress in different characters, especially on lacking phosphorus for maize seedling stage and kernel yield per ear. Different landraces respond differently to low-P stress. The index based on relative lacking phosphorus for maize seedling stage and kernel yield per ear was suggested as a screening standard to identify low-P tolerance of maize landraces. According to above index, 22 maize landraces had been divided into 3 groups. The first one included four maize landraces, their index were before 0.81, were typical genotypes with tolerance to low-phosphorus; The second included 4 maize landraces, their index were between 0.73-0.77, were common genotypes with tolerance to low-phosphorus; While 14 maize landraces were sensitive to low-phosphorus stress, their index were below 0.73.

**Key words:** Maize; Landraces; Tolerance to low phosphorus stress; Screening

磷是植物生长发育所必需的主要大量元素之一。土壤中磷的缺乏对玉米的产量和品质都将产生重大影响。然而, 磷肥的当季利用率只有 10%~25%, 施入土壤中的大部分磷肥作为无效态(难溶态)在土壤中积累<sup>[1]</sup>。同时磷矿是一种不可再生资源, 如以每年消耗磷矿 9 400 万 t 计算, 世界磷矿的

储量只能使用 60~90 年<sup>[2]</sup>。因此, 提高作物对磷的吸收和利用效率已成为重要的研究课题。已有研究表明, 不同植物类型利用土壤或难溶性磷矿中磷素的能力不同, 根据作物自身潜力, 充分利用土壤中巨大的磷库资源具有重要意义。许多研究表明, 由于植物遗传变异的多样性, 植物对磷素的利用效率存

收稿日期: 2007-12-12

基金项目: 国家科技攻关计划(2004BA525B04); 教育部“长江学者和创新团队发展计划”(IRT0453); 四川省玉米育种攻关项目资助

作者简介: 向葵(1983-), 女, 四川罗江人, 硕士, 主要从事玉米遗传育种研究。

通讯作者: 杨克诚(1940-), 男, 四川郫县人, 教授, 博士生导师, 主要从事玉米遗传育种研究。

在显著差异。这种差异不仅表现在种间,而且同一植物不同品种间也有差异。早在 1934 年 Smith 就报道了玉米在吸收利用磷方面的品种间差异。地方种质资源由于长期生活在一定的生态条件下,具有对地方环境适应性强、遗传基础丰富,含有许多可被利用的优良基因的特点,是不可缺少的种质资源<sup>[3,4]</sup>。四川盆地及盆周山区的黄壤酸性较强,土壤有效磷含量较低,这一地区的玉米地方种质在长期的自然选择和人工选择下已形成了对这一区域独特土壤气候条件的适应,因此,应是筛选耐低磷基因型的较好材料。但是,目前对玉米地方种质耐低磷的研究很少,还难以利用现有资料开展有关工作。本研究利用四川盆地及盆周山区的玉米地方种质作为供试材料,进行耐低磷胁迫研究,旨在通过对苗期及成株期主要生物学性状的分析,探讨玉米地方种质耐低磷的筛选指标,并对供试材料进行评价,以期为玉米磷高效育种提供一定的依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试材料为来自四川盆地及盆周山区的 22 份地方品种。材料代号、来源地区及种子特征见表 1。

表 1 玉米地方种质名称、编号及种质特征  
Tab.1 The name, No. and germplasm characteristics of maize landraces

名称 Name	全国统一 编号 No.	种质特征 Germplasm characteristics
汉源红包谷		籽粒白色半马齿,植株矮小,生育期长
汉源白包谷		籽粒黄色半马齿,植株偏高,生育期中偏长
小金金皇后	210020	籽粒黄色硬粒,植株中等,生育期中偏长
汶川二白	210671	籽粒白色硬粒,植株中等,生育期中偏长
丹巴绒寨玉米	210054	籽粒黄色半马齿,植株矮小,生育期偏长
雷波糯玉米	210190	籽粒白色硬粒,植株偏高,生育期偏长
邻水大督督	210266	籽粒黄色半马齿,植株中等,生育期中偏长
大竹鱼嘴包谷	210283	籽粒白色硬粒,植株中等,生育期偏长
南充秋子	210392	籽粒黄色硬粒,植株中等,生育期中偏长
仪陇大广元	58101 67	籽粒黄色硬粒,植株偏矮,生育期短
广元冷风乌	210428	籽粒白色半马齿,植株高大,生育期长
筠连大白马牙	210488	籽粒白色硬粒,植株中等,生育期偏短
筠连红玉米	210497	籽粒红色半马齿,植株偏高,生育期偏短
筠连乌耳	210498	籽粒蓝色半马齿,植株偏高,生育期长
筠连血丝	210499	籽粒白色半马齿,植株中等,生育期适中
屏山大黄	210507	籽粒黄色硬粒,植株偏高,生育期中偏短
屏山小白	210510	籽粒白色硬粒,植株偏高,生育期适中
叙永大坝白	210534	籽粒白色硬粒,植株偏高,生育期适中
青神大寨包谷	210596	籽粒黄色半马齿,植株中等,生育期偏短
江北大板牙	210649	籽粒黄色马齿,植株高大,生育期适中
甘孜二白	210662	籽粒白色硬粒,植株矮小,生育期短
巫山大子黄	210895	籽粒黄色硬粒,植株偏高,生育期适中

1.2 田间试验设计

田间试验于 2006 年 4 月 7 日在四川省雅安市

中里镇进行。土壤为紫色砂壤土,含有效 P 10.5 mg/kg,有效 N 35.4 mg/kg,有效 K 92.5 mg/kg, pH 5.6。

试验设 L<sub>p</sub>(不施磷肥)和 H<sub>p</sub>(施磷肥)2 种处理,施磷处理为每公顷施纯 N 210 kg(1/4 作基肥、1/4 作拔节肥、1/2 作攻苞肥),K<sub>2</sub>O 120 kg(3/4 作基肥、1/4 作攻苞肥),P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 130 kg(全作基肥);不施磷处理与高磷处理施等量的氮肥和钾肥。氮肥采用尿素,钾肥为氯化钾,磷肥为过磷酸钙。

采用随机区组设计,L<sub>p</sub> 和 H<sub>p</sub> 处理相邻种植,重复 2 次;每小区种植 32 株,种植密度为 48 000 株/hm<sup>2</sup>。

1.3 田间调查及室内考察性状

1.3.1 苗期调查性状 苗期田间植株缺磷症状调查参照刘向生等<sup>[5]</sup>的方法制定划分标准。5 月 10 日开始在试验点进行苗情调查。根据叶片表现出的缺素程度和植株的长势把植株缺磷症状划分为 5 级,见表 2。

表 2 苗期植株缺磷症状等级划分  
Tab.2 The grade divided of lacking phosphorus for maize seedling stage

等级 Grade	植株表现 Symptom	
	叶片 Leaves	植株 Plant
1	几乎全部可见叶严重变紫	长势极弱
2	二分之一以上的可见叶有严重紫色	长势差
3	三分之一以上的可见叶有明显紫色	受影响
4	叶缘和叶片有少许条状紫色	正常
5	无紫色	健壮

1.3.2 成株期调查性状 考查 L<sub>p</sub> 和 H<sub>p</sub> 处理下地方种质的株高及主要产量构成性状,包括穗行数、行粒数、百粒重及穗粒重。分析在正常田间条件(H<sub>p</sub>)及低磷胁迫(L<sub>p</sub>)下玉米地方种质农艺、经济性状表现的差异。

1.4 数据统计

为避免不同玉米品种自身生长发育特性不同对评价的影响,本研究采用耐低磷系数(Tolerant low-P index, TLP)评价不同玉米对低磷胁迫的忍耐程度,计算公式如下:

耐低磷系数= 低磷条件下某性状调查(测定)值 / 高磷条件下某性状调查(测定)值。

各项数据统计均采用 Excel 和 DPS 软件分析。

2 结果与分析

2.1 低磷胁迫下不同玉米地方种质苗期缺磷症状表现

对供试的 22 份玉米地方种质的苗期情况进行田间调查,记录在低磷条件下的缺磷症状等级。结

果表明,所有材料在高磷区表现为正常的生理状态,而在低磷区则表现出不同程度的缺磷状态,其缺磷症状等级见表 3。从表 3 可见,缺磷症状等级变化范围为 1.25~ 3.85,耐低磷系数变化范围为 0.25~ 0.77,变异系数为 35.7%。方差分析结果(表 4)表明,F 值达极显著水平,说明不同玉米地方种质间缺

磷症状存在显著的基因型差异。其中,汉源红包谷、汉源白包谷、汶川二白及江北大板牙的耐低磷系数均在 0.70 以上,表明其耐低磷性较强;屏山小白、屏山大黄、巫山大子黄、丹巴绒寨玉米、雷波糯玉米及邻水大督督耐低磷系数在 0.33 以下,表明其对低磷极为敏感。

表 3 玉米地方种质苗期缺磷症状等级

Tab.3 The grade divided of lacking phosphorus for maize seedling stage

名称 Name	缺磷症状等级 P- deficiency symptoms	耐低磷系数 TLP	名称 Name	缺磷症状等级 P- deficiency symptoms	耐低磷系数 TLP
汉源红包谷	3.65	0.73	筠连大白马牙	2.55	0.51
汉源白包谷	3.50	0.70	筠连红玉米	1.75	0.35
小金金皇后	1.75	0.35	筠连乌耳	2.80	0.56
汶川二白	3.85	0.77	筠连血丝	2.40	0.48
丹巴绒寨玉米	1.35	0.27	屏山大黄	1.40	0.28
雷波糯玉米	1.25	0.25	屏山小白	1.30	0.26
邻水大督督	1.65	0.33	叙永大坝白	2.85	0.57
大竹鱼嘴包谷	2.00	0.40	青神大寨包谷	2.45	0.49
南充秋子	2.55	0.51	江北大板牙	3.70	0.74
仪陇大广元	1.95	0.39	甘孜二白	2.10	0.42
广元冷风乌	2.60	0.52	巫山大子黄	1.40	0.28

表 4 玉米地方种质缺磷症状耐低磷胁迫系数的变化范围、变异系数及方差分析结果

Tab.4 Variance analysis of P- deficiency symptomsTLP

变化范围 Range	平均值 Mean	低磷区变异系数/% CV	F 值 F- value
0.25~ 0.77	0.46	35.7	10.4**

注: \* 表示在 0.05 水平上显著, \*\* 表示在 0.01 水平上显著, 下同。  
Note: \* and \*\* stand for the significant levels at 0.05 and 0.01, respectively, the same below.

表 5 玉米地方种质各性状的耐低磷系数

Tab.5 TLP of characters in maize landraces

地方品种 Landraces	株高 Plant height	穗行数 Rows per ear	百粒重 100- kernel weight	行粒数 Kemels per row	穗粒重 Kernel yield per ear
汉源红包谷	0.93	0.90	0.92	0.89	0.89
汉源白包谷	0.92	1.00	0.99	1.00	0.98
小金金皇后	0.90	0.97	0.98	0.86	0.63
汶川二白	0.93	0.99	0.97	0.83	0.98
丹巴绒寨玉米	0.95	0.98	0.94	0.82	0.65
雷波糯玉米	0.96	0.95	0.99	0.82	0.98
邻水大督督	0.97	0.97	0.98	0.87	0.99
大竹鱼嘴包谷	0.99	0.90	1.00	0.96	0.57
南充秋子	0.95	0.97	0.99	0.98	0.97
仪陇大广元	0.97	0.98	0.79	0.88	0.64
广元冷风乌	0.97	0.92	1.00	0.97	0.95
筠连大白马牙	0.91	0.95	0.81	0.85	0.62
筠连红玉米	0.95	0.95	0.90	0.84	0.89
筠连乌耳	0.92	0.98	0.98	0.97	0.69
筠连血丝	0.99	0.98	1.00	0.71	0.98
屏山大黄	1.00	0.98	0.86	1.00	0.90
屏山小白	0.96	0.98	0.98	0.81	0.90
叙永大坝白	0.95	0.96	0.98	1.00	0.96
青神大寨包谷	0.98	0.99	0.84	0.91	0.61
江北大板牙	0.97	0.97	1.00	0.83	1.00
甘孜二白	0.94	0.97	0.95	0.94	0.82
巫山大子黄	0.92	0.98	0.88	0.91	0.77
平均值 Mean	0.95	0.96	0.94	0.89	0.84
F- value	8.17**	10.44**	21.3**	10.33**	26.40**
CV/ %, LP	35.6	56.3	54.3	57.6	62.0

2.2 低磷胁迫下不同玉米地方种质主要农艺、经济性状差异分析

各玉米地方种质在低磷胁迫下主要农艺、经济性状的耐低磷系数列于表 5。从表 5 可以看出,低磷胁迫对玉米地方种质的主要农艺、经济性状均有不同程度的影响,但是不同性状受影响的程度不同,主要农艺、经济性状的平均耐低磷系数变化范围为 0.84~ 0.96,其中,穗粒重的耐低磷系数平均值较低,为 0.84,表明其受低磷胁迫影响最大,而株高、穗行数、行粒数、百粒重的耐低磷系数平均值较高,表明这些性状受低磷胁迫影响较小。

方差分析结果(表 5)表明,不同玉米地方种质间各考察性状受低磷胁迫的影响均存在显著的基因型差异。从耐低磷系数的变异系数看,除株高的变异系数稍小外,其余性状的变异系数均在 50% 以上,同样说明不同玉米种质间耐低磷胁迫存在极大的差异。若从终极指标穗粒重耐低磷系数看,则汉源白包谷、汶川二白、雷波糯玉米、邻水大督督、南充秋子、广元冷风乌、筠连血丝、屏山大黄、屏山小白、叙永大坝白和江白大板牙属于对低磷胁迫不敏感类型,它们的耐低磷系数均在 0.90 以上。而小金金皇后、丹巴绒寨玉米、大竹鱼嘴包谷、仪陇大广元、筠连大白马牙、筠连乌耳和青神大寨包谷则属于对低磷胁迫较敏感类型,它们的耐低磷胁迫系数均在 0.70

以下。

2.3 低磷胁迫下不同玉米地方种质苗期缺磷症状与后期主要农艺、经济性状差异的比较分析

综合表 3、表 4 及表 5 可以看出,就不同玉米地方种质而言,同一材料不同生育时期受低磷胁迫影响的程度及方向不同。如屏山小白、屏山大黄、邻水大督督及雷波糯玉米,在苗期调查的缺磷症状的耐低磷系数均较低,而在成株期其各项耐低磷系数值却较高;而汉源红包谷、汉源白包谷、汶川二白、江北大板牙不仅在苗期表现优异,在成株期的主要农艺、经济性状也表现为具有强耐低磷胁迫能力;另外一些种质如大竹鱼嘴包谷、仪陇大广元、筠连大白马牙等则在苗期和成株期都表现出耐低磷胁迫能力较差。因此,不同玉米地方种质在生长发育的不同时期对低磷胁迫的反应是不同的。

2.4 性状间耐低磷系数的相关分析

各性状耐低磷系数与穗粒重耐低磷系数之间的相关系数列于表 6。由表 6 可以看出,穗粒重耐低磷系数与行粒数耐低磷系数呈极显著正相关,与缺磷症状耐低磷系数呈显著负相关,与株高、穗行数及百粒重的耐低磷系数的相关性不显著。说明不同性状耐低磷胁迫对穗粒重的影响不同,以行粒数耐低磷胁迫和苗期耐低磷胁迫对穗粒重的影响最大。

表 6 各性状耐低磷系数与穗粒重耐低磷系数的相关关系  
Tab. 6 The correlation of characters' TLP and kernel weight/ ears' TLP

性状的相对值 Relative value of trait	缺磷症状 P- deficiency symptoms	株高 Plant height	穗行数 Rows/ear	行粒数 Kernels/row	百粒重 100- kernel weight
穗粒重 Kernel weight/ ear	- 0.381 *	0.172	0.086	0.510 **	0.058

表 7 玉米地方品种群体的耐低磷综合指数  
Tab. 7 The index of tolerance to low phosphorus stress for maize landraces

地方种质 Landraces	综合耐低磷指数 The index of tolerance to low phosphorus stress	地方种质 Landraces	综合耐低磷指数 The index of tolerance to low phosphorus stress
汉源红包谷	0.81	筠连大白马牙	0.57
汉源白包谷	0.84	筠连红玉米	0.62
小金金皇后	0.49	筠连乌耳	0.63
汶川二白	0.88	筠连血丝	0.73
丹巴绒寨玉米	0.46	屏山大黄	0.59
雷波糯玉米	0.62	屏山小白	0.58
邻水大督督	0.66	叙永大坝白	0.77
大竹鱼嘴包谷	0.49	青神大寨包谷	0.55
南充秋子	0.74	江北大板牙	0.87
仪陇大广元	0.52	甘孜二白	0.62
广元冷风乌	0.74	巫山大子黄	0.53

2.5 耐低磷玉米地方种质的筛选

作物产量是评判基因型耐低磷能力的决定性指标,穗粒重是玉米产量形成的最为直观的因素。利用它作为筛选指标能在一定程度上客观反映不同玉

米群体受低磷胁迫的影响程度。由于穗行数、行粒数及百粒重是构成穗粒重的直接因素,因此可不考虑在筛选指标之内。为避免不同玉米地方种质自身生长发育特性不同对评价的影响,根据相关分析结

果,本研究用(缺磷症状耐低磷系数+穗粒重耐低磷系数)/2 作为综合指数以评价不同玉米地方种质对低磷胁迫的忍耐程度,22 个玉米地方种质的综合耐低磷指数列于表 7。以此为指标,用最短距离法可将 22 个玉米地方种质聚为 3 类(图 1)。

从图 1 可知,第一类材料包括汉源红包谷、汉源白包谷、汶川二白、江北大板牙,占鉴定总数的 18.2%,它们的耐低磷综合指数在 0.81 以上,属于对磷胁迫不敏感基因型,可以作为耐低磷胁迫育种基础材料加以利用;第二类材料包括南充秋子、广元冷风乌、筠连血丝、叙永大坝白,占鉴定总数的 18.2%,它们的耐低磷综合指数在 0.73~ 0.77 之间,属于对磷胁迫反应中间型;第三类包括小金金皇后、大竹鱼嘴包谷、仪陇大广元、巫山大子黄、筠连大白马牙、屏山小白、屏山大黄、青神大寨包谷、丹巴绒寨玉米、雷波糯玉米、筠连红玉米、甘孜二白、筠连乌耳、邻水大督督,占鉴定总数的 63.6%,它们的耐低磷综合指数在 0.73 以下,属于对低磷胁迫敏感基因型。

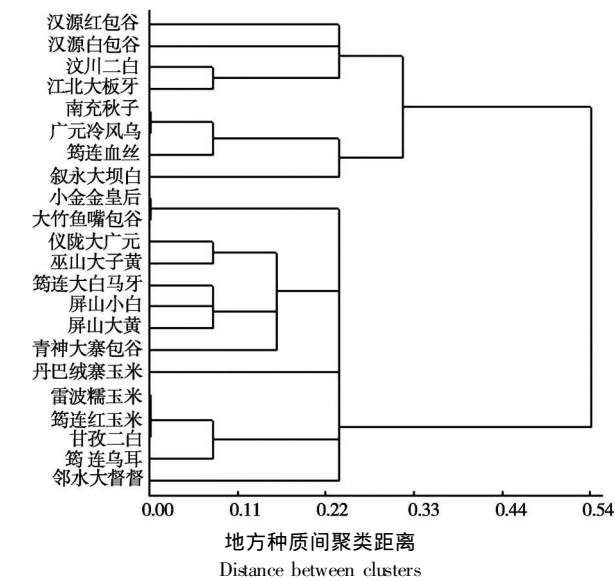


图 1 玉米地方种质耐低磷综合指数聚类图

Fig 1 Cluster analysis of maize landraces' index TLP

### 3 结论与讨论

#### 3.1 耐低磷材料筛选的种质基础

长期高肥力条件下的人工选择使得大量玉米耐低磷基因丢失,导致耐低磷种质匮乏。近年来,许多科研单位都加大了对耐低磷种质的研究力度,李绍长等<sup>[6]</sup>对 40 个玉米自交系进行了苗期耐低磷营养特性的分析,仅筛选出 1 个具有高效吸收和高效利用特性的自交系;张吉海等<sup>[8]</sup>在 76 个玉米自交系的试验中,筛选出耐低磷自交系 5 个,占参试材料的 6.5%;刘鸿雁等<sup>[7]</sup>从 22 个玉米地方种种质选系中

筛选出 4 个耐低磷基因型材料,占参试材料的 18.2%;本试验在 22 个玉米地方种质中筛选出了 4 个耐低磷胁迫种质,占参试品种的 18.2%。王春丽等<sup>[12]</sup>的研究结果也表明,尽管收集的 50 个玉米自交系涵盖了中国玉米生产上利用的一大部分骨干系,但其中也只有极少数属耐低磷的基因型。由此可以看出,从具有丰富基因型的地方种质中筛选耐低磷胁迫种质的几率大大高于普通自交系,而近几年对耐低磷胁迫种质的研究中却鲜有关于地方种质筛选的报道,因此参试材料的狭窄性可能是制约耐低磷胁迫研究取得重大突破的一个重要因素。所以,拓宽筛选耐低磷材料的种质基础已成为能否筛选出耐低磷基因型的前提。从本研究结果看,充分发掘玉米地方种质可能是拓宽耐低磷胁迫基因型筛选种质基础的重要途径。

#### 3.2 耐低磷材料筛选的指标

长期低磷胁迫下的玉米地方种质存在着丰富的磷高效种质,鉴定、筛选玉米地方种质中的这一特殊种质,是遗传改良玉米耐低磷特性的重要基础。因而,建立一套适合玉米地方品种磷高效种质的筛选指标和筛选方法尤为重要。目前,关于植物耐低磷能力的评价还缺乏统一指标<sup>[13]</sup>。本试验结果表明,仅利用玉米地方种质苗期缺磷症状作为筛选指标很不全面。试验中观察到,有的玉米地方种质虽然在苗期表现出严重缺磷症状,但在成株期却表现出耐低磷胁迫。作物产量是评判基因型耐低磷能力的决定性指标,Gourley 等<sup>[14]</sup>就提出对植物营养基因型的定义应以生物量为标准,为了防止单一指标筛选造成的偏差,根据本试验结果,笔者建议将苗期缺磷症状耐低磷系数与穗粒重耐低磷系数两个性状结合起来作为材料耐低磷综合指数进行耐低磷种质的评价和筛选。这与张吉海等<sup>[8]</sup>,张丽梅等<sup>[11]</sup>,王春丽等<sup>[12]</sup>,孙海国等<sup>[15]</sup>提出以几个性状综合值作为耐低磷材料选择指标的观点基本一致,但更为简便。

#### 3.3 耐低磷玉米地方种质的筛选

目前,植物耐低磷胁迫研究的试验方法多采用盆栽和溶液培养,这 2 种方法均由于与土壤实际情况不符而影响对低磷种质的筛选效果<sup>[16]</sup>。本试验选择缺磷土壤,通过控制磷肥施用为玉米生长提供大田栽培环境,基于玉米地方种质田间苗期缺磷症状对供试材料耐低磷等级进行初步划分,结合低磷胁迫下玉米地方种质后期的农艺、经济性状表现,从供试的 22 个玉米地方种质中,筛选出了 4 个耐低磷地方种质,它们是汉源红包谷、汉源白包谷、汶川二白、江北大板牙,4 个中耐低磷地方种质,它们是南

充秋子、广元冷风乌、筠连血丝和叙永大坝白。这些耐低磷的玉米地方种质可作为玉米耐低磷育种的基础材料, 进一步加以利用。

#### 参考文献:

- [1] 李生秀. 植物营养与肥料学科的现状与展望[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(3): 193–205.
- [2] Runge– Metzger A. Closing the cycle: obstacles to efficient P management for improved global food security [M]//H Tiessen phosphorus in the Global Enviroment: Transfers, Cycles and management. New York: Wiley, 1995: 27–42.
- [3] 陈 静, 袁建华. 江苏玉米育种现状与展望[J]. 南京农专学报, 2002, 18(2): 6–12
- [4] 吴景锋. 我国玉米种质资源的研究利用和发展方向[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001: 125
- [5] 刘向生, 陈范骏, 春 亮, 等. 玉米自交系耐低磷胁迫的基因型差异[J]. 玉米科学, 2003, 11(3): 23–27.
- [6] 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.
- [7] 刘鸿雁, 黄建国, 魏成熙, 等. 磷高效基因型玉米的筛选研究[J]. 土壤肥料, 2004(5): 25–29.
- [8] 张吉海, 高世斌, 潘光堂. 玉米苗期耐低磷基因型的筛选与鉴定[J]. 玉米科学, 2006, 14(5): 20–25.
- [9] 李绍长, 白 萍, 龚 江. 作物磷效率研究进展[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2002, 6(3): 251–254.
- [10] 王 艳, 孙 杰, 王荣萍, 等. 玉米自交系磷效率基因型差异的筛选[J]. 山西农业科学, 2003, 31(1): 7–10.
- [11] 张丽梅, 贺立源, 李建生, 等. 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): 1955–1959.
- [12] 王春丽, 田国伟, 汤继华, 等. 不同玉米自交系对磷胁迫反应初探[J]. 河南农业大学, 2005, 39(1): 10–14.
- [13] Link W C, Dixkens M, Schwall M A E. Genetic diversity in European and Mediterranean faba bean germplasm revealed by RAPD makers[J]. Theor Appl Genet, 1995(90): 27–32.
- [14] Gourley J P, Allan D L, Russelle M P. Plant nutrient efficiency: A comprison of definitions and suggested improvement[J]. Plant and Soil, 1994, 158: 29–37.
- [15] 孙海国, 张福锁, 杨军芳. 不同供磷水平小麦苗期根系特征与其相对产量的关系[J]. 华北农学报, 2001, 16(3): 98–104.
- [16] 廖 星, 李志玉, 王江薇, 等. 甘蓝型油菜耐缺磷种质筛选指标的研究[J]. 中国农业科学, 1999, 32(增刊): 107–111.