

磷水平对杂交水稻及其亲本根系酸性磷酸酶活性的影响

严宽¹ 王昌全^{1,*} 李焕秀² 李冰¹ 杨娟¹ 袁大刚¹

(¹四川农业大学资源环境学院, 四川雅安 625014; ²四川农业大学林学院园艺学院, 四川雅安 625014; *通讯联系人, E-mail:wcquan@sicau.edu.cn)

Effects of Phosphorus Level on the Activity of Acid Phosphatase in Roots of Hybrid Rice and Its Parents

YAN Kuan¹, WANG Chang-quan^{1,*}, LI Huan-xiu², LI Bing¹, YANG Juan¹, YUAN Da-gang¹

(¹College of Resource and Environment, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China; ²College of Forestry and Horticulture, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China; *Corresponding author, E-mail:wcquan@sicau.edu.cn)

YAN Kuan, WANG Changquan, LI Huan-xiu, et al. Effects of phosphorus level on the activity of acid phosphatase in roots of hybrid rice and its parents. *Chin J Rice Sci*, 2010, 24(1): 43-48.

Abstract: The activities of acid phosphatase (APase) in roots of hybrid rice and its parents at the tillering, booting and filling stages were studied with 7 rice parents and their combinations as materials in a solution culture experiment with different phosphorus levels to provide a foundation for screening high phosphorus-efficient hybrid rice. The activities of APase in roots differed under different P levels among maintainer lines. Under low P level, the activity of APase in roots of II-32B (P-inefficient type) was not significantly higher than that of the control (suitable P level) at the tillering stage. The tolerance of D62B and D83B (P-efficient type) to low P stress was enhanced notably with increased activity of APase in roots. Meanwhile, there existed the differences in APase activities in roots of the restorer lines. Compared with the control, the activity of APase in roots of R892 and R527 (P-efficient type) increased significantly at the tillering and booting stages under low P levels. Whereas, the activities of APase in roots of R549 and R781 (P-inefficient type) increased significantly only at the tillering stage. The increasing extents of APase activity in roots of the hybrid rice combination derived from different parents were also different. In the three periods, the differences in APase activity in roots of II you 549 (P-inefficient type) under low P level and the control were not notable, but the APase activity in roots of D83A/R527 (P-efficient type) under low P level increased significantly compared to the check. The increasing extent of APase activity in roots of II you 549 derived from II-32B and R549 was not significant at all the stages. The APase activity in roots of D83A/R527 from D83B and R527 increased markedly under low P level. And the increasing extents of APase activity in roots of II you 892 (II-32B×R892) and D62A/R781 (D62B×R781) were between II you 549 and D83A/R527 under low P level.

Key words: phosphorus stress; hybrid rice; acid phosphatase activity

严宽, 王昌全, 李焕秀, 等. 磷水平对杂交水稻及其亲本根系酸性磷酸酶活性的影响. *中国水稻科学*, 2010, 24(1): 43-48.

摘要: 为了解优良亲本和杂交组合的磷营养遗传特性,以7份亲本及其4个组合为材料,采用水培试验研究了不同磷水平对水稻亲本及其杂交组合根系酸性磷酸酶(APase)活性的影响。在低磷条件下,磷低效型保持系材料II-32B的APase活性较对照增加不显著,而磷高效型保持系材料D62B和D83B则通过显著提高根系APase活性增强了对磷胁迫环境的适应性。磷高效型恢复系材料R892和R527在分蘖期和孕穗期的APase活性均较对照显著提高,而磷低效型恢复系材料R549和R781除在分蘖期APase活性增加明显外,在孕穗期和灌浆期APase活性与对照差异不显著。不同亲本配制的杂交稻在低磷水平下,根系APase活性增加的幅度有所不同。磷低效型杂交组合II优549分蘖期、孕穗期和灌浆期根系的APase活性在不同供磷水平下差异不显著;磷高效型杂交组合D83A/R527在低磷水平下3个时期APase活性均明显提高。由磷低效型保持系材料II-32B与磷低效型恢复系材料R549配制的II优549,根系APase活性受低磷胁迫增幅不大;磷高效型保持系材料D83B与磷高效型恢复系材料R527配制的D83A/R527,根系APase活性在低磷水平下上升显著;磷低效型保持系材料II-32B与磷高效型恢复系材料R892配制的II优892,以及磷高效型保持系材料D62B与磷低效型恢复系材料R781配制的D62A/R781,受低磷胁迫时根系APase活性上升幅度介于磷低效组合II优549和磷高效组合D83A/R527之间。

关键词: 低磷胁迫; 杂交稻; 酸性磷酸酶活性

中图分类号: Q945.12; Q946.5; S154.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2010)01-0043-06

磷(P)是植物生长必需的大量元素之一。我国土壤中的总磷量相当可观,但有74%的耕地缺磷^[1],土壤中的绝大部分磷素以难溶性磷酸盐和有机磷形式存在^[2],95%以上不能被植物吸收^[3-6],即所谓的“遗传学缺乏”^[7]。根系是植物在低磷胁迫下,最先感受养分胁迫信号并对这一逆境信号加工、

处理和传递的部位^[8],而根系分泌的酸性磷酸酶

收稿日期: 2009-03-25; 修改稿收到日期: 2009-06-05。

基金项目: 四川省教育厅攻关项目(2006A013, 07ZS002); 四川省科技厅资助项目(2008JY0095)。

第一作者简介: 严宽(1983-),男,硕士研究生。

(acid phosphatase, APase)是植物水解有机态磷的一种适应性酶,缺磷可诱导水稻根系组织内 APase 活性和根系分泌到生长介质中的 APase 活性增强^[9-11]。前人关于水稻耐低磷的研究,主要集中在耐低磷品种资源筛选和鉴定指标的研究^[12-13]、不同水稻基因型对难溶性磷的吸收利用特性^[14-16]以及低磷胁迫对水稻光合特性的影响^[17]等方面,且大多为杂交组合差异方面的比较研究^[14,17],而对于杂交稻及其亲本之间的差异报道较少。本研究通过对11份杂交稻组合及其亲本在分蘖期、孕穗期以及灌浆期根系 APase 活性的差异研究,探讨其磷营养遗传特性,以期为培育磷高效水稻品种和筛选合适的育种材料提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试的11份水稻材料由四川农业大学水稻研究所提供,其中7份亲本(保持系3份,分别为Ⅱ-32B、D62B、D83B;恢复系4份,分别为R549、R892、R781、R527)以及由这些亲本配制的4个杂交稻组合,即Ⅱ优549(Ⅱ-32B×R549)、Ⅱ优892(Ⅱ-32B×R892)、D62A/R781(D62B×R781)、D83A/R527(D83B×R527)。前期通过对亲本磷吸收效率、生物学特性以及根系形态的差异研究,筛选出了4份磷高效材料,即保持系D62B、D83B和恢复系R892、R527。

1.2 试验设计

试验于2007年5月在四川农业大学甘家坝农场网室内进行。

采用水培试验。所有处理的水培营养液除P外,其他营养成分均同国际水稻研究所水培常规营养液配方一致。设1 mg/L、5 mg/L和10 mg/L(适磷对照)3个磷水平,P以 $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 形态供应。首先将精选的水稻种子消毒、洗净后育苗,待2叶1心时将秧苗移植于容积为20 L的黑色塑料桶中,并用木板分隔成4个区域,然后栽种在用铁丝固定,带有尼龙网包裹的塑料杯中,每杯种3株生长一致的幼苗,每处理设3次重复,最后培养于去P的常规水稻营养液中,营养液的起始pH值为5.5~6.0。培养液每7 d更换1次,并用0.1 mol/L NaOH或0.1 mol/L HCl调节pH值至5.5~6.0。在处理期间每天观察植株的长势。

1.3 样品的采集分析及数据处理

分别在水稻的分蘖期、孕穗期和灌浆期进行水

稻根系采样。

根系酸性磷酸酶活性测定:首先称取(1.2±0.01) g鲜根,加入8 mL醋酸钠缓冲液(pH为5.8)。然后进行冰浴研磨,用双层纱布过滤,在12 000×g下离心15 min,取上清液1 mL,接着加底物(*p*-nitrophenyl-phosphate)2 mL,然后在37℃水浴30 min,加2 mol/L NaOH 2 mL终止反应,于3 000×g下离心2 min,最后在405 nm波长下用UV-120分光光度计进行比色测定。酶活性以单位时间内单位质量的根生成的对硝基苯酚(PNP)的量来表示^[18-20]。

1.4 数据分析

采用Excel和SPSS 12.0对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 磷水平对水稻亲本及其杂种后代经济产量的影响

相对经济产量是衡量一个基因型磷效率高低的最直接的指标。由表1可见,不同磷水平下保持系和恢复系材料的产量存在明显差异。

当磷水平由10 mg/L降低到5 mg/L时,各个材料经济产量虽有不同,但受施磷量减少的影响不大。保持系的D62B和D83B受影响程度相对小于Ⅱ-32B;而恢复系R892和R527受影响程度同样小于另两个材料。在低磷条件下,相对经济产量的差异可反映材料本身和材料之间磷效率的差异。当磷水平下降到1 mg/L时,各材料的经济产量显著下降,且材料之间的差异也明显加大。保持系中的磷高效型品种D62B和D83B的相对经济产量要明显大于Ⅱ-32B;而恢复系的R892和R527也明显大于另两个材料,说明D62B、D83B、R892和R527材料受P浓度降低引起的产量下降程度较轻,磷效率较高。杂交稻组合中,由保持系和恢复系磷高效型材料配制的D83A/R527的相对经济产量要明显大于其他3个组合,表明磷效率高的亲本之间杂交比磷效率低的亲本之间杂交有更大的优势。因此,通过各材料产量上的差异,可寻找出优良亲本和优势组合,培育出磷高效的杂交水稻组合。

2.2 磷水平对水稻保持系根系 APase 活性的影响

从表2可以看出,不同生育期,保持系材料酸性磷酸酶活性是不同的。

在分蘖期,保持系Ⅱ-32B在P水平为5 mg/L时的APase活性较10 mg/L时无明显变化;D83B

和 D62B 明显上升, 上升幅度分别为 32% 和 53%, 均达显著水平。当磷水平从 5 mg/L 下降到 1 mg/L 时, 除 D83B 的 APase 活性显著增加, 上升幅度达到 44% 外, 其余两个材料的 APase 活性均无明显变化。

在孕穗期, 随着磷水平的降低, 除 D62B 外, 其余保持系材料的 APase 活性增加不显著。在 5 mg/L 和 1 mg/L 两个低磷水平下, 与对照相比 D62B APase 活性增加显著, 分别上升 49% 和 57%。

在灌浆期, 随着磷水平降低, II-32B 的 APase 活性无明显变化, D83B 和 D62B 的 APase 活性在 1 mg/L 时较对照(10 mg/L)有显著增加, 上升幅度分别为 66% 和 103%。

随着磷水平的降低, D62B 在 3 个生育期的 APase 活性显著增加; D83B 在孕穗期 APase 活性

变化不明显, 但在分蘖期和灌浆期 APase 活性增加显著, 说明磷高效型材料 D62B、D83B 在大部分生育期中能够迅速地对低磷条件作出反应, 通过根系增加酸性磷酸酶的分泌来提高自身对磷胁迫环境的适应性。磷低效型材料 II-32B 在 3 个时期内的 APase 活性增加都比较慢, 差异均未达显著水平。

2.3 磷水平对水稻恢复系根系 APase 活性的影响

由表 3 可知, 在分蘖期, 所有恢复系材料随着磷水平的降低, APase 活性有增加的趋势。其中恢复系材料 R892 和 R527 的 APase 活性随着磷水平的降低显著增加, 而 R549 与 R781 在磷水平由 10 mg/L 降至 5 mg/L 时, APase 活性变化不显著, 直至降至 1 mg/L 时, 与对照(10 mg/L)的差异才达显著水平。在孕穗期, R549 和 R781 的 APase 活性随着磷水平下降, 其活性无明显变化, R892 在 5 mg/L

表 1 不同磷水平下保持系、恢复系和杂交稻组合的经济产量

Table 1. Grain yields of maintainer line, restorer line and hybrid rice combination at different P levels.

水稻材料 Rice material	不同 P 水平下水稻的经济产量 Grain yield under different P levels/(g · plant ⁻¹)			相对经济产量 Relative grain yield
	10 mg/L(P1)	5 mg/L(P5)	1 mg/L(P10)	(P1/P10)
保持系 Maintainer line				
II-32B	6.440 c	4.681 f	3.917 g	60.82
D62B	7.504 a	6.687 b	5.439 d	72.48
D83B	6.803 b	7.479 a	5.205 e	76.51
恢复系 Restorer line				
R549	9.476 b	7.481 e	5.080 h	52.05
R892	9.963 a	8.964 c	8.110 d	81.40
R781	8.878 c	6.752 f	5.854 g	65.94
R527	6.543 f	6.016 g	5.732 g	87.61
杂交稻组合 Hybrid rice combination				
II 优 549 II you 549 (II-32B × R549)	7.329 b	5.873 d	5.080 h	69.31
II 优 892 II you 892 (II-32B × R892)	6.628 c	6.009 d	5.223 e	78.80
D62A/R781 (D62B × R781)	5.256 e	4.991 e	4.127 f	78.52
D83A/R527 (D83B × R527)	7.761 a	7.584 ab	7.439 b	95.85

同一类材料同一列数字后跟相同小写字母者表示差异未达到 5% 显著水平。表 2~表 4 同。

Within the same type of materials, data followed by the common lowercase letters in the same column mean no significant difference at 5% level. The same as in Tables 2 to 4.

表 2 不同磷水平下保持系材料根系的 APase 活性

Table 2. Effects of different P levels on APase activity in roots of maintainer line.

保持系 Maintainer line	P 水平 P level /(mg · L ⁻¹)	APase 活性 APase activity/(mmol · g ⁻¹ · h ⁻¹)		
		分蘖期 Tillering stage	孕穗期 Booting stage	灌浆期 Filling stage
II-32B	10	13.094 cd	17.787 a	7.741 bcd
	5	14.636 bc	18.297 a	8.781 abc
	1	15.213 b	21.471 a	9.873 ab
D62B	10	12.438 de	12.641 b	5.265 e
	5	19.087 a	18.875 a	7.049 cde
	1	20.121 a	19.784 a	10.709 a
D83B	10	10.528 e	17.682 a	5.682 de
	5	13.927 bcd	20.470 a	7.858 bcd
	1	20.006 a	20.835 a	9.406 abc

表3 不同磷水平下恢复系材料根系的 APase 活性

Table 3. Effects of different P levels on APase activity in roots of restorer lines.

恢复系 Restorer line	P 水平 P level /(mg · L ⁻¹)	APase 活性 APase activity/(mmol · g ⁻¹ h ⁻¹)		
		分蘖期	孕穗期	灌浆期
		Tillering stage	Booting stage	Filling stage
R549	10	13.088 cd	16.983 def	7.597 cde
	5	13.983 bc	17.522 cde	8.195 bcde
	1	18.329 a	19.374 abcd	8.126 bcde
R892	10	13.620 c	13.799 g	7.094 e
	5	15.616 b	15.730 efg	7.099 e
	1	17.467 a	20.704 a	8.397 abcde
R781	10	11.284 d	19.652 abc	8.116 bcde
	5	12.531 cd	20.160 ab	8.915 abc
	1	17.786 a	21.315 a	9.121 ab
R527	10	9.182 e	13.539 g	8.569 abcd
	5	13.907 bc	14.685 fg	9.083 ab
	1	18.088 a	17.965 bcde	9.766 a

表4 不同磷水平下杂交稻组合根系的 APase 活性

Table 4. Effects of different P levels on APase activity in roots of hybrid rice.

杂交稻 Hybrid rice	磷水平 P level /(mg · L ⁻¹)	APase 活性 APase activity/(mmol · g ⁻¹ h ⁻¹)		
		分蘖期	孕穗期	灌浆期
		Tillering stage	Booting stage	Filling stage
Ⅱ优 549(Ⅱ-32B×R549)	10	15.050 bc	17.712 de	5.582 cd
	5	15.881 abc	19.794 abcde	6.414 bc
	1	16.487 ab	19.248 bcde	6.956 bc
Ⅱ优 892(Ⅱ-32B×R892)	10	12.348 e	19.506 bcde	5.618 cd
	5	14.319 cd	20.035 abcd	6.179 c
	1	16.447 ab	20.372 abc	6.022 cd
D62A/R781(D62B×R781)	10	12.909 de	17.795 cde	5.934 cd
	5	14.222 cd	18.989 bcde	6.426 bc
	1	17.294 a	20.206 abcd	6.956 bc
D83A/R527(D83B×R527)	10	12.656 de	17.378 e	4.784 d
	5	15.022 bc	20.754 ab	7.684 b
	1	17.170 a	22.339 a	9.006 a

时, APase 活性与对照(10 mg/L)相比无显著差异,但在 1 mg/L 时的 APase 活性显著增加,升幅达 71%。此时, R527 的 APase 活性较对照增加 33%,达显著水平。到灌浆期,在磷水平降低到 1 mg/L 时,4 个恢复系材料的 APase 活性增加不显著。

总体来看,随着磷水平的降低,恢复系磷低效型材料 R549 和 R781 的 APase 活性只在分蘖期上升显著,说明生育期的变化对其影响较大,它们对磷胁迫逆境反应较慢。恢复系材料 R892 除在灌浆期 APase 活性增加不显著外,在其他 2 个时期有明显增加;R527 的 APase 活性在灌浆期和孕穗期都呈显著增加趋势,且其 APase 活性增长幅度大于 R549 和 R781。因此, R892 和 R527 能对低磷迅速作出反应,是恢复系较有代表性的材料,属于磷高效型亲本;而 R549 和 R781 对磷胁迫反应不灵敏,其 APase 活性变化主要与生育期有关,属于磷低效型恢复系亲本。

2.4 磷水平对水稻杂种后代根系 APase 活性的影响

从表 4 可看出,随着磷水平降低,Ⅱ优 549 在不同生育期内 APase 活性无明显增加,Ⅱ优 892 的 APase 活性在分蘖期时显著上升,而在孕穗期和灌浆期无明显变化;D62A/R781 的 APase 活性仅在分蘖期,磷水平降至 1 mg/L 时较对照显著上升,其余时期内受磷胁迫影响较小;D83A/R527 在分蘖期和灌浆期时与 D62A/R781 在分蘖期时的表现一致,而在孕穗期时,当磷水平降至 5 mg/L 时,其 APase 活性便显著上升,表现出明显的磷高效特征。总体来看,随着磷水平的下降,Ⅱ优 549 在 3 个生育期的 APase 活性变化都不显著;而 D83A/R527 受低磷胁迫后,APase 活性在 3 个时期均表现为显著增加,说明它能够通过提高 APase 活性,迅速对低磷环境作出反应。Ⅱ优 892 和 D62A/R781 的 APase 活性增加幅度介于Ⅱ优 549 与 D83A/R527

表 5 水稻保持系、恢复系及其杂交稻组合根系 APase 的活性

Table 5. APase activities in roots of maintainer line, restorer line and hybrid rice.

生育期 Developmental stage	亲本及子代 Parents and F ₁ hybrid	APase 活性 APase activity/(mmol · g ⁻¹ h ⁻¹)		
		10 mg/L P	5 mg/L P	1 mg/L P
分蘖期 Tillering stage	保持系 Maintainer line(n=3)	13.987 e	14.042 e	14.492 e
	恢复系 Restorer line(n=4)	11.884 g	16.780 c	17.624 b
	杂交稻 Hybrid(n=4)	13.206 f	16.105 d	18.225 a
孕穗期 Booting stage	保持系 Maintainer line(n=3)	18.217 c	18.947 bc	19.478 b
	恢复系 Restorer line(n=4)	18.217 c	18.209 c	18.939 bc
	杂交稻 Hybrid(n=4)	17.040 d	19.805 ab	20.587 a
灌浆期 Filling stage	保持系 Maintainer line(n=3)	6.264 cd	7.306 bc	7.343 bc
	恢复系 Restorer line(n=4)	6.711 cd	7.825 b	8.177 b
	杂交稻 Hybrid(n=4)	5.676 d	7.896 b	9.680 a

同一生育期同一行数字后跟相同小写字母者表示差异未达 5% 显著水平。

For a developmental stage, data followed by the same lowercase letters are not significantly different at 5% level.

之间, 它们的 APase 活性只在分蘖期增加显著, 在孕穗期和灌浆期增加不明显。

2.5 不同生育期杂交水稻及其亲本根系 APase 活性差异

在分蘖期, 低磷对杂交稻及其亲本根系 APase 活性的影响程度不同(表 5)。随着供磷水平的降低, 水稻恢复系及杂交稻 APase 活性均呈现显著上升的趋势, 磷水平从 10 mg/L 下降到 5 mg/L 时, 其 APase 活性增加最为明显, 分别达 41.2% 和 21.9%, 表明在该时期, 它们能很好适应磷胁迫的环境; 而保持系的根系 APase 活性则增长相对缓慢。

在孕穗期, 随着供磷水平的下降, 杂交稻及其亲本根系 APase 均保持较高的活性。当磷水平由 10 mg/L 下降至 5 mg/L 时, 保持系和恢复系 APase 活性增加不显著, 而杂交稻增加了 2.765 mmol/(g · h), 达显著水平。磷水平继续下降, 至 1 mg/L 时, 恢复系 APase 活性较对照仍然差异不显著, 表明低磷水平对其 APase 活性的影响不大, 它适应低磷的能力较差; 而保持系在 5 mg/L 的基础上显著下降, 在 1 mg/L 时与对照相比差异达显著水平; 杂交稻则较对照显著上升, 增幅达 20%, 且其 APase 活性显著高于保持系和恢复系。

在灌浆期, 杂交稻及其亲本根系的 APase 活性是 3 个时期中最低的。当磷水平降低到 5 mg/L 时, 保持系根系的 APase 活性较对照增加不显著, 磷水平降低到 1 mg/L 时, 其活性与对照相比也未有显著增加; 恢复系虽然在 3 个供磷水平下活性较强, 且在 P 为 1 mg/L 时的活性较对照增加显著, 但增幅仅 22%; 杂交稻在适磷(10 mg/L) 处理下 APase 活性较低, 但低磷处理后, 活性上升较大, 在磷水平为 5 mg/L 时活性较对照就已显著升高, 到 1

mg/L 时的活性与对照相比增幅达到 71%。

总体看来, 杂交稻在各个生育期的根系 APase 活性, 一般高于保持系和恢复系。说明杂交稻能通过提高 APase 的活性来增加对磷的吸收, 维持自身的生长, 以更好地适应低磷环境, 继承了亲本磷高效基因的优势。

3 讨论

酸性磷酸酶是植物体内重要的水解酶类之一, 与植物体内磷的再利用有密切关系^[21]。缺磷时, APase 催化可重复利用有机磷化合物分解, 以维持植物生长^[22]。前人研究认为, 低磷条件下, 植物对磷吸收量与 APase 活性呈正相关^[23], 同时较高的根系 APase 活性将增加根系对酸性磷酸酯酶的分泌, 提高根系微生态系统中磷的有效性, 从而提高对磷的吸收效率^[24]。

杂交稻及其亲本根系 APase 活性低水平磷处理要比高水平磷处理更高。磷高效型材料在低磷水平下通过提高根系的 APase 活性来催化更多的有机磷化合物分解, 以维持水稻的正常生长; 而磷低效型材料根系 APase 活性增加缓慢, 分解的有机磷有限, 不能维持自身正常生长。据报道, APase 活性增加有利于植株体内有机磷的重复利用, 同时较高的根系 APase 活性将增加根系的 APase 分泌, 提高根系微生态系统中 P 的有效性, 从而提高对 P 的吸收效率^[7]。可见 APase 活性是评价水稻在低 P 营养条件下, 对 P 的吸收效率和利用效率的综合生化指标^[2]。本研究表明, 当水稻受到略低于正常磷水平处理时, 某些材料的经济产量反而会高于正常磷处理, 其 APase 活性增长也较快, 如保持系 D83B, 在 5 mg/L 时活性相比适磷对照有显著增加。而在低磷

下,磷高效型材料则逐渐显现出优势,相对经济产量显著大于磷低效型材料,APase活性增长幅度也要大于磷低效型材料。

本研究表明,不同供磷水平对杂交稻及其亲本根系 APase 活性产生较大的影响,且在不同生育时期,对杂交稻及其亲本的影响程度不同。总的来说,杂交稻在不同磷水平处理下各生育期对磷胁迫环境的适应能力,明显比保持系、恢复系强。这是由于亲本优势基因的加性效应表现出的杂种优势,使得杂交后代抗逆性显示出优于亲本的性状^[25-26]。而恢复系和保持系在低磷水平下表现出的差异可能与恢复系基因和保持系基因有关,在适磷(10 mg/L)水平下,保持系占优势,对杂交稻贡献较大;在低磷(5 mg/L 和 1 mg/L)水平下,则以恢复系更强,其 APase 活性更强,且在不同保持系和恢复系材料间差异明显,其具体原因还有待于进一步研究。

理想的磷高效水稻应具备高效吸收磷、高效活化土壤中的磷和高效利用植物体中磷的优势。实际上自然界中很难找到同时具有这三方面优势的资源。但如果能通过优势基因组合,研究其高效的实质,这对于解决我国农业生产中磷素严重匮乏的问题具有重要意义。本研究结果表明,不同亲本配制的杂交稻适应磷胁迫环境的能力不同。由保持系磷低效型材料 II-32B 和恢复系磷低效型材料 R549 配制出的杂交稻 II 优 549, APase 活性较低;而由保持系磷高效型材料 D83B 与恢复系磷高效型材料 R527 配制的 D83A/R527,其 APase 活性在分蘖期、孕穗期和灌浆期 3 个时期均较大,低磷胁迫下其 APase 活性明显增加,对低磷适应能力较强;而由保持系磷高效型材料和恢复系磷低效型材料,以及由保持系磷低效型材料与恢复系磷高效型材料配制的杂交稻(II 优 892 和 D62A/R781),其 APase 活性及其适应低磷的能力则介于 II 优 549 与 D83A/R527 之间。由此可见,不同亲本配制的杂交稻在受到磷胁迫时,其 APase 活性增加幅度不同,适应磷胁迫能力有差异,可根据优良亲本,寻找优势组合,培育出磷高效的杂交水稻品种。

参考文献:

[1] 张宝贵,李贵桐. 土壤生物在土壤磷有效化中的作用. *土壤学报*, 1998, 35(1): 104-111.
 [2] 郭再华,贺立源,徐才国. 水稻耐低磷特性研究. *应用与环境生物学报*, 2004, 10(6): 681-685.
 [3] 李法云,高子勤. 土壤-植物根际磷的生物有效性研究. *生态学杂志*, 1997, 17(5): 57-60.

[4] 李永夫,罗安程. 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.
 [5] 明风,郑先武,米国华. 水稻耐低磷有关性状的分子标记. *科学通报*, 2000, 45(6): 520-526.
 [6] 李永夫,罗安程,魏兴华,等. 水稻利用难溶性磷酸盐的基因型差异及其与根系分泌物活化特性的关系. *中国水稻科学*, 2006, 20(5): 493-498.
 [7] 郭玉春,林文雄,石秋梅,等. 低磷胁迫下不同磷效率水稻苗期根系的生理适应性研究. *应用生态学报*, 2003, 14(1): 61-65.
 [8] 李海波,夏铭,吴平. 低磷胁迫对水稻根系苗期侧根生长及养分吸收的影响. *植物学报*, 2001, 43(11): 1154-1160.
 [9] 戴高兴,邓国富,周萌. 水稻耐低磷胁迫研究进展. *广西农业科学*, 2006, 37(6): 671-675.
 [10] Goldstein A H, Bartlein D A, McDaniel R G. Phosphate starvation inducible metabolism in *Lycopersicon esculentum*: I. Excretion of acid phosphatase by tomato plants and suspension-cultured cells. *Plant Physiol*, 1998, 87: 711-715.
 [11] Toshiaki T, Hiroshi S. Secretion of acid phosphatase by the roots of several crop species under phosphorus deficient conditions. *Soil Sci Plant Nutr*, 1991, 37(1): 129-140.
 [12] 郭再华,贺立源,徐才国. 水稻耐低磷种质资源的筛选、鉴定指标. *作物学报*, 2005, 31(1): 65-69.
 [13] 刘亚,李白超,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.
 [14] Foehes D, Classen N, Jungk A. Phosphorus efficiency of plants: I. External and internal P requirement and uptake efficiency of different plant species. *Plant & Soil*, 1998, 110: 101-109.
 [15] 郭再华,贺立源,徐才国. 不同耐低磷水稻基因型秧苗对难溶性磷的吸收利用. *作物学报*, 2005, 31(10): 1322-1327.
 [16] 李锋,曲雪艳,潘晓华,等. 不同水稻品种对难溶性磷利用能力的初步研究. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(4): 420-424.
 [17] 曹黎明,潘晓华. 水稻耐低磷机理的初步研究. *作物学报*, 2002, 28(2): 260-264.
 [18] 黄学林. 种子生理实验手册. 北京: 农业出版社, 1990: 107-109.
 [19] Ni J J, Wu P, Lou A C, et al. Low phosphorus effects on the metabolism of rice seedlings. *Comm Soil Sci Plant Anal*, 1996, 27: 3073-3084.
 [20] Ohisuka T, Saka H. Undestructive measurement of acid phosphatase activity in the root of rice seedlings. *Jpn J Crop Sci*, 1988, 57: 722-727.
 [21] Besford R T. Phosphorus nutrition and phosphatase activity in the leaves of seven plant species. *J Sci Food Agric*, 1979, 30: 281-285.
 [22] Barrett-lennard E G, Greenway H. Partial separation and characterization of soluble phosphatase from leaves of wheat grown under phosphorus deficiency and deficit. *J Exp Bot*, 1982, 33: 694-704.
 [23] Duf S M G, Sarath G, Plaxton W C. The role of acid phosphatases in plant phosphorus metabolism. *Physiol Plant*, 1994, 90: 791-800.
 [24] 张福锁. 植物营养生态生理学与遗传学. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 53-61.
 [25] 文建成,张忠林,金寿林,等. 滇型杂交粳稻及其亲本稻米铁、锌元素含量的分析. *中国农业科学*, 2005, 38(6): 1182-1187.
 [26] 张名位,彭仲明,杜应琼. 特种稻米中微量元素铁、锌、锰含量的配合力和稳定性分析. *中国水稻科学*, 1996, 10(4): 201-206.