

## 冬小麦品种的磷营养效率鉴定

王兰珍 米国华 陈范骏 张福锁

(中国农业大学 农业部植物营养学重点开放实验室; 植物-土壤相互作用教育部重点实验室, 北京 100094)

**摘要** 为获得磷高效育种及相关理论研究所需要的材料,在大田条件下对 216 份冬小麦种质的磷营养效率进行鉴定。磷营养效率用磷效率(低磷产量)和对低磷的敏感度[(高磷产量 - 低磷产量) × 100 / 高磷产量]来描述。2000—2001 年将 216 个冬小麦品种分别种在低磷(Olsen-P 为 2.4 mg · kg<sup>-1</sup>,不施磷)和高磷(Olsen-P 为 17.4 mg · kg<sup>-1</sup>,施纯磷 60 kg · hm<sup>-2</sup>)土壤上,根据各品种的磷效率选出 37 个典型品种,但对低磷敏感度的品种间差异没有表现出来。2001—2002 年在低磷(Olsen-P 为 6.6 mg · kg<sup>-1</sup>,不施磷)和高磷(Olsen-P 为 17.4 mg · kg<sup>-1</sup>,施纯磷 60 kg · hm<sup>-2</sup>)土壤上对上述 37 个品种进行磷营养效率再鉴定,根据磷效率和对低磷的敏感度划分为高效不敏感、高效敏感、低效不敏感、低效敏感 4 种磷营养效率类型。磷效率年度间稳定性的研究表明磷效率表现稳定的品种仅占 37.8%,因此为增加鉴定的准确性应该进行多年的连续鉴定并利用次级性状作为辅助筛选指标。

**关键词** 冬小麦; 磷效率; 低磷敏感度; 稳定性

中图分类号 S 512.11; S 5024

文章编号 1007-4333(2003)05-0069-05

文献标识码 A

### Identify of winter wheat cultivars on the phosphorus nutrition efficiency

Wang Lanzhen, Mi Guohua, Chen Fanjun, Zhang Fusuo

(Key Laboratory of Plant Nutrition, Ministry of Agriculture; Key Laboratory of Plant-Soil Interaction, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract** To get useful materials for P efficient breeding and relative theoretical studies, 216 winter wheat cultivars were identified for their phosphorus nutrition efficiency under field conditions. Phosphorus nutrition efficiency was measured by P efficiency (yield at low P level) and sensitivity to low P ((yield at high P - yield at low P) × 100 / yield at high P). The cultivars were planted at two P levels (Olsen-P 2.4 mg · kg<sup>-1</sup> and no P applied; Olsen-P 17.4 mg · kg<sup>-1</sup> and 60 kg · hm<sup>-2</sup> P applied) in 2001—2002. Thirty-seven cultivars were selected according to their P efficiency, but the genotypic variance of sensitivity to low P was not distinct. In 2001—2002 P nutrition efficiency of 37 genotypes was evaluated on two P levels again (Olsen-P 6.6 mg · kg<sup>-1</sup> and no P applied; Olsen-P 17.4 mg · kg<sup>-1</sup> and 60 kg · hm<sup>-2</sup> P applied). On the basis of P efficiency and sensitivity to low P, all genotypes were classified as 4 types of efficient and non-sensitive, efficient and sensitive, non-efficient and non-sensitive, and non-efficient and sensitive. The analysis on the stability of P efficiency showed that only 37.8% of genotypes showed stable P efficiency in two years. For getting P efficient germplasm more quickly and more exactly, it was necessary to characterize the genotypes for several years and to use some agronomic traits related to P efficiency traits as secondary selection criterion.

**Key words** winter wheat; phosphorus efficiency; sensitivity to low phosphorus; stability

土壤缺磷是世界小麦生产的重要限制因素之一。使用磷肥可以解决这个问题,但是磷在土壤容易被固定而转化为植物难以利用的难溶性磷,因而磷肥的当季利用率较低,而且易造成环境污染<sup>[1,2]</sup>。早在 1900 年就有人提出选育适应缺磷土壤品种的可能性<sup>[3]</sup>。但直到近年在环境问题的巨大压力下,才开始重视磷高效(即耐低磷)育种的研究。育种原始材料是育种成功的基础,因此对磷效率育

种材料的筛选受到普遍重视。然而在研究中有的用缺磷条件下的作物产量定义磷效率<sup>[4]</sup>、有的用低磷产量与高磷产量的比值来表示磷效率<sup>[5]</sup>、还有简单地用与磷有关的生理生化性状来确定磷效率<sup>[6-9]</sup>。事实上,磷高效品种的优越性在于它能在磷肥投入不足或不投入的条件下仍获得较高的产量。因此在磷效率材料的筛选中应优先考虑种质在缺磷条件下的绝对产量,并考虑冬小麦对低磷的敏感度(缺磷造

收稿日期: 2002-11-29 修回日期: 2003-08-03

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(G1999011707)

作者简介: 王兰珍, 博士研究生; 米国华, 教授, 博士生导师, 联系作者, 主要从事植物营养遗传的研究, E-mail: miguohua@cau.edu.cn

成的减产程度)。本研究应用这2项指标对200多份冬小麦种质的磷营养效率进行鉴定,从中筛选优良的材料供育种和有关生理遗传机制研究之需。

## 1 材料与方法

试验地位于北京市昌平区中国农业大学昌平实验站肥料长期定位试验田,前茬作物是玉米。2000—2001年对冬小麦磷营养效率的初次鉴定,试验材料包括来自不同时期的216个品种(系),分别由中国农科院品资所、中国农科院作物研究所和中国农大作物遗传与育种系提供。2001—2002年对初次鉴定得到的典型材料进行磷营养效率再鉴定。

初次鉴定试验设低磷和高磷2个水平,每个磷水平上以随机区组设计种植各冬小麦品种,面积 $0.2\text{ m}^2$ ,重复2次。低磷区不施磷肥,其基础肥力为碱解N $115.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、Olsen-P $2.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效K $85.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、有机质 $1.1\%$ ;高磷区施纯P $60\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,其基础肥力为碱解N $98.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、Olsen-P $17.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效K $84.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、有机质 $1.1\%$ 。高磷和低磷区均施用纯N $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,分2次以基肥(尿素)和拔节期追肥(尿素)施入。再鉴定试验的试验设计与初次鉴定相同,但小区面积为 $0.4\text{ m}^2$ ,重复4次,同时采用有效磷水平较高的低磷区,该区基础肥力为碱解N $133.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、Olsen-P $6.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效K $77.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、有机质 $1.1\%$ 。

初次鉴定2000-10-15播种,播种密度为 $250\text{ 粒}\cdot\text{m}^{-2}$ ,行距 $0.2\text{ m}$ 。12-08覆膜防冻害。其余采用常规管理,2001-06-15收获。再鉴定2001-10-10播种,播种密度 $500\text{ 粒}\cdot\text{m}^{-2}$ ,行距 $0.2\text{ m}$ ,管理措施同上。2002-6-11收获。

拔节期、扬花期观察苗情,以便剔除成苗数不足、生长异常以及机械混杂的品种小区。成熟期测定各正常小区的产量及产量构成因素。冬小麦磷营养效率用磷效率(低磷产量)和对低磷的敏感度描述。低磷的敏感度 $=(\text{高磷产量}-\text{低磷产量})/\text{高磷产量}\times 100\%$ 。为了获得典型的磷高效和磷低效品种,初次鉴定的分类标准从严,以便剔除大部分磷效率表现中等的品种,因此采用产量分组的方法对磷效率进行分类,将分布品种最多的1~2组品种规定为磷中效品种,其余品种为低效和高效品种。再次鉴定以平均值为界划分不同的磷营养效率类型。为研究冬小麦磷效率的年度间稳定性,用相同的磷效率分类方法衡量各品种在不同年份的磷效率表现,

二年中磷效率类型未发生变化的品种为稳定品种。

## 2 结果与分析

### 2.1 初次鉴定冬小麦的磷营养效率

分析生长正常、成苗数足以及无机械混杂的129个品种的磷营养效率。

**2.1.1 磷效率和产量潜力鉴定** 低磷条件下129个品种的平均产量为 $82\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ,高磷条件下这些品种的平均产量为 $562\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。不同品种低磷产量的变异系数为 $36.7\%$ ,表明磷效率的品种间差异可在此条件下表现出来。考虑到低产品种对生产的意义较小,故取高磷条件下高于平均产量的80个品种进行进一步分析。

根据低磷产量将此80个品种分为5组,分布于第2、3组的品种最多,占参试品种的 $63.8\%$ ,因此为磷中效品种,相应地第1组品种为磷低效品种,第4、5组品种为磷高效品种。磷效率与产量潜力(充分供磷条件的产量)在不同的遗传控制之下,理想品种应兼备磷高效和高产的特点,因此鉴定冬小麦磷效率的同时应对它们的产量潜力进行鉴定。规定高磷产量高于平均产量 $20\%$ 的品种为高产品种,低于此标准为低产品种。综合考虑冬小麦的磷效率和产量潜力,将冬小麦分为高产高效、高产中效、高产低效、低产高效、低产中效、低产低效6类(表1)。初次鉴定得到10个高产高效品种,它们既可直接应用于生产又可用于小麦磷效率的改良,是最有价值的一类品种。低产高效品种可作为磷高效性状的供体改良小麦的磷效率。高产低效和低产低效品种在磷效率的生理遗传机制研究中有重要作用。这几类品种是今后研究的重点。

初次鉴定试验发现有些品种的高磷产量虽然低于平均产量,但低磷产量却表现较好,也可作为高产低效品种磷效率改造的有用材料,包括20120047、丰抗3号、丰抗4号、冬协2号、冀麦27、CA9210、早优504。

**2.1.2 对低磷敏感度的初次鉴定** 鉴定结果表明129个品种对低磷敏感度的平均值为 $85\%$ ,变幅为 $75\%\sim 96\%$ ,变异系数为 $5.3\%$ ,可见在初次鉴定的磷水平梯度下冬小麦对低磷敏感度的基因型差异不能展现,因而无法正确鉴定冬小麦对低磷的敏感度。

### 2.2 再次鉴定冬小麦的磷营养效率

**2.2.1 磷效率与产量潜力的再鉴定** 根据试验1的鉴定结果选出37个分属不同磷效率类型的典型

品种进行再鉴定。低磷的平均产量为  $262 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ , 是高磷平均产量 ( $464 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) 的 57 % 左右, 而且不同品种之间低磷产量的变异系数为 25.9 %, 表明在这

样的缺磷条件下磷效率的品种差异也可以很好地表现出来(图 1)。

表 1 冬小麦品种产量潜力和磷效率的初次鉴定

Table 1 First identification of winter wheat cultivars according to the yield potential and P efficiency

品种类型	小麦产量/ $(\text{g} \cdot \text{m}^{-2})$		供试品种
	高磷水平	低磷水平	
高产高效	> 674.8	> 115.7	CA9325、冀麦 15、北京黑芒麦、农大 139、99250211-3、向阳 2 号、石家庄 4 号、北京 13、20120267、太核 5025
高产中效	> 674.8	56.9 ~ 115.6	晋麦 18、小偃 4 号、红良 4 号、九三红、北京 10 号、冀麦 25、冀麦 17、石家庄 34、丰抗 5 号、冀麦 6 号、科遗 29、京 9428、冀麦 33、晋麦 8 号、平阳 181、丰抗 9 号、石家庄 54、京冬 8 号、冀麦 9 号、晋麦 16、晋麦 5 号、丰抗 8 号
高产低效	> 674.8	< 56.8	晋麦 2 号、冀麦 14、20120223、革选 1 号、农大 45、8185
低产高效	562 ~ 674.8	> 115.7	中优 9507、94 冬 28、京花 1 号、临早 6210
低产中效	562 ~ 674.8	56.9 ~ 15.6	晋麦 18、晋麦 7 号、晋麦 17、农大 3214、晋麦 9 号、丰抗 2 号、农大 152、京 411、20120164、小红麦、20120219、运 83-1、农大 3291、80-55、20120153、丰抗 1 号、冬协 1 号、20120166、京 437、晋麦 31、农大 2911、向阳 4 号、晋麦 13、20120248、石 65-848、北京 5 号、20120229、邢选 1 号、河北农大 3 号、丰抗 7 号
低产低效	562 ~ 674.8	< 56.8	太辐 23、农大 116、20120083、20120075、冀麦 23、20120171、蚰包麦、小偃 54

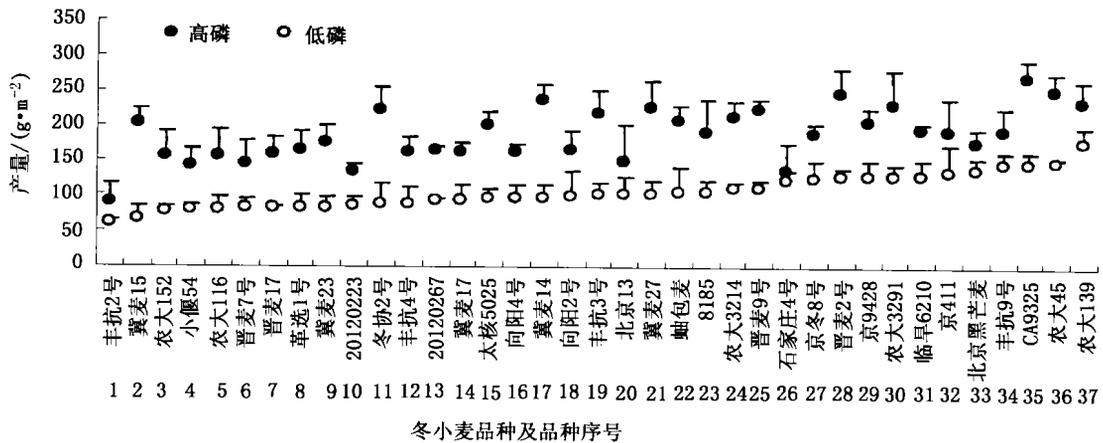


图 1 37 个冬小麦品种在不同磷水平下的产量表现

Fig. 1 Yield of 37 winter wheat genotypes at two phosphorus levels

再次鉴定是对初选获得的较少典型材料进行研究, 为避免丢失有用的材料, 采用较为宽松的分类标准。冬小麦的产量潜力和磷效率均采用平均值作为分界线, 将参试品种分为 4 类: 高产高效、高产低效、低产高效、低产低效(表 2)。

2.2.2 对低磷敏感度的再鉴定 再鉴定中冬小麦品种对低磷敏感度的平均值为 43 %, 变异系数为 26.2 %, 较初次鉴定的变异系数提高了 20.9 个百分点, 说明再次鉴定的磷水平梯度可以对冬小麦的低

磷敏感度进行鉴定。以平均敏感度为分界线, 将参试品种分为对低磷敏感和对低磷不敏感 2 种类型(图 2)。根据磷效率和对低磷敏感度的大小, 将冬小麦品种分为 4 种磷营养效率类型: 高效不敏感型、高效敏感型、低效不敏感型、低效敏感型。高效不敏感型包括 10 个品种, 在生产应用时, 可适当降低磷肥的使用量, 达到节肥的目的。高效敏感型包括 5 个品种, 这类品种在生产上既可适用于低磷地区, 也可适用于磷肥施用量高的地区。低效不敏感型包括

6个品种,他们在生产上的意义不大。低效敏感型 包括15个品种,他们仅适用于磷肥施用量高的地区。

表2 再次鉴定冬小麦品种的产量潜力和磷效率

Table 2 Second identification of winter wheat cultivars according to the yield potential and P efficiency

品种类型	麦产量分类标准/(g·m <sup>-2</sup> )	供试品种
高产高效	低磷产量 > 262 且高磷产量 > 464	农大 3214、晋麦 9号、京 411、京冬 8号、晋麦 2号、京 9428、农大 3291、临旱 6210、丰抗 9号、CA9325、农大 45、农大 139
高产低效	低磷产量 < 262 且高磷产量 > 464	8185、太核 5025、丰抗 3号、蚰包麦、冬协 2号、冀麦 27、冀麦 14
低产高效	低磷产量 > 262 且高磷产量 < 464	向阳 2号、石家庄 4号、北京黑芒麦
低产低效	低磷产量 < 262 且高磷产量 < 464	冀麦 15、农大 152、小偃 54、农大 116、冀 27、晋麦 17、革选 1号、冀麦 23、20120223、丰抗 4号、20120267、冀麦 17、向阳 4号、北京 13

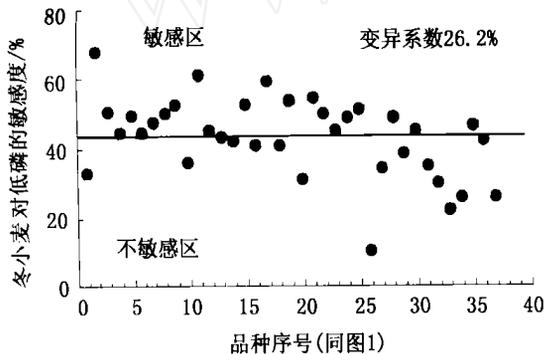


图2 再鉴定中37个冬小麦品种对低磷敏感度的分布  
Fig. 2 Distribution of sensitivity to low P of 37 winter wheat cultivars in the second identification

### 2.3 冬小麦磷效率年度间稳定性的研究

根据低磷产量将37品种分为7组,结果2年内

表3 供试品种磷效率的稳定性分析

Table 3 Analysis of stability of P efficiency of winter wheat cultivars

鉴定年份	磷低效品种序号	磷中效品种序号	磷高效品种序号
2000—2001	4, 5, 8, 9, 12, 17, 21, 22, 28, 36	1, 3, 6, 7, 14, 15, 23, 24, 26, 34,	2, 10, 11, 13, 16, 18, 19, 20, 25, 27, 30, 31, 32, 33, 35, 37
2001—2002	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22	23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37

注:表内的数字为品种序号,品种序号同图1

## 3 讨论

### 3.1 多年连续鉴定在冬小麦磷营养效率鉴定中的重要性

本研究证明磷效率稳定的品种仅占37.8%,其中磷高效材料占了多数。邢宏燕等的研究也证明不同品种“磷效率(LP/HP)”的顺序尽管在年度间比较

均以分布在第3组的品种为多,将其定义为磷中效品种,1、2组定义为磷低效品种,4~7组定为磷高效品种。分析他们磷效率的年度间稳定性(表3),发现有14个品种的磷效率是稳定的,占供试品种的37.8%,有19个品种或者由高(低)效变为中效,或者由中效变为高(低)效,占供试品种的51.4%,其余4个品种的磷效率发生了很大的变化。总的说来,磷效率发生极端变化的可能性较小(10.8%),可能是试验过程中的一些偶然因素引起的。表3还表明磷效率表现稳定的品种中,高效品种较多(8个),低效品种次之(4个),中效品种最少(2个)。表明磷高效品种的年度稳定性最好,磷中效品种的年度稳定性最差。

稳定,但有一定范围的波动<sup>[10]</sup>。其原因是以产量为基础的筛选指标虽然可以为磷高效育种提供直观的信息,但产量的形成过程非常复杂,受到多种因素干扰,例如气候变化,地力和水肥管理不均一,生物伤害等。因此应该进行多年连续的试验;同时应该寻找一些与磷效率密切相关的次级性状作为辅助筛选指标,以提高鉴定的准确性,避免在筛选中丢失有价

值的育种材料。

### 3.2 合适的土壤磷缺乏程度是冬小麦磷效率改良工作的基础

适宜的低磷水平对小麦磷高效育种的作用已被公认,但对于哪种低磷水平更适宜磷高效品种的筛选,尚有不同看法。邢宏燕等认为  $8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  的土壤有效磷水平是利用土培试验进行“磷高效”冬小麦种质资源筛选的合适选择压力<sup>[11]</sup>; Aggarwal 等对菜豆的研究认为,与充足供磷相比,作物生长量降低 65% 的低磷水平比较适合种质资源的鉴定<sup>[12]</sup>; 本研究发现,磷严重缺乏 (Olsen - P =  $2.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 时冬小麦的产量降低 85% 左右,对低磷敏感度的变异系数仅为 5.3%,品种间的差异不能充分展现;磷缺乏较轻 (Olsen - P =  $6.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 时产量降低 43% 左右,对低磷敏感度的变异系数增加到 26.2%,品种间的差异得到了充分展现。

本试验发现严重缺磷使冬小麦的产量和产量结构发生了很大的变化,除千粒重有中度相关外 ( $r = 0.6702^{**}$ ), 2 个磷水平之间的产量、成穗数、穗粒数均无相关关系。因此如果要获得严重缺磷土壤中有一定产量的品种,必须在这种土壤中筛选,因为此时冬小麦的表现与充分供磷条件下完全不同。土壤缺磷较轻时冬小麦在 2 个磷水平之间的产量和产量因素有中度到高度的相关关系 ( $r_{\text{产量}} = 0.5845^{**}$ 、 $r_{\text{成穗数}} = 0.7299^{**}$ 、 $r_{\text{穗粒数}} = 0.6648^{**}$ 、 $r_{\text{千粒重}} = 0.8632^{**}$ ), 表明缺磷较轻时从高产品种中容易获取磷高效材料,也就是说这种条件下的磷效率是产量潜力和磷效率特性的综合表现。因此在进行磷效率材料的选育工作之前,根据育种目的确定低磷土壤的磷缺乏程度是十分必要的。

### 参 考 文 献

- [1] FAO. Fertilizer use by crop. Food and agriculture organization international fertilizer industry association and international fertilizer development center [R]. 1992
- [2] 鲁如坤. 土壤-植物营养学原理和施肥 [M]. 北京:化学工业出版社, 1998. 49~53, 433~443
- [3] Gahoonia T S, Nielsen N E. Exploring rhizosphere in search for nutrient efficient crop genotypes for low input agriculture-phosphorus and micronutrients [A]. In: Behl R K, Singh D P, Lodhi G P, eds. Crop improvement for stress tolerance [C]. CCSHAU, Hisar & MMB, New Delhi, 1998, 142~156
- [4] Batten G D, Khan M A, Cullis B R. Yield responses by modern wheat genotypes to phosphate fertilizer and their implications for breeding [J]. Euphytica, 1984, (33): 81~89
- [5] 李继云, 李振声. 有效利用土壤元素的作物育种新技术研究 [J]. 中国科学(B 辑), 1995, (1): 44~46
- [6] Gahoonia T S, Nielsen N E, Lysheide O B. Phosphorus (P) acquisition of cereal cultivars in the field at three levels of P fertilization [J]. Plant and Soil, 1999, 211(2): 269~281
- [7] Fageria N K, Baligar V C. Phosphorus use efficiency by corn genotypes [J]. J Plant Nutr, 1997, 20(10): 1267~1277
- [8] Fageria N K, Baligar V C. Phosphorus use efficiency in wheat genotypes [J]. J Plant Nutr, 1999, 22(2): 331~340
- [9] 黄亚群, 刘社平, 王激清, 等. 春小麦品种磷营养效率的研究 性状相关与筛选指标的确定 [J]. 麦类作物学报, 2000, 20(1): 39~43
- [10] 邢宏燕, 李滨, 李继云, 等. 小麦品种磷营养特性的类型分析及其年度间稳定性的研究 [J]. 西北植物学报, 1999, 19(2): 219~228
- [11] 邢宏燕, 王二明. 有效利用土壤磷的小麦种质筛选方法的研究 [J]. 作物学报, 2000, 26(6): 839~844
- [12] Aggarwal V D, Mughogho S K, Chirwa R W, et al. Field based screening methodology to improve tolerance of common bean to low-p soil [J]. Commun Soil Sci Plant Anal, 1997, 28(17&18): 1623~1632