

# 云南稻核心种质对土壤无效磷的活化特性及其生态差异

张 浩<sup>1,2</sup> 曾亚文<sup>1,\*</sup> 杜 娟<sup>1</sup> 普晓英<sup>1</sup> 杨树明<sup>1</sup> 桂 敏<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 云南省农业科学院 生物技术与种质资源研究所, 云南 昆明 650205 ;<sup>2</sup> 云南农业大学 农学与生物技术学院, 云南 昆明 650201 ; \* 通讯联系人, E mail :zengyw@public .km .yn .cn)

## Ecological Difference in Ability for Activating Unavailable Soil Phosphorus in Core Collection of Yunnan Rice

ZHANG Hao<sup>1,2</sup> , ZENG Ya wen<sup>1,\*</sup> , DU Juan<sup>1</sup> , PU Xiao ying<sup>1</sup> , YANG Shu ming<sup>1</sup> , GUI Min<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup> Biotechnology and Genetic Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China ;<sup>2</sup> College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China ; \* Corresponding author, E mail :zengyw@public .km .yn .cn)

Abstract : A 608 accession core collection (including 548 landrace accessions and 60 improved varieties) from 5 rice cropping regions and 16 prefectures in Yunnan Province was evaluated in P deficient (available P :0 .02 mg/kg) and P sufficient (available P :80 mg/kg) acid red soil .Rice landraces from Northwest Yunnan cold highland japonica rice region and Northeast Yunnan highland japonica rice region had a stronger ability of activating unavailable soil phosphorus , and those from South Yunnan single/double season rice region and South marginal paddy upland rice region were strong and greatly different with the diversiform distribution ; those from Central Yunnan single season japonica indica region were relatively weak in the ability . As for prefecture ,rice landraces from Wenshan ,Dehong ,Lincang ,Lijiang and Zhaotong had the strongest ability of activating unavailable soil phosphorus , and those from Xishuangbanna ,Nujiang ,Chuxiong ,Yuxi and Qujing were next , but those from Kunming ,Dali ,Honghe ,Baoshan and Diqing were the weakest . The ability of activating unavailable soil phosphorus of rice landraces was stronger than that of the improved varieties .  
Key words : Yunnan rice landrace ; core collection ; activating ability ; unavailable phosphorus ; ecological difference

摘 要 :在土壤有效磷含量 0 .02 mg/kg 和 80 mg/kg 条件下对云南 5 个稻作区和 16 个地州的 548 份云南地方稻核心种质和 60 份改良种进行了无效磷的活化特性及其生态差异研究。滇西北高寒粳稻区和滇东北高原粳稻区稻种无效磷活化能力较强 ;南部边缘水陆稻区和滇南单双季籼稻区稻种无效磷活化能力强且差异较大 ,并呈现多样性分布 ;滇中一季籼粳稻区则相对较弱。从行政区域看 ,文山、德宏、临沧、丽江和昭通稻种无效磷活化能力较强 ,西双版纳、怒江、楚雄、玉溪和曲靖次之 ,而滇中昆明、保山、红河、迪庆和大理最弱。云南地方稻的无效磷活化能力明显高于改良种。  
关键词 :云南稻 ;核心种质 ;活化特性 ;无效磷 ;生态差异  
中图分类号 :Q945 .1 ; S511 .024 文献标识码 :A 文章编号 :1001-7216(2006)03-0333-04

土壤有效磷缺乏是限制作物产量的关键因子之一。施磷增产显著却导致多样性丧失、磷源枯竭、环境污染、人类微营养危机、农业成本增加等系列问题<sup>[1-3]</sup>。40 多年来大规模的化肥施用使我国土壤成为蕴藏 1 亿 t 无效磷库<sup>[4]</sup>。鉴于作物的“遗传学缺磷”,挖掘作物活化利用无效磷的特性来提高磷营养效率对于解决上述问题意义重大。

水稻磷高效特性是受多基因控制的数量性状<sup>[5]</sup>。国内外水稻磷高效研究在耐低磷机理<sup>[6-8]</sup>、评价指标<sup>[9-10]</sup>和基因定位克隆<sup>[5,11]</sup>等方面进展显著,但有关水稻活化无效磷的特性报道甚少。我国土壤尤其南方酸性红壤,强烈的化学固定作用使其中的磷极易被转化为植物难以吸收利用的无效磷。在可溶性磷缺乏的情况下,水稻根系对无效磷的活化能力直接影响其生物产量。低磷胁迫下,水稻以减小根半径,增加根长,改善根构型,形成侧根、排根、簇生根,菌根侵染,分泌有机酸和酸性磷酸酶及表达高亲和磷转运蛋白等策略<sup>[6-8]</sup>来扩大对无效磷的活化吸收,低磷胁迫下的相对总干质量被认为是鉴定水稻磷高效品种的可靠指标<sup>[10]</sup>。水稻磷高效基因 *Pup1* 被定位于第 12 染色体上的 S14025 和 S13126 标记 3 cM 间,其主效基因与 RG9 连锁<sup>[5]</sup>。

云南是中国稻种最大的遗传、生态多样性中心和优异种质富集地区<sup>[12-13]</sup>,严重缺乏有效磷的铁质型酸性红壤的分

布较广。548 份云南地方稻种核心种质代表了 5285 份云南稻种资源约 90% 的遗传多样性<sup>[14]</sup>。因此,我们以云南稻核心种质为对象,在土壤有效磷含量 0 .02 mg/kg 和 80 mg/kg 两种条件下研究酸性红壤无效磷的活化特性及生态差异,以高效发掘水稻耐低磷种质,阐明水稻磷高效基因源形成背景,加速磷高效育种进程,为“少投入、多产出,促进健康和保护环境”的第二次绿色革命作出贡献。

### 1 材料与方法

#### 1.1 供试材料

548 份核心种质是 5285 份云南地方稻种经表型取样获得的初级核心种质,再经 31 个形态和 6 种同工酶筛选确定为二级核心种质,最终由 20 个 SSR 标记筛选确定,代表了云南地方稻种约 90% 的遗传多样性;另增水稻改良品种 60 份,共计 608 份稻种材料。

---

收稿日期 :2005-08-01 ;修改稿收到日期 :2005-09-29。  
基金项目 :国家自然科学基金资助项目 (30260060) ;云南省自然科学基金资助项目 (2002C0077M) ;云南省人才引项目 (2005PY01-14)。  
第一作者简介 :张 浩(1980 - ),男,硕士研究生。

1.2 试验方法

以昆明阿子营 20 多年未施过化肥的酸性红壤 20 cm 的表层土为土培介质 ,经云南省农业科学院土壤肥料研究所测定 :有效磷和总磷含量分别为 0 .02 和 1050 mg/kg ,水解氮和总氮含量分别为 146 .99 和 1820 mg/kg ,有效钾和总钾含量分别为 207 .15 和 12 320 mg/kg ,pH 值为 5 .49。每盆 4 .0 kg 土壤栽 3 苗 ,每个材料栽 2 盆(设不施磷肥即 P<sub>0</sub>和施 4 g 普通过磷酸钙/盆约 80 mg/kg 即 P<sub>80</sub>两种处理)。4 月 1 日移栽 ,成熟时将植株地上部分和地下部分分别风干后称量 ,获得地上部干物质质量和地下部干物质质量。为消除不同品种间自身生物特性的差异 ,采用公式  $T = T_0 / T_p \times 100$  计算相对干物质质量(包括相对总干物质质量、相对地上部干物质质量和相对地下部干物质质量) ,其中 T<sub>0</sub>代表不施磷水稻干物质质量 , T<sub>p</sub>代表施磷的水稻干物质质量 ,本文中的干物质质量均为相对干物质质量。计算水稻核心种质不同地州、稻区间相对指数的平均值、标准差( SD)及变异系数( CV) ,用 SPSS 软件进行差异显著性检验。按玉炯龙等<sup>[15]</sup> 标准划分稻区 ,即滇中一季籼粳稻区( )、滇南单双季籼稻区( )、南部边缘水陆稻区( )、滇东北高原粳稻区( )、滇西北高寒粳稻区( ) ;云南省地州行政区划以 1999 年为准([http://www.lib.cuhk.edu.hk/cata/Internet/ChinaAdms/Jiaoce2002htm/Yunnanjiaoce02 .htm](http://www.lib.cuhk.edu.hk/cata/Internet/ChinaAdms/Jiaoce2002htm/Yunnanjiaoce02.htm))。

2 结果与分析

2.1 不同稻区云南地方稻核心种质无效磷活化特性的差异

表 1 揭示了不同稻区云南地方稻核心种质无效磷活化特性的差异。云南地方稻核心种质相对总干物质质量和地上部干物质质量平均值均以第 和 稻区最大 ,第 稻区最小 ,其差异都达极显著水平 ;其次是第 和 稻区 ;而相对地下部干物质质量依次为 : > > > > 。LSD 法方差分析显著性检验表明 ,相对总干物质质量和地上部干物质质量在各稻区均呈现比较大的差异 ,就相对地上部干物质质量而言 ,第 稻区与 、 、 、 稻区均达极显著差异 ,第 稻区与第 、 稻区的差异也较大 ,但与第 稻区差异不大 , 和 稻区

基本无差异 ,表明滇西北高寒粳稻区和滇东北高原粳稻区在基本无有效磷的条件下积累较多的生物量 ,表现出较强的无效磷活化能力 ,糯谷和大吊谷是无效磷活化能力很强的品种 ,南部边缘水陆稻区和滇南单双季籼稻区地方品种相对总干物质质量和地上部干物质质量虽次于滇西北和滇东北 ,但相对总干物质质量和地上部干物质质量均大于 90 的品种分布却是最多 ,如大白糯和八宝米等品种活化无效磷的能力极强 ,说明活化无效磷的能力呈现出多样性分布 ,既有活化能力极强的 ,也有活化能力较弱的 ;第 稻区相对干物质质量均是最小 ,可能是长时期的施肥和人工选择导致了根系活化无效磷能力降低。因此 ,南部边缘水陆稻区、滇南单双季籼稻区和滇西北高寒粳稻区是发掘磷高效基因源的理想基地。

2.2 不同地州云南地方稻核心种质无效磷活化特性的差异

表 2 揭示了不同地州云南地方稻核心种质无效磷活化特性的差异。云南地方稻核心种质相对总干物质质量和地上部干物质质量均以文山、德宏、丽江、昭通为最大 ,且与其他地州差异达极显著水平。就相对总干物质质量和地上部干物质质量均大于 90 的品种(极强耐低磷品种)在各地州的分布而言 ,临沧 = 德宏 = 思茅 = 昭通(5) > 文山 = 红河 = 保山(3) > 西双版纳 > 玉溪 > 曲靖(1) ,且籼稻的份数多于粳稻 ,可见临沧、德宏、丽江、昭通和文山无论是平均相对干物质质量还是极强耐低磷品种的份数均为最高 ,故活化无效磷的能力较强 ,且分布相对集中。这些地州低纬度低海拔 ,高温高湿加速了土壤磷素的活化。怒江、西双版纳、玉溪、楚雄、曲靖相对干物质质量居中 ,也有少部分活化无效磷能力强的品种分布 ;而昆明、红河、保山、大理、迪庆相对总干物质质量和地上干物质质量都较低 ,可能长期的施肥和人工选择导致了根系活化无效磷能力降低。由表 2 可知 ,来自土壤有效磷小于 10 mg/kg 的土壤面积所占比例较大的地州云南地方稻核心种质 ,其相对总干物质质量和地上部干物质质量一般也较大 ,无效磷活化能力较强。这说明低效磷或无效磷胁迫酸性土壤与云南稻核心种质无效磷的活化特性密切相关。

2.3 云南地方种与改良种无效磷活化特性的差异

由表 1 可知云南稻种相对总干物质质量和地上干物质质量

表 1 不同稻作区云南稻核心种活化无效磷特性差异

Table 1 . Difference in ability of activating unavailable phosphorus for core collection at different rice cropping regions in Yunnan .

稻区 <sup>1)</sup> Rice cropping region <sup>1)</sup>	份数 No . of accessions	相对地上部干质量		相对地下部干质量		相对总干质量		极强耐低磷材料 <sup>2)</sup> Variety with very strong tolerance/% <sup>2)</sup>	
		Relative shoot dry weight		Relative root dry weight		Relative total dry weight			
		/ %		/ %		/ %			
		平均值±标准差 x̄± SD	变异系数 CV	平均值±标准差 x̄± SD	变异系数 CV	平均值±标准差 x̄± SD	变异系数 CV	份数 Sample	比例 Proportion/ %
	87	43 .57± 21 .31	48 .91	57 .79± 36 .08	62 .43	45 .56± 18 .65	40 .94	4	4 .60
	176	50 .69± 27 .64	54 .53	61 .92± 50 .12	80 .94	52 .21± 26 .57	50 .88	11	6 .25
	230	51 .58± 26 .09	50 .57	56 .01± 30 .42	54 .32	51 .07± 22 .89	44 .83	12	5 .22
	38	55 .66± 29 .74	53 .43	56 .13± 33 .05	58 .88	55 .29± 28 .56	51 .65	5	13 .16
	21	60 .36± 51 .47	85 .27	65 .76± 40 .50	61 .59	58 .53± 36 .74	62 .77	1	4 .76
地方种 Landrace	548	53 .37± 29 .39	55 .07	61 .83± 44 .20	71 .48	53 .64± 26 .84	50 .03		
改良种 Improved	60	48 .92± 19 .68	40 .22	76 .33± 73 .18	95 .87	52 .13± 21 .53	41 .30		

<sup>1)</sup> - 滇中一季籼粳稻区 ; - 滇南单双季籼稻区 ; - 南部边缘水陆稻区 ; - 滇东北高原粳稻 ; - 滇西北高寒粳稻区。  
<sup>2)</sup>表示相对地上部干质量和相对总干质量指数均大于 90 的极强耐低磷品种。  
<sup>1)</sup> , Central Yunnan single season japonica indica region ; , South Yunnan single/double season rice region ; , South marginal paddy upland rice region ; , Northeast Yunnan plateau rice region ; , Northwest Yunnan cold highland japonica rice region .  
<sup>2)</sup>Stands for varieties with strong tolerance to low phosphorus whose relative shoot dry weight and relative total dry weight are both more than 90 .

表 2 不同地州间云南稻核心种质耐低磷特性差异

Table 2 .Difference in ability of activating unavailable phosphorus for core collection at different prefectures in Yunnan .

地州 Prefecture	核心 种质数 No . of accessions	低磷土壤比例 <sup>1)</sup> Proportion of low available phosphorus soil <sup>1)</sup> / %	相对地上干质量 Relative shoot dry weight		相对地下干质量 Relative root dry weight		相对总干质量 Relative total dry weight		极强耐低磷材料 <sup>2)</sup>
			/ %		/ %		/ %		No . of accessions with very strong tolerance <sup>2)</sup>
			平均值 ± 标准差 珉± SD	变异系数 CV	平均值 ± 标准差 珉± SD	变异系数 CV	平均值 ± 标准差 珉± SD	变异系数 CV	
昆明 Kunming	3	14 .86	44 .33 ± 21 .19	47 .81	51 .36 ± 15 .98	31 .11	44 .17 ± 14 .98	33 .92	-
昭通 Zhaotong	37	70 .29	56 .45 ± 29 .75	52 .69	56 .85 ± 33 .20	58 .41	56 .05 ± 28 .55	50 .94	5
曲靖 Qujing	14	66 .32	49 .15 ± 34 .78	70 .77	52 .46 ± 25 .26	48 .15	47 .93 ± 25 .60	53 .41	1
玉溪 Yuxi	28	72 .66	49 .42 ± 23 .72	47 .99	58 .95 ± 58 .95	58 .95	50 .26 ± 20 .97	41 .72	1
思茅 Simao	111	52 .67	48 .56 ± 24 .33	50 .11	53 .51 ± 35 .47	66 .27	48 .58 ± 23 .85	49 .09	5
临沧 Lincang	99	75 .75	51 .88 ± 25 .20	48 .58	62 .26 ± 51 .74	83 .11	52 .78 ± 22 .06	41 .79	5
保山 Baoshan	40	28 .00	40 .54 ± 21 .18	52 .25	60 .50 ± 46 .47	76 .82	44 .51 ± 21 .49	48 .29	3
丽江 Lijiang	20	56 .91	58 .16 ± 52 .83	90 .83	61 .70 ± 30 .66	49 .69	56 .47 ± 36 .61	64 .83	1
文山 Wenshan	31	74 .92	63 .55 ± 29 .47	46 .37	79 .96 ± 53 .94	67 .45	65 .65 ± 31 .63	48 .17	3
红河 Honghe	36	25 .71	41 .42 ± 26 .81	64 .74	52 .38 ± 39 .63	75 .66	43 .69 ± 24 .15	55 .28	3
西双版纳 Xishuangbanna	62	63 .08	47 .87 ± 21 .88	45 .71	53 .16 ± 27 .98	52 .63	47 .59 ± 20 .40	42 .88	1
楚雄 Chuxiong	5	77 .37	45 .04 ± 9 .07	20 .14	79 .36 ± 19 .61	24 .71	49 .55 ± 6 .04	12 .20	-
大理 Dali	7	59 .07	39 .19 ± 11 .90	30 .36	38 .72 ± 14 .33	37 .01	38 .13 ± 10 .26	26 .91	-
德宏 Dehong	47	33 .19	60 .00 ± 34 .78	57 .96	57 .90 ± 24 .03	41 .50	57 .70 ± 27 .65	47 .92	5
怒江 Nujiang	9	63 .01	50 .96 ± 11 .71	22 .97	84 .84 ± 42 .00	49 .51	55 .08 ± 15 .21	27 .61	-
迪庆 Diqing	3	42 .00	48 .97 ± 18 .77	38 .33	36 .29 ± 10 .81	29 .80	45 .27 ± 15 .96	35 .26	-

<sup>1)</sup>代表土壤有效磷含量 < 10 mg/kg 的土壤面积所占本州比例 数据引自 1989 年《云南省第二次土壤普查资料》;土壤有效磷 < 10 mg/kg 为缺磷土壤(摘自 :《全国养分分级统一标准表》 ,1986 年) ;

<sup>2)</sup>表示相对地上部干物质质量和相对总干物质质量指数均大于 90 的强耐低磷品种。

- <sup>1)</sup> Percentage of areas in which available phosphorus content is less than 10 mg/kg accounting for total areas in the prefecture ;
- <sup>2)</sup> Stands for varieties with strong tolerance to low phosphorus whose relative shoot dry weight and relative total dry weight are both more than 90 .

的平均值都是地方种 > 改良种 ,但相对地下干物质质量却是改良种 > 地方种 ,滇屯 502 等无效磷活化能力较强 ,说明把相对总干物质质量作为鉴定云南稻核心种质无效磷活化特性的指标 ,相对地上部干物质质量为参考指标是可行的 ,而相对地下部干物质质量却是不合适的 ,同时现代育种导致了云南稻种根系活化无效磷能力的衰退。云南是中国稻种最大的遗传和生态多样性中心 ,其立体生态下不仅形成了复杂的土壤类型多样性 ,而且云南地方稻经过数十年乃至数千年的协同进化形成稻种的遗传多样性与土壤生态环境息息相关 ,而严重缺乏有效磷的酸性红壤是形成丰富多彩磷高效基因源的主导因子。

### 3 讨论

#### 3.1 不同稻区云南稻核心种质无效磷活化特性差异显著

作物根系活化无效磷的能力最终表现在生物量上。长期低磷胁迫和复杂的地质气候特征 ,使云南稻核心种质无效磷的活化能力表现出丰富的多样性。南部边缘水陆稻区和滇南单双季籼稻区是云南稻种资源基因多样性中心区<sup>[16]</sup> ,根系无效磷活化能力强且差异大 ,兼有耐低磷和低磷敏感品种 ,故总体耐低磷能力不及滇西北高寒粳稻区和滇东北高原粳稻区 ,但极强耐低磷品种较多 ,因此对磷高效基因源的发掘仍要以多样性中心为重点。这与高温等生态因子降低土壤磷的扩散系数大体相符<sup>[17]</sup>。滇西北高寒粳稻区和滇东北高原粳稻区是云南重冷害区<sup>[18]</sup> ,低温抑制土壤无效磷活化使云南稻种由多样性中心区向北传播中使活化无效磷能力弱的品种被淘汰 ,因而总体耐低磷能力较强 ,加之当地施肥

和育种水平都比较落后 ,又使得驯化出的磷高效特性得以保存。而作为云南“粮仓”的滇中一季籼粳稻区 ,历来以高产为主要育种目标 ,可能是长时期的施肥和人工选择导致了它无效磷活化能力的衰退。

#### 3.2 不同地州云南地方稻核心种质无效磷活化特性差异较大

云南稻核心种质无效磷活化能力强的地州磷胁迫程度普遍较高 ,反之亦然。云南稻种资源遗传多样性中心区临沧、德宏、思茅和文山<sup>[13]</sup> 无效磷活化能力强的品种居多 ;各地州不同的气候和地质特征 ,必然造成稻种无效磷活化特性和机制的差异。云南稻核心种质无效磷活化能力有从多样性中心向北(丽江和昭通)渐强扩散的分布规律 ,这与地质生态背景和稻种的传播密切相关。因此云南地方稻对无效磷的活化特性是经数十年乃至数千年的水稻基因型与无效磷的酸性红壤长期协同进化的结果 ,并与多样性中心区有着必然的联系。

#### 3.3 云南地方稻核心种质无效磷活化特性形成的主导因子及耐低磷品种的利用前景

严重缺乏有效磷的铁质型酸性红壤是云南稻核心种质无效磷活化特性形成的主导因子 ,复杂的气候特征、落后的经济状况及民族多样性也起到了一定作用。以有效磷为 0.02 mg/kg (但总磷是 1050 mg/kg )极端条件下筛选出磷高效品种且呈现多样性 ,说明云南稻种活化土壤磷库中无效磷的能力存在差异。因此 ,于独特的生态、文化、地理隔离及民族多样性中形成的云南稻核心种质经数十年乃至数千年的低磷驯化所建立起来的无效磷活化特性十分宝贵。

糙米低磷含量是水稻磷高效种质鉴定评价指标之一<sup>[19]</sup>;以挖掘利用云南酸性红壤之潜在“磷库”为目的,基于云南稻核心种质强无效磷活化特性进行耐低磷品种选育推广是云南稻作今后的一大任务。以相对总干质量和相对地上部干质量为指标筛选出文山州极强耐低磷品种“八宝米”是早在明清时期就作为“贡米”的云南名贵特优籼稻品种,其优质特性和耐低磷特性的有机结合在稻米生产和第二次绿色革命中有着广阔的应用前景。

谢辞:本试验中申时全、郭云周和邵丽梅等同志参加了部分工作,在此深表感谢!

参考文献:

[1] Tilman D. The greening of the green revolution. *Nature*, 1998, 396:211-212.

[2] Abelson P H. A potential phosphate crisis. *Science*, 1999, 283:2015-2021.

[3] 吴平,印莉萍,张立平,等.植物营养分子生理学.北京:科学出版社,2001.

[4] 曾亚文,杜娟,申时全,等.作物种质资源在农业面源污染防治中的作用探讨.中国农学通报,2004(增刊):191-193.

[5] Wissuwa M, Wegner J, Ae N, et al. Substitution mapping of *Pup1*: a major QTL increasing phosphorus uptake of rice from a phosphorus deficient soil. *Theor Appl Genet*, 2002, 105: 890-897.

[6] 李锋,李木英,潘晓华,等.不同水稻品种幼苗适应低磷的根系生理生化特性.中国水稻科学,2004,18(1):48-52.

[7] 潘晓华,刘水英,李锋,等.低磷胁迫对不同水稻品种叶片膜脂过氧化及保护酶活性的影响.中国水稻科学,2003,17(1):57-60.

[8] Masahito N, Takuro S, Jun W, et al. Low phosphorus

tolerance mechanisms: phosphorus recycling and photosynthate partitioning in the tropical forage grass, brachiaria hybrid cultivar mulato compared with rice. *Plant Cell Physiol*, 2004, 45(4):460-469.

[9] 刘亚,李自超,米国华,等.水稻耐低磷种质的筛选与鉴定.作物学报,2005,31(2):238-242.

[10] 李永夫,罗安程,王为木,等.耐低磷水稻基因型筛选指标的研究.应用生态学报,2005,16(1):119-124.

[11] 明凤,米国华,张福锁,等.发育时期对水稻耐低磷胁迫有关性状 QTLs 检测的影响.中国水稻科学,2001,15(4):248-252.

[12] 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.中国水稻科学,2001,15(3):169-174.

[13] Zeng Y W, Shen S Q, Li Z C, et al. Ecogeographic and genetic diversity based on morphological characters of indigenous rice (*Oryza sativa* L.) in Yunnan, China. *Genet Res Crop Evol*, 2003, 50(6):566-576.

[14] 曾亚文,申时全,普晓英,等.云南稻种资源核心种质研究进展.西南农业学报,2004,17(增):322-324.

[15] 玉炯龙,周永和.云南水稻种植区划.昆明:云南科技出版社,1992.

[16] Zeng Y W, Li Z C, Zhang H L, et al. Evaluation of genetic diversity in the rice landraces (*Oryza sativa* L.) in Yunnan, China. *Breeding Sci*, 2006, 56 (in press).

[17] 徐明岗,张一平,王锐群.土壤磷扩散规律及其能量特征的研究: .水分、质地、温度及其相互作用对磷扩散的影响.土壤学报,1996,33(2):148-157.

[18] 李绅崇,曾亚文,申时全,等.云南地方稻核心种质孕穗期耐冷性及其地理分布.中国水稻科学,2004,18(5):401-406.

[19] 曾亚文,申时全,汪禄祥,等.云南稻种矿质元素含量与形态及品质性状的关系.中国水稻科学,2005,19(2):127-131.