

广东大豆地方种质磷效率特性研究*

I. 大豆基因型磷效率特性差异 及其与土壤有效磷含量的关系

童学军^{1,2} 严小龙¹ 卢永根¹ 年海¹ 郑少玲¹

(1 华南农业大学, 广州 510640; 2 福建师范大学, 福州 350007)

摘要 在低磷红壤上, 对原产广东省的大豆 (*Glycine max* (L.) Merrill) 基因型磷效率与其来源地土壤有效磷含量的关系进行研究。结果表明: 植株磷素吸收量相对值 (RVPPU) 不仅可以反映大豆对低磷红壤生长适应性, 而且可以反映大豆基因型磷效率特性, RVPPU 是衡量田间生长适应性和磷效率特性的较好指标。RVPPU 较大的大豆基因型, 其对低有效磷红壤环境适应性较好, 磷效率特性较佳; 反之, 亦然。不同大豆基因型, 具有不同的磷效率特性。磷效率特性的形成与土壤有效磷含量有关。土壤中低有效磷含量与较佳的磷效率特性形成有关, 长期生长在有效磷含量较低的砖红壤、赤红壤、红壤和紫色土上的大豆基因型具有较佳的磷效率特性; 而长期生长在有效磷含量较高的水稻土、潮土上的大豆基因型其磷效率特性较差。大豆基因型较佳的磷效率特性是其长期在低有效磷土壤环境下进化形成的。

关键词 大豆, 磷效率特性, 低磷红壤, 土壤有效磷含量

中图分类号 Q344

地壳中全磷含量达 0.12%^[1], 但是, 由于物理吸附和化学沉淀等理化作用, 耕地中可供作物吸收利用的有效磷含量很低。在华南地区低磷酸性红壤中, 有效磷含量为 20mg/kg 左右^[2]。

传统上采用改良耕地土壤, 或者直接施用磷肥等措施来解决酸性红壤耕地中有效磷含量低的问题, 但是, 这些措施亦带来诸如: 农业生产成本增高、环境破坏等问题。

鉴于传统的措施无法令人满意地解决耕地低磷, 近年, 作物磷效率遗传改良课题受到人们关注^[3], 并尝试培育能够较好地适应低磷酸性红壤环境, 尤其是能够有效地吸收利用低磷酸性红壤耕地中潜在磷素 (如: 闭蓄态磷) 的优良作物品种。以解决耕地中有效磷含量低这一制约作物产量提高的因素, 消除传统农业措施造成的负面作用, 促进农业可持续发展。

本文以原产广东省的大豆地方种质为材料, 对大豆基因型磷效率特性差异及其与土壤有效磷含量的关系进行报道。

* 广东省自然科学基金资助课题。本文还得到福建师范大学博士科研启动基金的资助

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

田间种植土壤为华南农业大学教学实验农场园艺分场低山丘陵低磷酸性红壤。盆栽试验用土亦来自该地,采土深度为 0—20cm。土壤理化性质见表 1。

表1 供试低磷酸性红壤理化性质
Table 1 Some properties of low-phosphorus acidic red soil used for experiments

全氮	碱解氮	全磷	有效磷	全钾	速效钾	有机质	
Total N	Alkali hydrolyzable N	Total P	Available P	Total K	Available K	O.M.	pH
(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)	
0.9	55.70	0.3	14.74	7.7	83.50	18.8	5.02
交换钙	交换镁	活性铁	活性锰	有效铜	有效锌	有效硫	有效硼
Exchangeable Ca	Exchangeable Mg	Active Fe	Active Mn	Available Cu	Available Zn	Available S	Available B
(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
1018.80	32.80	4245.00	25.00	2.75	10.90	79.40	0.19

1.2 供试材料

根据广东省大豆地理分布情况以及广东省主要土壤类型分布情况,依照“核心收集”原理^[4],对广东省境内 40 个县市的大豆地方种质进行搜集。从中选出代表各县市的大豆基因型 86 份供大田适应性试验。在大田适应性试验基础上,选出来自不同土壤类型的大豆基因型 19 份,供土壤盆栽试验使用。见表 2。

1.3 试验方法

表2 供土壤盆栽试验的19种大豆基因型来源地土壤类型
Table 2 Soil types of original region for 19 soybean genotypes used for pot experiment

基因型	来源地	土壤类型	基因型	来源地	土壤类型
Genotypes	Original region	Soil types	Genotypes	Original region	Soil types
(HND)			(HND)		
01	高州	赤红壤	08	廉江	砖红壤
11	廉江	砖红壤	32	南雄	紫色土
33	南雄	紫色土	36	南雄	紫色土
39	怀集	赤红壤	51	焦岭	红壤
55	潮阳	赤红壤	57	陆丰	潮土
58	博罗	水稻土	59	博罗	水稻土
61	博罗	水稻土	62	增城	水稻土
83	梅县	赤红壤	93	梅州	赤红壤
94	广州	潮土	95	阳春	赤红壤
96	龙川	红壤			

1.3.1 大田种植试验 试验设置常磷区(作为对照)和低磷区两类区组,每类区组重复三次,6个区组随机排列。试验前,每平方米耕地平均施石灰 250g 中和土壤的酸性,然后整地、混匀。播种前,每平方米平均施尿素 24g,氯化钾 60g。常磷区组每平方米施过磷酸钙 250g,低磷区组每平方米施过磷酸钙 30g。播种时,每一份大豆基因型选 20 粒均匀饱满的种子,直接播种。大田种植按常规栽培管理。

出苗后至开花前,调查大豆植株营养生长情况。开花后至收获前,调查大豆植株生殖生长情况。

1.3.2 土壤盆栽试验 试验设置常磷(作为对照)和低磷两种供磷水平,每一种供磷水平重复三次。试验时,将过 3mm 筛的风干土 2.5kg 与石灰、磷肥以及其他营养元素充分混匀。然后,装入底部凿有小孔并垫有纱网的塑料桶中备用。土壤盆栽试验营养元素用量见表 3。

表3 土壤盆栽试验营养元素用量
Table 3 Application rate of nutrients applied in pot experiment

单质 Elements	用量 Application rate (g/kg 土)	化合物 Compounds	化合物用量 Application rate (g/kg 土)
N	0.1871	(NH ₂) ₂ CO	0.4
P	0	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ¹⁾	0 ²⁾
	0.53	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	2 ³⁾
K	0.422	KCl	0.8
Ca	2.142	CaO	3
Mg	0.033	MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.34
B	0.0013	H ₃ BO ₃	0.00732
Cu	0.0026	CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.01
Mn	0.0112	MnCl ₂ · 4H ₂ O	0.04
Mo	0.0005	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	0.001
Zn	0.0059	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.026

注: 1) 主要化合物成分 2) 低磷水平用量 3) 常磷水平用量

播种前一天,向塑料桶中浇透水。播种时,每一桶直播 10 粒饱满均匀的大豆种子。出苗 10 天后间苗,每一桶留下大小均匀的 4 株大豆植株。同时,每一种大豆基因型的 24 株供试植株(两种供磷水平,三次重复)大小也基本一致。出苗 65 天后,用清水洗去根部的土壤,将地上部和地下部分别收获。在室内测定磷素吸收量和干生物量重量。

1.4 试验分析与统计方法

干生物量重量测定:植株收获后,分别收获地上部和地下部,然后放入烘箱,在 75℃ 左右烘 2 天,取出后称干生物量重量。

植株全磷含量测定:采用硫酸—过氧化氢消煮,钒钼黄比色法^[5]。

供试低磷酸性红壤元素含量和 pH 值测定:采用常规分析方法^[5]。

数据统计分析方法:采用 SAS 软件(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 在低磷红壤耕地上大豆基因型生长适应性的差异

在 86 份田间种植的大豆基因型中,随机选出来自不同土壤类型地区,并且六小区(三

个常磷小区,三个低磷小区)发芽出苗情况均正常的 20 份大豆基因型,它们是:01、08、09、10、11、32、33、36、37、38、39、49、51、55、57、58、59、61、62 和 83。

在开花前和成熟时对上述 20 份大豆基因型的营养生长和生殖生长进行调查,评价它们对低磷酸性红壤的生长适应性。开花前,对上述 20 份供试大豆基因型调查结果表明:每一基因型成株率达 50% 以上的小区数均 ≥ 4 (其中至少包含两个低磷处理小区和两个常磷处理小区),其中有 10 份大豆基因型其六个小区成株率均达 50% 以上。它们是:01、11、36、37、39、55、57、59、62 和 83。这说明在低磷红壤上,大豆基因型的营养生长适应性存在差异。

成熟时,对上述 20 份大豆基因型进行进一步调查。调查标准为:参试的六个小区中,四个以上小区(其中至少包含两个低磷处理小区和两个常磷处理小区)有正常结荚的大豆植株并且结荚株数达到五株以上。结果表明:20 份大豆基因型中共有 11 份大豆基因型符合标准。它们是:01、08、11、33、36、39、51、55、61、62 和 83。上述结果表明:生殖生长期间,在低磷酸性红壤环境下,不同大豆基因型的生长适应性亦存在差异。

一般来说,大豆对土壤中磷素含量要求很高,磷素将影响大豆的生长发育。盛花期至成熟期大豆需磷量占大豆一生需磷量的 2/3。此时大豆植株体内的磷素积累状况直接影响大豆生殖生长乃至籽粒的形成^[6]。为此,可以根据大豆籽粒形成的优劣了解大豆植株体内磷素积累状况,进而对大豆植株吸收磷素能力进行评价。研究还表明:磷素对大豆幼苗营养生长亦是十分重要的^[6]。为此,根据营养生长情况亦可以判断大豆植株磷素营养状况。本试验认为,在低磷红壤耕地上,可以根据大豆植株生殖生长和营养生长情况客观地认识大豆生长适应性。

本试验综合生殖生长和营养生长适应性表现,将上述 20 份大豆基因型分为三类:第一类为六个小区成株率均达到 50% 以上,并且四个以上小区均结荚正常,它们是:01、11、36、39、55、62 和 83。它们对低磷红壤环境生长适应性较好。第二类为成株率达 50% 以上的小区数大于四小区不足六小区,并且四个以上小区均结荚正常,它们是:08、33、51 和 61。这一类大豆基因型对低磷红壤环境生长适应性中等。第三类为成株率达 50% 以上的小区数大于四小区不足六小区,并且正常结荚的小区数少于四小区,它们是:09、10、32、37、38、49、57、58 和 59。它们对低磷红壤环境生长适应性较差。

2.2 在低磷红壤盆栽中大豆基因型磷效率特性的差异

选出生长适应性不同的 15 种大豆基因型。它们是(1)生长适应性表现较好的基因型:01、11、36、39、55、62 和 83;(2)生长适应性表现中等的基因型:08、33、51 和 61;(3)生长适应性表现较差的基因型:32、57、58 和 59。另外,加入四份田间生长适应性表现不同的大豆基因型,它们是:93 和 94(生长适应性表现中等),95 和 96(生长适应性表现较好)。采用低磷酸性红壤盆栽方法,对上述 19 种大豆基因型磷效率特性进行研究。

按照 RVPPU(植株磷素吸收量相对值:低磷水平植株磷素吸收量 \div 常磷水平植株磷素吸收量)大小顺序作图 1、图 2、图 3,分析了 PPU(植株磷素吸收量:整株植株全磷含量)、PDB(植株干生物量重量:整株植株烘干后重量)和 PPER(植株磷效率比值:植株干生物量重量 \div 植株磷素吸收量)。

2.2.1 植株磷素吸收量 从图 1 可见,在常磷水平下,基因型之间 PPU 在一个箱体内波

动。在低磷水平下,基因型之间 PPU 沿着 55、58 方向呈现逐渐下降的趋势。PPU 表现为常磷水平大于低磷水平。RVPPU 是低磷水平 PPU 与常磷水平 PPU 的比值, RVPPU 指标从磷素吸收量这一角度反映了基因型对低磷环境的适应能力,也就是磷效率特性。

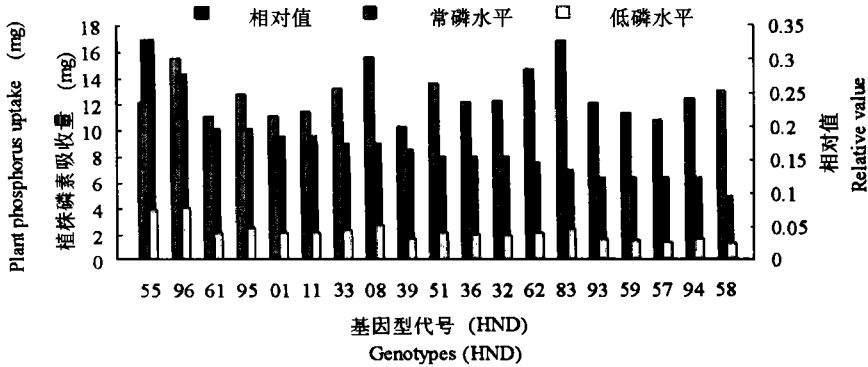


图1 植株磷素吸收量

Fig.1 Plant phosphorus uptake

方差分析结果表明:基因型之间 RVPPU 差异达到极显著水平。表 4 列出基因型之间 RVPPU 多重比较,从图 1 可见 55 的 RVPPU 最大,58 的 RVPPU 最小,55 是 58 的 3.6 倍。

相关分析表明:常磷水平 PPU 与 RVPPU 相关不显著;在低磷水平下,PPU 较大的基因型,其 RVPPU 亦大,反之亦然,PPU 与 RVPPU 呈正相关 ($r = 0.9131$),并达到极显著水平。为此,低磷水平的 PPU 亦可以作为磷效率特性的衡量指标。

2.2.2 植株干生物量重量 从图 2 中可见,PDB 表现为常磷水平大于低磷水平。无论常磷水平还是低磷水平,大多数基因型 PDB 在一个箱体内变动。

方差分析表明:基因型之间 RVPDB (植株干生物量重量相对值:低磷水平植株干生物量重量 ÷ 常磷水平植株干生物量重量)差异极显著。RVPDB 多重比较见表 4。从图 2 可见,55 的 RVPDB 最大,58 的 RVPDB 最小,55 为 58 的 2.9 倍。

相关分析表明:RVPDB 与 RVPPU 相关达显著水平 ($r = 0.5624$),在一定程度上 RVPDB 反应了基因型磷效率特性。

2.2.3 植株磷效率比值 图 3 显示,PPER 表现为低磷水平大于常磷水平。低磷水平下大豆基因型具有较高的 PPER,可能是大豆种质适应低磷胁迫的一种机制。低磷水平的 PPER 与 RVPPER (植株磷效率比值相对值:低磷水平植株磷效率比值 ÷ 常磷水平植株磷效率比值)沿着 55→58 的方向逐渐增大。

方差分析表明:基因型之间 RVPPER 差异不显著。相关分析表明:RVPPER 与 RVPPU 呈显著负相关 ($r = -0.5502$)。为此,RVPPER 亦可作为磷效率特性的衡量指标。

2.3 大豆基因型磷效率特性与土壤有效磷含量的关系

比较 RVPPU、RVPDB 和 RVPPER 三个指标, RVPPU 与大豆基因型田间生长适应性关系密切。从图 1 中可看到, RVPPU 较大的大豆基因型,大多数为田间生长适应性较好的大豆基因型,如:01、11、55、95 和 96; RVPPU 中等的大豆基因型,多数为田间生长适应性中等的大豆基因型,如:08、33 和 51 等; RVPPU 较小的大豆基因型,多数为田间生长适应性

较差的大豆基因型, 如: 57、58 和 59。为此, RVPPU 可以作为大豆基因型磷效率特性的较佳评价标准。

表4 大豆基因型RVPPU和RVPDB多重比较

Table 4 Multiple comparison of RVPPU and RVPDB of 19 soybean genotypes

基因型 Genotypes (HND)	RVPPU多重比较 ($P=0.01$) Multiple comparison	基因型 Genotypes (HND)	RVPDB多重比较 ($P=0.01$) Multiple comparison
55	A	55	A
96	AB	51	ABC
61	BC	33	BCD
95	BC	94	BCD
01	BC	83	BCDE
11	BC	39	BCDEF
33	BC	32	BCDEF
08	BC	11	BCDEF
39	BC	59	BCDEF
51	BC	08	BCDEF
36	BC	96	BCDEF
32	BC	57	BCDEF
62	C	36	BCDEF
83	C	95	BCDEF
93	C	61	CDEF
59	C	62	DEF
57	C	01	DEF
94	C	93	EF
58	C	58	F

注: 表中相同字母表示差异不显著, 不同字母表示差异显著。 $P=0.01$ 。

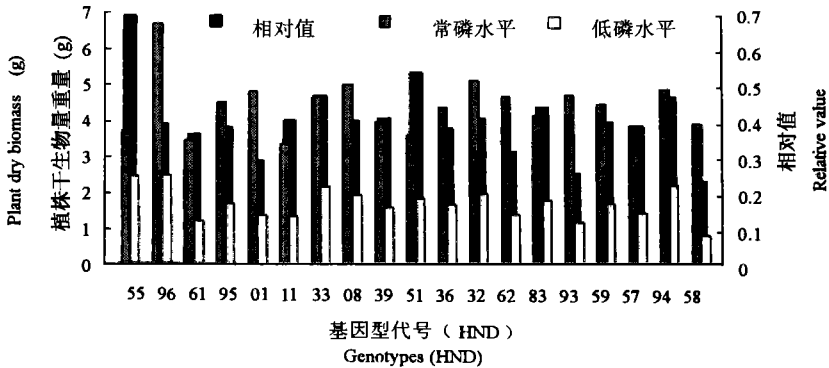


图2 植株干生物量重量

Fig.2 Plant dry biomass

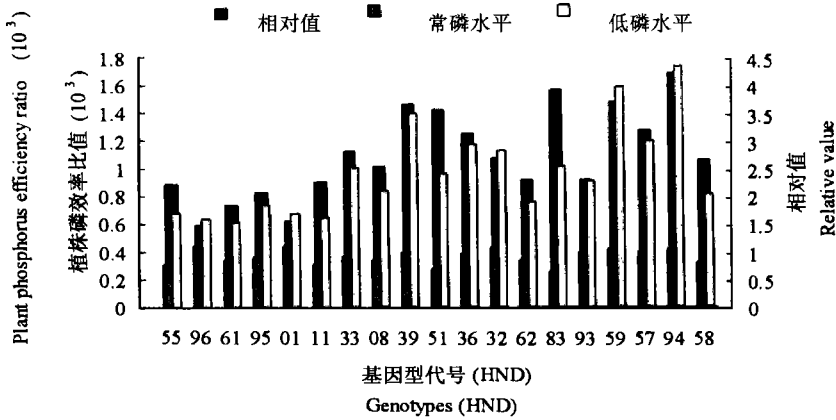


图3 植株磷效率比值

Fig.3 Plant phosphorus efficiency ratio

根据大豆基因型的原产地, 19 种大豆基因型归属如下土壤类型:

- 1) 砖红壤: 08, 11; 2) 赤红壤: 01, 39, 55, 83, 93, 95; 3) 红壤: 51, 96; 4) 紫色土: 32, 33, 36; 5) 水稻土: 58, 59, 61, 62; 6) 潮土: 57, 94.

综合分析 RVPPU 与大豆基因型原产地的土壤类型, 可以看到, 绝大多数来源于砖红壤、赤红壤、红壤和紫色土地地区的大豆基因型其 RVPPU 较大, 而绝大多数来自水稻土、潮土地地区的大豆基因型其 RVPPU 较小。这种现象可能与大豆种质长期生长的土壤类型有关。根据广东省土壤普查的结果^[7], 上述几种土壤类型速效磷含量如下: 砖红壤速效磷含量为 6.2mg/kg; 赤红壤速效磷含量为 4.1mg/kg; 红壤速效磷含量为 6.2mg/kg; 紫色土速效磷含量为 6.3mg/kg; 水稻土速效磷含量为 15.3mg/kg; 潮土速效磷含量为 16.6mg/kg。而大豆生长发育与土壤中有效磷含量关系密切^[6]。这样, 长期生长在砖红壤、赤红壤、红壤和紫色土上的大豆种质比起长期生长在水稻土、潮土上的大豆种质对土壤低有效磷环境形成较好的适应能力, 形成较佳的磷效率特性。

3 讨论

我们注意到不同大豆基因型在一些植物学性状上存在着天然的差异, 以植株高度为例, 植株高矮之间的差异即使在植物生长条件一致的情况下亦无法避免, 植株高度的差异必然造成植株生物量的差异, 如果以植株干生物量重量为指标来比较不同大豆基因型磷效率特性时, 有可能出现谬误。为此本文认为采用相对值作为磷效率特性衡量标准较合适。相对值同样适用于那些植物学性状差异小, 甚至无差异的作物。

从本试验田间种植表现来看, 对低磷红壤较适应的基因型, 其 RVPPU 较大。在一定程度上 RVPPU 可以反映大豆基因型田间生长适应性, 也就是说可以反映大豆基因型适应低磷红壤的能力。比较 RVPPU、RVPDB 和 RVPPER 与磷效率特性的关系, 本文认为 RVPPU 是衡量磷效率特性的较好指标, 而 RVPDB 和 RVPPER 可以作为辅证指标。

“核心收集”是哥伦比亚国际热带农业中心 (CIAT) 在研究菜豆磷效率特性时创造的

一种方法。实践证明, 在菜豆磷效率特性研究中是一种科学、简便、有效的材料收集方法^[4]。本试验根据广东省大豆地理分布情况, 结合土壤类型依照“核心收集”原理, 对广东省的四十个县市大豆地方种质进行了调查。结果表明大豆磷效率特性与来源地土壤有效磷含量有关, 土壤中较低的有效磷含量可能是大豆形成较好磷效率特性的原因之一。大豆磷效率特性与其长期在低有效磷土壤环境下进化有关。从本试验结果来看“核心收集”方法亦适用于大豆磷效率特性研究工作。

参 考 文 献

1. Meng K, Kirkby E A. Principles of Plant Nutrition, 3rd Ed. International Potash Institute, Bern, Switzerland, 1982. 389—409
2. 李庆远主编. 中国红壤. 北京: 科学出版社, 1985. 145—146
3. 严小龙, 黄志武, 卢仁骏等. 关于作物磷效率的遗传学研究. 土壤, 1992, 24: 102—105
4. 严小龙, 张福锁. 植物营养遗传学. 北京: 中国农业出版社, 1997. 22, 40—41, 193—196
5. 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1989
6. 吉林省农业科学院. 中国大豆育种与栽培. 北京: 农业出版社, 1987. 3—5, 105, 107, 373—374, 385—387
7. 广东省土壤普查办公室编著. 广东土壤. 北京: 科学出版社, 1993. 86—104, 138, 172, 257, 306

STUDY ON CHARACTERISTICS OF PHOSPHORUS EFFICIENCY OF SOYBEAN NATIVE GERMPLASM IN GUANGDONG PROVINCE

I. DIFFERENCES OF SOYBEAN GENOTYPES IN CHARACTERISTICS OF PHOSPHORUS EFFICIENCY AND RELATIONSHIP BETWEEN PHOSPHORUS EFFICIENCY AND CONTENT OF SOIL AVAILABLE PHOSPHORUS

Tong Xue-jun^{1,2} Yan Xiao-long¹ Lu Yong-gen¹
Nian Hai¹ Zheng Shao-ling¹

(1 South China Agricultural University, Guangzhou 510640; 2 Fujian Normal University, Fuzhou 350007)

Summary

Studies on phosphorus efficiency of native soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) genotypes in Guangdong and relationship between phosphorus efficiency and content of soil available phosphorus of original region were conducted in low-phosphorus red soil. Results are as follows:

(1) The field growing performance under low-phosphorus acidic red soil and the phosphorus efficiency of soybean genotypes can be explained better with Relative Value of Plant Phosphorus Uptake (RVPPU) as an index. The higher the RVPPU of soybean genotypes is, the better the field growing performance and the phosphorus efficiency are, and *vice versa*.

(2) Genetic variability in respect to phosphorus efficiency exists within soybean genotypes from different native region. As compared with those from paddy soil and fluvo-aquatic soil with higher content of soil available phosphorus, soybean genotypes from latosol, lateritic soil, red soil and purple soil with lower availability of soil phosphorus have better characteristics of phosphorus efficiency in native regional soil where they had evolved for a long time.

Key words Soybean(*Glycine max* (L.) *Merrill*), Characteristics of phosphorus efficiency, Low-phosphorus red soil, Available phosphorus content of soil