

东乡野生稻 (*Oryza rufipogon* Griff.) 的耐低磷能力鉴定

陈小荣 陈明 贺浩华 朱昌兰 彭小松 贺晓鹏 傅军如 欧阳林娟

(江西农业大学 农学院/作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室/江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室 江西 南昌 330045)

摘要:挖掘利用野生稻资源有利基因是当前稻作界研究热点之一。研究以常规栽培稻耐低磷品种大粒稻和莲塘早3号、低磷敏感品种新三百粒、沪占七和杂交稻保持系协青早B为对照,采用Yoshida营养液培养法,通过设置10、5、3、0.5、0 mg/L 5个磷浓度水平,5叶1心期时测定苗高、叶龄、黄叶数、茎基宽、根数、倒二叶长和宽、开张角、地上部干重、根干重等性状值,对东乡野生稻东塘下居群苗期低磷耐性进行鉴定。结果表明:东乡野生稻低磷耐性鉴定较适宜的质量浓度为0.5 mg/L,较适宜的简易指标为叶龄相对值、黄叶率;东乡野生稻东塘下居群、大粒稻、莲塘早3号、新三百粒、沪占七、协青早B相对值(0.5 mg/L与完全液比值)中叶龄相对值分别为0.947 8、0.996 6、0.954 9、0.873 7、0.822 5、0.828 2;黄叶率分别为0.35、0.49、0.66、0.67、0.67、0.68。综合看来,东乡野生稻显示出强耐低磷特性。

关键词:东乡野生稻;低磷耐性;鉴定

中图分类号:S511.032 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2011)03-0405-07

Identification of Low-Phosphorus-Tolerance in Dongxiang Wild Rice (*Oryza rufipogon* Griff.)

CHEN Xiao-rong, CHEN Ming, HE Hao-hua, ZHU Chang-lan,
PENG Xiao-song, HE Xiao-peng, FU Jun-ru, OUYANG Lin-juan

(College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetics and Breeding, Ministry of Education, Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding of Jiangxi Province, Nanchang 330045, China)

Abstract: Excavation and utilization of advantageous genes in wild rice resources are one of the current hot points in the research on rice crop. With the cultivated low-phosphorus-tolerance rice varieties Dalidao and Liantangzao3, low-phosphorus-sensitive varieties Xingsanbaili and Huzhanqi, hybrid rice fertility retaining line XieqingzaoB as the control, the low-phosphorus-tolerance ability of Dongtangxia population of Dongxiang wild rice at the seedling stage was identified through Yoshida nutrition solution cultivation with five phosphorus concentration levels, i. e. 10, 5, 3, 0.5, 0 mg/L. The indexes of plant height, leaf age, yellow leaves, the stem width, root numbers per plant, length, width and open angle of the second leaf from top, dry weight of the shoot and root were measured at the stage of five-leaf-and-one-leaflet period. The results showed that the suitable concentration for low-phosphorus-tolerance ability identification was 0.5 mg/L, while the suitable simple indexes were relative leaf age and yellow leaf ratio. The relative leaf age values (ratio of 0.05 mg/L by

收稿日期:2010-10-30 修回日期:2011-01-27

基金项目:江西省重大科技创新项目(2008AB00800)

作者简介:陈小荣(1972—),男,教授,博士,主要从事作物生理与育种研究, E-mail: ccxrr80@163.com。

10 mg/L) of Dongxiang wild rice Dongtangxia population, Dalidao, Liantangzao3, Xingsanbaili, Huzhanqi, and XieqingzaoB were 0.947 8, 0.996 6, 0.954 9, 0.873 7, 0.822 5, and 0.828 2; the yellow leaf ratios were 0.35, 0.49, 0.66, 0.67, 0.67, and 0.68, respectively. Viewed synthetically Dongtangxia population has strong low-phosphorus-tolerance ability.

Key words: Dongxiang wild rice; low-phosphorus - tolerance; identification

磷是作物生长发育必须的大量营养元素之一,土壤缺磷限制作物增产仅次于氮^[1]。据统计,全世界有43%的耕地,我国约2/3的耕地有效磷含量偏低,磷的缺乏已成为限制作物产量的主要因素之一^[2]。水稻是对缺磷很敏感的作物,磷在植株体的光合作用、呼吸作用和生理生化调节过程中起着重要作用^[3]。通过利用植物遗传多样性,选择能高效吸收和利用土壤中营养元素的基因型来改良作物是以后作物育种的新方向之一^[4]。鉴定现有水稻资源低磷耐性及磷效率,充分挖掘和利用磷高效基因,培育优质、高产、环保型磷高效水稻新品种意义重大,实际上也是当前稻作界的一个重要研究课题。国内外科研人员对栽培稻品种低磷耐性种质鉴定及其机理进行了一些探讨^[5-13]。然而,由于遗传基础日益狭窄及普通栽培稻低磷耐性品种的耐性程度问题,科研人员尤其是育种家开始将目光转向能在自然土壤环境中繁衍生息的野生稻^[14-16]。东乡野生稻(简称东野)是普通野生稻,基本栖息地为池塘、沟渠、山坡等偏僻地,在长期的野生状态中,土壤贫瘠,生态条件恶劣,经受了各种灾害和不良环境的自然选择仍能衍生不灭,东野的强适应性表明其含有丰富的抗逆基因。以往对东野的研究多集中于耐冷、耐旱及育性恢复等方面^[17-21]。2008年江西省启动重大科技创新项目“东乡野生稻有利基因的发掘、定位及标记辅助选择育种研究”,在该项目的支持下,根据杨空松、胡琴等对东野存在耐低磷特性初步结果^[22-23],以栽培稻低磷耐性品种为对照,开展东野低磷耐性的鉴定工作,对比东野与栽培稻耐性品种的耐低磷程度,筛选其有效鉴定磷浓度及简易形态指标,为其有效利用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

东乡野生稻东塘下居群(分布在北纬28°14′,东经116°36′,海拔47.6 m的红壤小低丘地区),由江西省农业科学院水稻研究所陈大洲研究员提供;籼型杂交稻保持系协青早B;2个耐低磷常规栽培稻品种大粒稻、莲塘早3号^[7];2个低磷敏感常规栽培稻品种沪占七、新三百粒^[7]。

1.2 试验设计

采用砂基质培养的方法,在玻璃温室内进行,培养液为Yoshida^[24]营养液配方。试验于2007年5月15日至7月3日间进行。取上述材料饱满种子先用清水浸12 h,后用体积分数为3%的双氧水消毒24 h,清水冲洗干净,置于光照培养箱内催芽,露出胚根后播于洗净湿润的石英砂上。待秧苗长到2叶1心时,添加Yoshida营养液,设置磷(P)处理质量浓度分别为P₁:10 mg/L、P₂:5 mg/L、P₃:3 mg/L、P₄:0.5 mg/L、P₅:0 mg/L 5个水平,处理重复3次。培养过程中,前两次每5 d换1次营养液,后每3 d换1次营养液,pH控制在5.5左右。当秧苗长至5叶1心期时(约30 d)调查并收获,收获前先在自来水中培养4~5 h,以除去根表面吸附的磷。进行秧苗素质的考查,主要考查苗高、叶龄、黄叶数、茎基宽、根数、倒二叶长和宽、开张角和地上部干重等指标。各测定20株,取其平均值。测定干物重时样品经105℃杀青10 min,后在(80±1)℃烘干3 d至恒重。数据处理在Excel及DPS^[25]数据操作处理系统上完成。

2 结果与分析

2.1 不同磷水平对不同水稻基因型叶龄的影响

为了消除各基因型间本身固有的性状差异性,本研究各指标以不同磷处理下的相对值进行比较。叶龄相对值结果表明(表1):耐低磷品种大粒稻、莲塘早3号在P₂、P₃、P₄质量浓度下的叶龄相对值也相差不大,东塘下在P₄质量浓度下叶龄相对值与P₂、P₃质量浓度下差异不大,两者表现类似,说明东塘下具有较好的耐低磷性。协青早B在P₂、P₃质量浓度下的叶龄相对值相差不大,但在P₄质量浓度下叶龄相对值大幅下降,说明协青早B对低磷亏缺敏感;低磷敏感品种新三百粒、沪占七叶龄相对值的变化

情况与协青早 B 类似。

表 1 不同水稻基因型叶龄相对值的对比分析

Tab. 1 Analysis of relative leaf age trait among the genotypes

基因型 Genotypes	R(p ₂)	R(p ₃)	R(p ₄)	R(p ₅)
大粒稻 Dalidao	0.991 6	0.984 0	0.996 6	0.857 1
莲塘早 3 号 Liantangzao3	0.951 9	0.914 3	0.954 9	0.729 3
新三百粒 Xingsanbaili	1.000 0	0.935 1	0.873 7	0.780 7
沪占七 Huzhanqi	0.995 7	0.901 9	0.822 5	0.735 9
东塘下 Dongtangxia	0.996 5	0.987 8	0.947 8	0.852 2
协青早 B XieqingzaoB	0.954 3	0.933 9	0.828 2	0.728 7

R(p₂) : (5 mg/L) 指标值 / (10 mg/L) 指标值; R(p₃) : (3 mg/L) 指标值 / (10 mg/L) 指标值; R(p₄) : (0.5 mg/L) 指标值 / (10 mg/L) 指标值; R(p₅) : (0 mg/L) 指标值 / (10 mg/L) 指标值。

R(p₂) : Index value of (5 mg/L) / (10 mg/L) ; R(p₃) : Index value of (3 mg/L) / (10 mg/L) ; R(p₄) : Index value of (0.5 mg/L) / (10 mg/L) ; R(p₅) : Index value of (0 mg/L) / (10 mg/L) .

2.2 不同磷水平对不同水稻基因型苗高的影响

苗高相对值结果表明(表 2): 无论是耐低磷品种大粒稻、莲塘早 3 号, 还是低磷敏感品种沪占七、新三百粒, 其苗高相对值随着磷浓度的降低均产生较大变化。莲塘早 3 号在 P₄ 质量浓度下与 P₂、P₃ 质量浓度下苗高相对值下降了近 25%。较新三百粒下降幅度还大, 表明不同磷水平无论对低磷敏感还是耐低磷基因型苗高影响均较大。东塘下各低磷处理, 尤其是 3、0.5、0 mg/L 下苗高相对值也均无明显差异, 显示出该指标下的耐低磷性。

表 2 不同水稻基因型苗高相对值的对比分析

Tab. 2 Analysis of relative plant height among the genotypes

基因型 Genotypes	R(p ₂)	R(p ₃)	R(p ₄)	R(p ₅)
大粒稻 Dalidao	0.975 5	0.836 9	0.830 6	0.798 8
莲塘早 3 号 Liantangzao3	0.904 9	0.879 0	0.651 7	0.640 6
新三百粒 Xingsanbaili	0.846 2	0.922 0	0.841 4	0.828 4
沪占七 Huzhanqi	0.924 6	0.910 2	0.538 4	0.534 1
东塘下 Dongtangxia	0.836 2	0.667 4	0.723 2	0.791 0
协青早 B XieqingzaoB	0.918 8	0.880 5	0.752 3	0.629 5

R(p₂) : (5 mg/L) 指标值 / (10 mg/L) 指标值; R(p₃) : (3 mg/L) 指标值 / (10 mg/L) 指标值; R(p₄) : (0.5 mg/L) 指标值 / (10 mg/L) 指标值; R(p₅) : (0 mg/L) 指标值 / (10 mg/L) 指标值。

R(p₂) : Index value of (5 mg/L) / (10 mg/L) ; R(p₃) : Index value of (3 mg/L) / (10 mg/L) ; R(p₄) : Index value of (0.5 mg/L) / (10 mg/L) ; R(p₅) : Index value of (0 mg/L) / (10 mg/L) .

2.3 不同磷水平对不同水稻基因型黄叶率的影响

表 3 不同水稻基因型在不同磷质量浓度下黄叶率性状的差异

Tab. 3 Differences of yellow leaf rate of different phosphorus treatments among genotypes

基因型 Genotypes	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
大粒稻 Dalidao	0.33 ± 0.02dE	0.49 ± 0.0bBC	0.68 ± 0.08aA	0.49 ± 0.03bB	0.41 ± 0.0cBD
莲塘早 3 号 Liantangzao3	0.51 ± 0.07cB	0.57 ± 0.05bcAB	0.65 ± 0.0aA	0.66 ± 0.02aA	0.60 ± 0.01abAB
新三百粒 Xingsanbaili	0.62 ± 0.03abA	0.65 ± 0.01abA	0.66 ± 0.02abA	0.67 ± 0.05aA	0.61 ± 0.05bA
沪占七 Huzhanqi	0.30 ± 0.04cC	0.53 ± 0.05bB	0.53 ± 0.03bB	0.67 ± 0.03aA	0.68 ± 0.06aA
东塘下 Dongtangxia	0.30 ± 0.01bB	0.17 ± 0.02cC	0.19 ± 0.07cC	0.35 ± 0.02bB	0.60 ± 0.02aA
协青早 B XieqingzaoB	0.52 ± 0.04bB	0.54 ± 0.02bB	0.54 ± 0.01bB	0.68 ± 0.01aA	0.67 ± 0.01aA

进一步考察不同磷水平对不同水稻基因型黄叶率的影响,由表 3 可看出,在低磷 P₄ 处理下,5 个供试基因型黄叶率的大小排列依次是:协青早 B、新三百粒≈沪占七、莲塘早 3 号、大粒稻、东塘下,东塘下 P₄ 黄叶率与 P₁ 之间无显著差异,显示出该指标下强耐低磷性。

2.4 不同磷水平对不同水稻基因型根数的影响

表 4 不同水稻基因型根数相对值的对比分析

Tab.4 Analysis of relative root numbers per plant among the genotypes

基因型 Genotypes	R(p ₂)	R(p ₃)	R(p ₄)	R(p ₅)
大粒稻 Dalidao	0.801 9	0.849 6	0.830 2	0.792 5
莲塘早 3 号 Liantangzao3	0.851 3	0.840 4	0.808 5	0.734 1
新三百粒 Xingsanbaili	0.755 1	0.683 5	0.652 9	0.571 5
沪占七 Huzhanqi	0.962 5	0.925 0	0.649 8	0.649 8
东塘下 Dongtangxia	0.951 0	0.828 8	0.804 7	0.780 5
协青早 B XieqingzhaoB	0.954 7	0.943 4	0.568 4	0.545 5

R(p₂) : (5 mg/L) 指标值 / (10 mg/L) 指标值; R(p₃) : (3 mg/L) 指标值 / (10 mg/L) 指标值; R(p₄) : (0.5 mg/L) 指标值 / (10 mg/L) 指标值; R(p₅) : (0 mg/L) 指标值 / (10 mg/L) 指标值。

R(p₂) : Index value of (5 mg/L) / (10 mg/L) ; R(p₃) : Index value of (3 mg/L) / (10 mg/L) ; R(p₄) : Index value of (0.5 mg/L) / (10 mg/L) ; R(p₅) : Index value of (0 mg/L) / (10 mg/L) .

根数相对值结果表明(表 4):东塘下、耐低磷品种大粒稻、莲塘早 3 号在 4 个不同磷质量浓度下的根数相对值均相差不大,表明东塘下具有耐低磷特性。协青早 B 在 P₁ 质量浓度下的根数相对值为 0.954 7,而在 P₄ 质量浓度下根数相对值仅有 0.568 4,表明协青早 B 根数对低磷反应很敏感。沪占七、新三百粒的根数相对值在 P₄ 质量浓度下也大幅下降。

2.5 不同磷水平对不同水稻基因型倒二叶(第 5 片完全叶)长、宽的影响

表 5、表 6 显示,不同水稻基因型的倒二叶长受磷浓度影响很大,无论是耐低磷基因型还是低磷敏感基因型,低磷水平 P₄、P₅ 处理与完全液 P₁ 处理相比,均存在极显著差异;倒二叶宽则正好相反,除沪占七外,其余 5 个基因型在低磷水平 P₄ 处理与完全液 P₁ 处理相比,均不存在极显著差异。

表 5 不同水稻在基因型不同磷质量浓度下倒二叶长的差异

Tab.5 Effects of different phosphorus treatments on the length of second leaf from top trait among the genotypes

基因型 Genotypes	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
大粒稻 Dalidao	25.43 ± 0.85aA	21.33 ± 0.65cC	19.23 ± 0.49dD	19.53 ± 0.67dD	23.47 ± 0.35bB
莲塘早 3 号 Liantangzao3	25.50 ± 0.36aA	23.07 ± 1.51bB	22.13 ± 1.08bB	15.23 ± 0.67cC	15.40 ± 0.10cC
新三百粒 Xingsanbaili	27.07 ± 3.59aA	25.67 ± 0.25aAB	24.07 ± 1.27abABC	21.77 ± 0.38bcBC	20.47 ± 1.50cC
沪占七 Huzhanqi	26.30 ± 0.53aA	24.43 ± 0.57bB	24.20 ± 0.10bB	13.40 ± 0.17cC	13.13 ± 0.29cC
东塘下 Dongtangxia	38.67 ± 0.81aA	35.43 ± 2.40aAB	26.50 ± 0.53cC	31.17 ± 0.95bBC	29.90 ± 3.90bcBC
协青早 B XieqingzaoB	24.27 ± 1.72aA	23.50 ± 1.53aA	21.30 ± 0.99bB	16.86 ± 0.40cC	16.82 ± 0.44cC

表 6 不同水稻基因型在不同磷质量浓度下倒二叶宽的差异

Tab.6 Effects of different phosphorus treatments on the width of second leaf from top among the genotypes

基因型 Genotypes	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
大粒稻 Dalidao	0.67 ± 0.06aA	0.57 ± 0.06abAB	0.60 ± 0.10abAB	0.53 ± 0.06bcAB	0.43 ± 0.06cB
莲塘早 3 号 Liantangzao3	0.67 ± 0.06aA	0.64 ± 0.06abA	0.63 ± 0.06abA	0.53 ± 0.06bA	0.53 ± 0.06bA
新三百粒 Xingsanbaili	0.57 ± 0.06aA	0.47 ± 0.06abA	0.47 ± 0.06abA	0.47 ± 0.06abA	0.43 ± 0.06bA
沪占七 Huzhanqi	0.53 ± 0.06aA	0.57 ± 0.06aA	0.47 ± 0.06aAB	0.27 ± 0.06bC	0.33 ± 0.06bBC
东塘下 Dongtangxia	0.33 ± 0.06aA	0.27 ± 0.06aA	0.27 ± 0.06aA	0.27 ± 0.06aA	0.27 ± 0.06aA
协青早 B XieqingzaoB	0.67 ± 0.10aA	0.63 ± 0.08aA	0.63 ± 0.05aA	0.57 ± 0.05bA	0.43 ± 0.05bB

2.6 不同磷水平对不同水稻基因型倒二叶开张角的影响

表 7 不同水稻基因型在不同磷质量浓度下倒二叶开张角的差异

Tab. 7 Effects of different phosphorus treatments on the opening angle of the second leaf from top trait among the genotypes

基因型 Genotypes	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
大粒稻 Dalidao	4.67 ± 0.58aA	3.33 ± 0.58bAB	3.33 ± 0.58bAB	3.33 ± 0.58bAB	2.33 ± 0.58bB
莲塘早 3 号 Liantangzao3	5.67 ± 1.53aA	3.00 ± 1.00bB	4.67 ± 0.58abAB	4.33 ± 0.58abAB	3.33 ± 0.58bAB
新三百粒 Xingsanbaili	5.33 ± 0.58aA	4.33 ± 1.53abA	3.33 ± 0.58bA	4.00 ± 1.00abA	4.00 ± 1.00abA
沪占七 Huzhanqi	5.33 ± 0.58aA	5.00 ± 1.00aA	5.67 ± 0.58aA	2.33 ± 0.58bB	2.00 ± 1.00bB
东塘下 Dongtangxia	15.33 ± 0.58aA	10.67 ± 0.58bB	8.67 ± 0.58cC	5.33 ± 0.58dD	3.33 ± 0.58eE
协青早 B XieqingzaoB	5.17 ± 0.75aA	4.67 ± 0.51abAB	4.17 ± 0.75bcAB	4.00 ± 0.63bcAB	3.50 ± 0.84cB

表 7 显示, 不同磷质量浓度对东塘下倒二叶开张角影响很大, 5 个磷质量浓度处理彼此之间均达极显著水平, 也就是说, 随着培养液磷浓度的下降, 东乡野生稻倒二叶开张角急剧缩小, 由原来的较松散快速紧凑化; 然而, 5 个栽培稻品种各种磷质量浓度处理间差异性小, 但各种磷浓度下东乡野生稻倒二叶开张角均高于栽培稻, 该现象值得进一步研究。

2.7 不同磷水平对不同水稻基因型地上部、根系干重及根冠比的影响

表 8 不同水稻基因型在不同磷质量浓度下地上部干重的差异

Tab. 8 Effects of different phosphorus treatments on the dry weight of the shoot trait among the genotypes

基因型 Genotypes	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
大粒稻 Dalidao	0.89 ± 0.05aA	0.85 ± 0.02aA	0.79 ± 0.07aAB	0.65 ± 0.03bBC	0.63 ± 0.08bC
莲塘早 3 号 Liantangzao3	0.76 ± 0.04aA	0.82 ± 0.06aA	0.75 ± 0.03aA	0.46 ± 0.07bB	0.48 ± 0.05bB
新三百粒 Xingsanbaili	0.65 ± 0.08aA	0.55 ± 0.04bcAB	0.60 ± 0.04abAB	0.49 ± 0.01cB	0.49 ± 0.01cB
沪占七 Fuzhanqi	0.73 ± 0.11bAB	0.90 ± 0.06aA	0.70 ± 0.09bB	0.23 ± 0.01cC	0.25 ± 0.03cC
东塘下 Dongtangxia	0.44 ± 0.05aA	0.46 ± 0.04aA	0.24 ± 0.05cB	0.32 ± 0.03bB	0.50 ± 0.01aA
协青早 B XieqingzaoB	1.01 ± 0.12aA	0.99 ± 0.06aA	0.72 ± 0.05bB	0.53 ± 0.08cBC	0.43 ± 0.03cC

表 9 不同水稻基因型在不同磷浓度下根干重的差异

Tab. 9 Effects of different phosphorus treatments on the dry weight of the root trait among the genotypes

基因型 Genotypes	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
大粒稻 Dalidao	0.67 ± 0.06aA	0.64 ± 0.08aAB	0.59 ± 0.08abAB	0.42 ± 0.02cC	0.49 ± 0.03bcBC
莲塘早 3 号 Liantangzao3	0.45 ± 0.08aA	0.42 ± 0.09aA	0.41 ± 0.01aAB	0.25 ± 0.06bB	0.24 ± 0.05bB
新三百粒 Xingsanbaili	0.45 ± 0.08aA	0.25 ± 0.06bB	0.26 ± 0.02bB	0.21 ± 0.02bB	0.25 ± 0.06bB
沪占七 Huzhanqi	0.39 ± 0.11bA	0.52 ± 0.05aA	0.36 ± 0.07bA	0.11 ± 0.02cB	0.15 ± 0.03cB
东塘下 Dongtangxia	0.18 ± 0.02bAB	0.16 ± 0.03bAB	0.11 ± 0.03bB	0.16 ± 0.04bAB	0.25 ± 0.06aA
协青早 B XieqingzaoB	0.61 ± 0.14aA	0.47 ± 0.10aAB	0.44 ± 0.10aABC	0.27 ± 0.04bBC	0.21 ± 0.04bC

表 8、表 9 显示, 6 个水稻基因型的地上部干重低磷水平 P₄ 处理与完全液 P₁ 处理相比, 均存在极显著差异; 东塘下在 P₅ 处理下与完全液 P₁ 处理无显著差异, 其余 5 个基因型均存在显著差异。根干重表现基本和地上部干重一样, 除东塘下外, 其余 5 个基因型低磷水平 P₄ 处理与完全液 P₁ 处理相比, 均存在极显著差异; 东塘下 5 个磷质量浓度下差异均未达极显著水平。可见低磷胁迫对东塘下地上部干重、根干重影响小, 东塘下具有强耐低磷特性。

对不同水稻基因型在不同磷质量浓度下根冠比的差异进行分析, 结果表明(表 10): 除新三百粒外, 其余 4 个基因型在 5 个磷处理水平下差异均不显著, 可见不同磷质量浓度无论是对耐低磷基因型还是低磷敏感基因型的根冠比影响很小, 表明根冠比不宜作为鉴定水稻耐低磷鉴定指标。

表 10 不同水稻基因型在不同磷质量浓度下根冠比的差异

Tab. 10 Effects of different phosphorus treatments on the ratio of root/shoot trait among the different genotypes

基因型 Genotypes	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
大粒稻 Dalidao	75.24 ± 3.02aA	75.09 ± 10.23aA	75.68 ± 11.54aA	65.52 ± 3.74aA	78.50 ± 7.83aA
莲塘早 3 号 Liantangzao3	58.80 ± 9.93aA	51.34 ± 12.24aA	54.02 ± 1.50aA	54.33 ± 15.79aA	49.77 ± 5.58aA
新三百粒 Xingsanbaili	69.55 ± 12.37aA	45.46 ± 6.86bB	43.37 ± 2.13bB	43.51 ± 2.24bB	51.82 ± 12.03bAB
沪占七 Huzhanqi	52.87 ± 10.75aA	57.97 ± 4.23aA	50.82 ± 5.16aA	48.42 ± 7.82aA	57.97 ± 9.31aA
东塘下 Dongtangxia	41.37 ± 7.55aA	35.71 ± 5.34aA	45.96 ± 7.62aA	48.85 ± 13.20aA	50.95 ± 11.41aA
协青早 B XieqingzaoB	60.00 ± 12.37aA	47.74 ± 7.31aA	61.20 ± 10.16aA	51.89 ± 6.34aA	48.93 ± 12.54aA

3 讨论与结论

3.1 水稻低磷耐性筛选鉴定简易指标

迄今有关水稻耐低磷或磷高效指标的研究报道较多,但有一定的出入,曹黎明等^[7]研究认为叶龄相对值可作为水稻苗期耐低磷能力鉴定的形态学指标,郭玉春等^[9]的研究表明相对分蘖干重、相对地上部干重、相对总生物量可作为较好的筛选指标。台德卫^[11]则认为低磷浓度下不同基因型间分蘖能力、根长、根重等性状明显不同,可作为低磷耐性指标。李永夫等^[12]研究认为水稻相对单株干重可以作为水稻苗期耐低磷基因型的一个筛选指标。关于野生稻低磷耐性指标,杨空松等^[22]研究表明低磷胁迫下,耐低磷常规栽培稻品种大粒稻和低磷敏感品种新三百粒分蘖后期均存在分蘖数下降阶段,东乡野生稻东塘居群和东塘西侧居群的分蘖数基本保持不变,且其根冠比显著增大,分蘖可以作为其耐低磷的一个鉴定指标,胡琴^[23]进一步研究认为东乡野生稻低磷耐性鉴定适宜的简易指标为株高、叶龄、黄叶数等。本试验对供试材料叶龄相对值的统计分析显示:耐低磷基因型大粒稻、莲塘早 3 号的在 P₂、P₃、P₄ 下的叶龄相对值也相差不大,东塘下在磷亏缺的 P₄、P₅ 质量浓度下叶龄相对值与 P₂、P₃ 差异不大,两者表现类似,说明东塘下、大粒稻、莲塘早 3 号均具有较好的耐低磷性。协青早 B 在 P₂、P₃ 质量浓度下的叶龄相对值相差不大,但在 P₄ 质量浓度下叶龄相对值大幅下降,说明协青早对低磷亏缺敏感;低磷敏感品种新三百粒、沪占七叶龄相对值的变化情况与协青早 B 类似。如此看来,叶龄相对值适合作为筛选耐低磷或磷高效的简易指标。各供基因型苗高完全液 P₁ (10 mg/L) 处理与其它 4 个处理相比,均达到极显著水平,苗高相对值随着磷质量浓度的降低各供试基因型均变化均很大,难以据此判断耐低磷特性,因此苗高相对值不适宜作为低磷耐性筛选指标。通常黄叶率是判断水稻耐低磷的一个指标,低磷胁迫条件下黄叶率较正常供磷条件下黄叶率增加显著是低磷敏感基因型的表现。本研究表明,在低磷 P₄ (0.5 mg/L) 处理下 6 个供试基因型黄叶率的大小排列是:协青早 B > 新三百粒 ≈ 沪占七 > 莲塘早 3 号 > 大粒稻 > 东塘下。综合看来,黄叶率适合作为筛选耐低磷的简易指标。如前所述,根数及根数相对值可很好地区分同一材料在不同磷处理下的差异,也能较好地区分不同材料同一磷处理下的差异性,因此根数及根数相对值适合作为低磷耐性筛选指标,但测定难度相对较大,因此难以作为低磷耐的简易指标。倒二叶开张角作为水稻耐低磷能力的鉴定指标进行统计分析表明大粒稻、莲塘早 3 号和新三百粒低磷水平 P₄ (0.5 mg/L) 处理与完全液 P₁ (10 mg/L) 处理相比,均不存在极显著差异;不同磷质量浓度对东塘下开张角影响很大,其原因还需做进一步的研究。不同水稻基因型的倒二叶长受磷浓度影响很大,倒二叶宽则正好相反,二指标均难以显示同一材料不同磷处理、不同材料同一磷处理的差异性,因此,二者同样不宜作为水稻耐低磷鉴定指标。地上部干重及根干重受磷质量浓度影响的分析结果表明,无论是常规耐低磷品种还是低磷敏感品种,低磷质量浓度下对各基因型地上部干重和根干重影响较大,而东塘下该两性状基本不受磷浓度的影响,考虑到耐低磷机制可能有多种因素决定,需要进一步研究其耐低磷机制。如此看来,该两指标不适合作为东乡野生稻耐低磷的鉴定指标。

3.2 水稻低磷耐性筛选鉴定浓度

在 5 个磷质量浓度处理下,各项考查指标 P₂ (5 mg/L) 与 P₁ (10 mg/L) 两质量浓度下 6 个水稻基因型基本上不存在显著差异,而 P₄ (0.5 mg/L) 与 P₁ (10 mg/L) 相比不仅存在显著性差异,且各个性状的

表现结果也大致能体现出低磷胁迫对不同基因型的胁迫作用。因此认为水稻低磷鉴定质量浓度可设置为 0.5 mg/L, 与胡琴等研究一致^[23]。

3.3 东乡野生稻低磷耐性强度

在低磷胁迫下, 东野东塘下居群黄叶率与完全液处理十分接近, 以黄叶性状作为指标时东野东塘下居群耐低磷性表现优于两个常规耐低磷基因型种质(大粒稻、莲塘早3号)。通过对叶龄相对值、根数相对值、相对地上部干重、相对根干重等的方差分析, 显示东塘下、大粒稻、莲塘早3号无显著差异, 与两个低磷敏感基因型种质(沪占七、新三百粒)达到显著水平, 进一步说明了东野东塘下居群的强耐低磷性。

参考文献:

- [1]李继云, 孙建华, 刘全友, 等. 不同小麦品种的根系生理特性、磷的吸收及利用效率对产量影响的研究[J]. 西北植物学报, 2000, 20(4): 503-510.
- [2]鲁如坤. 我国土壤氮、磷、钾的基本情况[J]. 土壤学报, 1989, 26(3): 280-286.
- [3]李宾兴, 肖凯, 李雁鸣. 低磷胁迫条件下小麦光合特性的基因型差异[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(1): 5-9.
- [4]李继云, 刘秀娣, 周伟, 等. 有效利用土壤营养元素的作物育种技术研究[J]. 中国科学(B辑), 1995, 25(1): 41-47.
- [5]林文雄, 石秋梅, 郭玉春, 等. 水稻磷效率差异的生理生化特性[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(6): 578-583.
- [6]明凤, 米国华, 张福锁, 等. 水稻对低磷反应的基因型差异及其生理机制的初步研究[J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(2): 138-141.
- [7]曹黎明, 潘晓华. 水稻耐低磷基因型种质的筛选[J]. 江西农业大学学报, 2000, 22(2): 162-168.
- [8]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[J]. 作物学报, 2005, 31(10): 1322-1327.
- [9]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[J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 61-65.
- [10]曹黎明, 潘晓华. 水稻耐低磷机理的初步研究[J]. 作物学报, 2002, 28(2): 260-264.
- [11]台德卫, 张效忠, 苏泽胜, 等. 不同磷营养胁迫下水稻苗期性状基因型差异的研究[J]. 分子植物育种, 2005, 3(5): 704-710.
- [12]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[J]. 应用生态学报, 2005, 16(1): 119-124.
- [13]吴照辉, 贺力源, 左雪冬, 等. 低磷胁迫下不同基因型水稻阶段性磷营养特征[J]. 中国水稻科学, 2008, 22(1): 71-76.
- [14]徐玲玲, 陈善娜, 程在全, 等. 云南野生稻对土壤环境中营养元素的吸收能力初探[J]. 西南农业学报, 2005, 18(6): 744-746.
- [15]徐玲玲, 陈善娜, 程在全, 等. 云南野生稻离子吸收效率及其动力学特征研究[J]. 植物生理学通讯, 2006, 42(3): 406-410.
- [16]张国霞, 茅庆, 何忠义, 等. 陵水普通野生稻(*Oryza rufipogon*) 内生菌的固氮及溶磷特性[J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12(4): 457-460.
- [17]陈大洲, 肖叶青, 赵社香, 等. 东乡野生稻苗期耐寒性的遗传研究[J]. 江西农业大学学报, 1997, 19(4): 56-58.
- [18]陈大洲, 钟平安, 肖叶青, 等. 利用 SSR 标记定位东乡野生稻苗期耐冷性基因[J]. 江西农业大学学报, 2002, 24(6): 753-756.
- [19]胡标林, 余守武, 万勇, 等. 东乡普通野生稻全生育期抗旱性鉴定[J]. 作物学报, 2007, 33(3): 425-432.
- [20]谢建坤, 陈大洲, 肖叶清, 等. 应用微卫星标记分析东乡野生稻遗传多样性初探[J]. 中国农业科学, 2003, 36(8): 873-878.
- [21]杨空松, 陈小荣, 傅军如, 等. 东乡野生稻育性恢复性的鉴定与遗传分析[J]. 中国水稻科学, 2007, 21(5): 487-492.
- [22]杨空松, 陈小荣, 贺浩华. 营养胁迫下东乡野生稻生物学特性鉴定初报[J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(4): 427-433.
- [23]胡琴. 东乡野生稻耐低磷遗传分析[D]. 南昌: 江西农业大学, 2006.
- [24]Yoshida S, Forno D A, Bhadrachalam A. Zinc deficiency of the rice plants on calcareous and neutral soils in Philippines [J]. Soil Sci Plant Nutri J, 1971, 17: 83-87.
- [25]唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002.