

# 云南改良稻及元阳地方稻磷高效研究<sup>\* 1</sup>

王雨辰<sup>1,2</sup>, 曾亚文<sup>2</sup>, 杜娟<sup>2</sup>, 杨树明<sup>2</sup>, 普晓英<sup>2</sup>

(1. 云南大学 生命科学学院, 云南 昆明 650091; 2. 云南省农业科学院 生物技术与种质资源研究所, 云南 昆明 650223)

**摘要:**在土壤有效磷质量比分别为  $0.26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $80.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  条件下对云南 111 份改良稻和 77 份元阳地方稻进行形态性状与程氏指数间的磷高效研究, 以明确籼粳分化和米色与磷高效间相互关系, 对比改良稻和地方稻间磷高效差异. 结果表明: ① 相对地上干物质量、相对地下干物质量、相对总干物质量和相对分蘖力 4 个耐低磷指标性状可作为水稻耐低磷能力强弱评价的理想指标, 能明确反映出磷高效能力强弱; ② 元阳地方稻各亚种间平均耐低磷能力均明显高于云南改良稻, 且差异明显, 4 个耐低磷指标性状平均值为籼 > 偏籼 > 偏粳 > 粳, 无色米 > 有色米, 耐低磷能力随程氏指数的增大呈递减趋势; ③ 总体而言, 程氏指数和耐低磷指标性状间多数呈显著负相关, 磷高效特性和籼粳分化密切相关.

**关键词:**改良种; 地方稻; 籼粳亚种; 磷高效; 程氏指数

**中图分类号:**S 323 **文献标识码:**A **文章编号:**0258-7971(2009)03-

水稻是世界 50% 以上人口的主食, 其产量提高主要归结于化肥使用的增加<sup>[1]</sup>, 其中磷肥是最重要肥料之一, 其过量施用导致环境污染、磷素资源分布失衡. 如中国 2/3 的农田缺磷, 其中云南省有效磷低于  $6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  的水田占 50% 以上, 缺磷土壤多集中分布在低海拔、高气温、多雨量的热带、亚热带红壤地区, 缺磷的酸性红壤驯化出众多的磷高效稻种<sup>[2]</sup>. 目前国内外水稻磷高效特性及基因定位克隆进展显著, 如低磷胁迫下农作物的农艺性状和磷的利用机制研究较多<sup>[2,5,7]</sup>, 耐低磷基因 *Pup1* 与克隆的 *OsPTF1* 基因能显著增强水稻耐低磷能力<sup>[3,4]</sup>, 云南稻核心种质的耐低磷能力随程氏指数增大而降低, 由籼至粳呈递减趋势<sup>[8]</sup>.

云南作为亚洲栽培稻的分化中心, 中国最大的稻种遗传多样化中心和优异种质的富集地区, 境内地理气候类型复杂, 海拔 76~2 700 m 均有稻作分布<sup>[6,9,10]</sup>, 其中以元阳梯田海拔差异大(114~2 939 m)和立体气候明显形成的地方品种是研究云南稻

种演化和多样性成因的典型材料, 在国内外有很大影响力, 曾被《Science》杂志在 2002 年第 296 期引为封面. 因此, 以云南 111 份主要改良稻和 77 份元阳地方稻为材料进行籼粳分类, 在土壤有效磷含量为  $0.26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $80.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  2 种条件下测定磷高效能力, 揭示籼粳形态性状以及米色与磷高效关系、对比改良稻种和地方稻间磷高效差异, 为高效发掘磷高效种质资源和品种选育提供参考.

## 1 材料与方法

**1.1 材料种植** 设低磷、施磷 2 种处理进行磷高效鉴定, 低磷土壤采自昆明阿子营乡(海拔 2 150 m)20 多年未施过磷肥的表层 20 cm 稻田酸性红壤, 经云南省农业科学院土壤肥料研究所测定, 其有效磷和总磷质量比分别为  $0.26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $1 215 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 水解氮和总氮质量比分别为  $141.61 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $1 700 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有效钾和总钾质量比分别为  $106.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $5 260 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,

\* 收稿日期: 2009-01-01

基金项目: 云南省省院省校合作项目资助(2006YX12); 国家自然科学基金项目资助(30660092); 云南省人才培养项目资助(2005PY01-14).

作者简介: 王雨辰(1982-), 男, 云南人, 硕士生, 主要从事水稻化学成分及基因组方面的研究.

通讯作者: 曾亚文(1967-), 男, 云南人, 研究员, 主要从事水稻及大麦育种方面的研究, E-mail: zengyw1967@126.com.

pH 值 6.28. 施磷土壤在低磷土壤基础上施过磷酸钙  $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 经计算施磷土壤有效磷质量比约为  $80.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 每盆 4.0 kg 土壤, 栽 3 苗, 每个材料栽 3 盆, 2 重复. 栽种于云南省农科院实验大棚, 常规管理.

苗期 3 次调查最高茎蘖数, 抽穗期考察壳色、叶毛、有效穗数. 收种时考察籽粒稃毛、粒长、粒宽、等性状, 并将植株地上部分和地下部分风干后称量, 获得地上干物质量、地下干物质量和总干物质量采用公式  $T = T_0/T_p \times 100$  计算磷反应指数, 其中  $T_0$  代表低磷胁迫下表型值,  $T_p$  代表施磷条件下表型值. 用 SPSS 和 EXCEL 软件计算相对性状的平均值 (Mean) 及标准差 (SD), 并进行显著性检验和相关性分析.

**1.2 粳籼及米色判别** 按程侃声方法<sup>[11]</sup> 调查 6 个粳籼形态性状 (稃毛、酚反应、叶毛、抽穗期壳色、1~2 节长、籽粒长宽比) 进行粳籼亚种分类, 6 性状形态指数积分为: 粳型为 0~8, 偏粳 9~13, 偏籼 14~17, 籼型 18~24. 所有收获籽粒按米皮颜色分为有色和无色 2 种.

## 2 结果与分析

### 2.1 低磷指标性状在改良稻和地方稻中的差异

表 1 揭示 77 份元阳地方稻和云南 111 份改良稻不

同亚种磷反应指数差异, 元阳地方稻的 4 个指标性状磷反应指数由粳至籼逐渐增高. 相对地上部干物质量、相对地下部干物质量、相对总干物质量和相对分蘖力依次为: 粳型 > 偏粳 > 偏粳 > 粳型 > 无色米 > 有色米, 元阳地方稻的磷高效能力明显高于改良稻, LSD 法显著性检验表明, 地方稻和改良稻之间相对地上部干物质量、相对地下部干物质量、相对总干物质量和相对分蘖力均呈现比较大的差异, 米色之间差异也较大, 说明粳型无色稻在有效磷很低的条件下积累较多的生物量, 表现出较强的磷高效能力. 中间类型的变异系数较大, 说明偏粳, 偏籼型可能蕴藏优良的磷高效基因, 是筛选磷高效稻种的好材料. 而元阳梯田由粳至籼分化随海拔增加呈现连续性分布, 反映出磷高效能力随程氏指数和海拔增加而增强, 这是由元阳特有的地理气候和稻作文化决定的.

**2.2 程氏指数与各性状间的相关性** 表 2 得出, 低磷胁迫下改良稻和地方稻程氏指数与 10 个表型性状组成的 45 对性状间分别有 12 对和 27 对达显著或极显著相关, 表明粳籼分化与多个性状间存在紧密联系. 元阳地方稻在低磷条件下, 程氏指数与 8 个性状间达显著或极显著负相关, 说明随程氏指数增加, 实粒数、秆重、穗重、地下重、分蘖力、穗数、穗长呈减少趋势.

表 1 元阳地方稻及云南改良稻磷高效特性差异

Tab. 1 Difference of phosphorus efficiency between local rice in Yuanyang and improved rice in Yunnan

类型	地上重		地下重		总重		分蘖力	
	元阳稻	改良稻	元阳稻	改良稻	元阳稻	改良稻	元阳稻	改良稻
粳型	65.2 ± 19.7**	48.1 ± 9.7**	55.3 ± 19.4**	43.3 ± 12.4**	51.3 ± 18.4*	49.4 ± 5.2*	50.0 ± 8.2**	35.2 ± 14.3**
偏粳	71.3 ± 20.2**	51.1 ± 12.1**	62.4 ± 25.8*	57.5 ± 13.5*	55.5 ± 19.2*	48.4 ± 9.8*	49.3 ± 11.6*	41.3 ± 17.6*
偏籼	75.5 ± 24.9**	57.3 ± 12.4**	68.5 ± 45.5*	60.5 ± 16.3*	61.6 ± 18.6**	55.7 ± 8.2**	59.4 ± 20.0	56.7 ± 18.9
籼型	86.3 ± 17.7**	68.0 ± 9.1**	70.6 ± 26.8**	59.6 ± 11.3**	71.3 ± 10.3**	66.1 ± 4.5**	87.2 ± 1.8**	74.6 ± 16.7**
有色	71.5 ± 25.4**	50.4 ± 11.5**	66.7 ± 34.3**	57.2 ± 11.6**	70.8 ± 14.8**	50.7 ± 9.9**	52.6 ± 15.9	50.5 ± 21.9
无色	73.6 ± 21.8*	63.8 ± 14.7*	72.2 ± 28.4*	60.4 ± 16.4*	78.7 ± 14.3*	60.4 ± 12.8*	61.7 ± 25.4**	47.4 ± 18.0**
总体	73.3 ± 25.5**	52.9 ± 12.6**	65.4 ± 33.4*	58.5 ± 13.0*	66.2 ± 17.7**	52.6 ± 6.2**	55.8 ± 19.2**	47.6 ± 18.1**

表中数据为磷反应指数平均值 ± 标准差, 采用公式  $T = T_0/T_p \times 100$  计算而来; \*, \*\* : 分别表示元阳稻和改良稻间 0.05 和 0.01 差异显著水平.

表2 低磷胁迫下改良种和元阳地方稻形态性状与程氏指数的相关性

Tab. 2 Correlation of morphological traits and Cheng's index of Yunnan advanced rice and Yuanyang rice landrace under low-P stress

	程氏指数 A	实粒数 B	秆重 C	穗重 D	地下重 E	分蘖力 F	株高 G	穗数 H	穗长 I	米色 J
A	1	-0.386**	-0.405**	-0.413**	-0.351*	-0.572**	-0.058	-0.424**	-0.433**	-0.557**
B	-0.053	1	0.216	0.627**	0.012	0.293*	0.342**	0.163	0.419**	-0.130
C	0.084	-0.047	1	0.628**	0.623**	0.617**	0.536**	0.242	0.444**	-0.030
D	-0.108	0.407**	0.350**	1	0.334*	0.684**	0.572**	0.430**	0.481**	-0.093
E	-0.311*	-0.081	0.541**	0.134	1	0.107	0.029	0.348*	0.105	0.198
F	0.044	0.013	0.047	0.021	-0.168	1	0.254*	0.556**	0.299*	0.088
G	0.198	0.222	0.184	0.062	0.066	0.142	1	0.015	0.530**	0.108
H	-0.002	-0.152	0.510**	0.486**	0.263*	-0.002	-0.284*	1	-0.023	0.217
I	0.027	0.493**	0.049	-0.017	0.059	0.143	0.388**	-0.364**	1	-0.048
J	0.088	0.000	-0.229	0.061	0.085	-0.039	-0.068	0.080	-0.112	1

对角线上、下分别表示元阳地方稻和云南改良种低磷胁迫下磷高效性状与程氏指数之间的相关系数;\*,\*\* :分别表示0.05和0.01的显著水平

低磷胁迫下秆重与穗重、地下重、穗数呈极显著正相关,其相关系数:地下重>穗数>穗重,说明四者之间联系紧密,在磷素利用中互相影响.株高与穗数、穗长分别达显著负相关和极显著正相关,说明株高越高,穗数越少,穗长则越长.施磷条件下,程氏指数与秆重、穗重、地下重、穗数达到了显著或极显著负相关,与株高达显著正相关,随程氏指数的增加,秆重、穗重、地下重、穗数减小趋势明显,反映出粳稻的秆重、穗重、地下重、穗数明显弱于籼稻,粳稻磷高效能力逊于籼稻.秆重与地下重、穗数呈极显著正相关,说明地下重直接影响到地上部分的生物量.总之,程氏指数与磷高效指标性状间存在紧密联系,随程氏指数增加,水稻磷高效能力减弱,再次证明低磷胁迫下的相对分蘖力和相对生物量是公认的水稻耐低磷胁迫参数<sup>[8]</sup>.

### 3 讨论

云南是中国稻种最大的遗传和生态多样性中心,在数万年的起源、驯化和栽培过程中形成了多样性突出的亚洲栽培稻,由中国云南、印度阿萨姆到尼泊尔这一稻种起源中心传播至全世界,成为世界上半以上人口的主要粮食.省内稻区分布复杂,一般海拔76~1400 m以籼稻为主,且多为缺磷红壤区,1400~1600 m属于籼粳交错区,1600 m以上以粳稻为主<sup>[9,10,12]</sup>,元阳海拔114~2400 m之

间均有水稻栽种,而籼稻分布范围到1600 m以上,其地处热带亚热带、基因多样性中心区,形成这一现象的原因是生态环境的选择压力,也与籼稻在哈尼族居民生活中占有重要地位有密切关系.水稻耐低磷能力受遗传和环境因子的双重控制,与驯化选择密切相关,并可能与其他性状协同进化<sup>[13,14]</sup>,元阳地方稻在长期的人工驯化和缺乏有效磷的铁质酸性红壤以及复杂气候特征、落后的经济状况及独特民族生活习惯等多种复杂条件下,耐高寒、高海拔的籼稻品种被筛选出来,形成以籼为主,籼粳分化随海拔变化连续分布的现象.

在显著性检验中,地下重、分蘖力、秆重等7个性状能明确反映出磷高效能力,其中地下重与其他磷高效指标性状之间均存在紧密联系,说明根系发达与否与磷素吸收密切相关,从而直接影响到地上部分生物量的聚集,因此地下重是较重要的磷高效鉴定指标.现代农业大量使用化肥以求产量增加,带来了环境污染和多样性降低,而育种水平的提高,可能是导致粳稻磷高效基因源丧失的原因.本文中云南改良稻以粳稻为主,元阳地方稻以籼稻为主,且多为有色米,所以改良稻磷高效能力不如地方稻,无色米弱于有色米.

以上结果进一步说明云南改良稻和元阳地方稻磷高效基因源形成与遗传多样性、人工育种和土壤环境密切相关,磷高效水稻兼具较高自然增产潜

力、肥效比、磷利用率等多重优势,育种目标应在不施或少施磷的条件下获得高产品种,通过选育磷高效基因型水稻,对水稻品种的改良意义重大。

**致谢:**本试验中罗曦、孙正海、赵大伟、靳祥和赵春艳等研究生,以及吕国美、杨锦秀等同志做了部分田间工作,在此深表感谢!

## 参考文献:

- [1] 曾亚文,杜娟,普晓英,等. 云南稻种磷高效特性相关性状的生态差异[J]. 生态环境,2008,17(1):1 020-1 025.
- [2] 杜娟,曾亚文,杨树明,等. 云南粳稻耐低磷特性的主基因加多基因遗传分析[J]. 生态环境,2007,16(3):920-925.
- [3] WISSUWA M, WEGNER J, AEN, et al. Substitution mapping of Pup1: A major QTL increasing phosphorus uptake of rice from a phosphorus - deficient soil[J]. Theor Appl Genet,2002,105:890-897.
- [4] YI K, WU Z C, ZHOU J, et al. OsPTF1, A novel transcription factor involved in tolerance to phosphate starvation in rice[J]. Plant Physiology Preview,2005,138: 2 087-2 096.
- [5] 杜娟,曾亚文,杨树明,等. 合系 35 × 老来红联合世代

- 耐低磷性状主基因加多基因遗传研究[J]. 云南大学学报:自然科学版,2008,30(3):308-313.
- [6] 杨树明,曾亚文,杜娟,等. 水稻 02428 × 合系 35 杂种后代耐冷性状的相关性与遗传研究[J]. 云南大学学报:自然科学版,2007,29(4):414-419.
- [7] 杜娟,曾亚文,张云孙,等. 云南稻核心种质耐低磷性状与籼粳亚种间的关系[J]. 生态环境,2007,16(1):135-139.
- [8] 曾亚文,李自超,申时全,等. 云南地方稻种的多样性及优异种质研究[J]. 中国水稻科学,2001,15(3):169-174.
- [9] 曾亚文,李自超,杨忠义,等. 云南地方稻种籼粳亚种与生态群分类及地理生态分布[J]. 作物学报,2001,27(1):15-20.
- [10] 程侃声. 亚洲稻籼粳亚种的鉴别[M]. 昆明:云南科技出版社,1993.
- [11] ZENG Y W, SHEN S Q, LI Z C, et al. Ecogeographic and genetic diversity based on morphological characters of indigenous rice in Yunnan, China[J]. Genetic Resources and Crop Evolution,2005,50(7):566-577.
- [12] 王象坤,孙传清. 中国栽培稻的起源与演化专集[M]. 北京:中国农业大学出版社,1996.
- [13] 严小龙,张福锁. 植物营养遗传学[M],北京:中国农业出版社,1997.

## A study on the phosphorus efficiency of rice from Yunnan - improved breeds and local rice of Yuanyang

WANG Yu-chen<sup>1,2</sup>, ZENG Ya-wen<sup>1</sup>, DU Juan<sup>1</sup>, YANG Shu-ming<sup>1</sup>, PU Xiao-ying<sup>1</sup>

(1. School of Life Sciences, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2. Biotechnology and Genetic Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650223, China)

**Abstract:** It was studied on the phosphorus efficiency and Cheng's index under low - P (0.26 mg · kg<sup>-1</sup>) and high - P (80.0 mg/kg) soil, with 111 Yunnan improved breeds and 77 Yuanyang (Yunnan) local races included, trying to reveal the phosphorus efficiency difference between indica and japonica, colored rice and colorless rice, and compare the phosphorus efficiency between improved breeds and local races. The results indicated: ① Relative shoot weight, relative root weight, relative total weight and relative tiller ability could be used as ideal indexes to judge the tolerance to the low - P of different rice genotypes; ② All samples showed that local breeds were more tolerant than improved rices to the low - P stress, the difference was significant; And a combination of four indices (relative shoot weight, relative root weight, relative total weight and relative tiller ability) showed different tolerance to the low - P stress by different characters like this: indica > indicallike > japonicalike > japonica, colored > colorless; The tolerance to the low - P stress decreased by the increasing of Cheng's index; ③ In a word, there was a significant negative correlation between Cheng's index and the tolerance to the low - P stress. And the phosphorus efficiency showed a close relationship with the differentiation of indica and japonica.

**Key words:** Yunnan improved breeds; Yuanyang local races; indica - japonica rice; phosphorus efficiency; Cheng's index