

聚乙二醇模拟干旱对耐低钾水稻幼苗的根系生长及某些生理特性的影响

戴高兴^{1,2}, 彭克勤^{1,*}, 邓国富², 萧浪涛¹, 张雪芹¹

¹湖南农业大学湖南省植物激素与生长发育重点实验室, 长沙 410128; ²广西农业科学院水稻研究所, 南宁 530007

摘要:以早籼品种‘瑰宝八号’及其变异后代耐低钾的水稻为材料, 用20% PEG6000模拟干旱, 测定幼苗根系形态和部分生理特性的指标并对其抗旱能力进行比较的结果表明:耐低钾水稻幼苗的超氧化物歧化酶活性、根系活力和活跃吸收面积相对较高, 而丙二醛含量相对较低, 其根重和根体积也高, 比其亲本‘瑰宝八号’有更高的抗旱能力。

关键词:耐低钾水稻; 干旱胁迫; 抗旱性; 根系生长; 生理特性

Effects of Drought Stress Simulated by Polyethylene Glycol on Growth and Some Physiological Characteristics of Root in Low Potassium Tolerated Rice Seedlings

DAI Gao-Xing^{1,2}, PENG Ke-Qin^{1,*}, DENG Guo-Fu², XIAO Lang-Tao¹, ZHANG Xue-Qin¹

¹Hunan Provincial Key Laboratory of Phytohormones and Growth Development, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; ²Rice Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China

Abstract: Growth and some physiological characteristics were measured and their drought-resistance were studied in ‘Guibao 8’, a early indica rice variety, and its low potassium tolerated rice with 20% PEG6000 as simulated drought stress. The results showed as follows: compared with ‘Guibao 8’, the low potassium tolerated rice appeared higher SOD activity, root activity, root active absorbing area, root weight and greater root volume, but lower MDA content. These indicated that the drought resistance of the low potassium tolerated rice was stronger than ‘Guibao 8’.

Key words: low potassium tolerated rice; drought stress; drought resistance; root growth; physiological characteristics

植物根系生长和生理特性是研究植物抗旱性的一个重要方面。而作为作物生长发育必需的大量营养元素之一的钾, 除了具营养功能外, 在作物抗旱中也起积极作用(马新明等 2000)。钾离子是植物水分代谢系统中最主要的渗透物质, 可通过H⁺传输系统影响根系的生长、发育和对干旱的适应(Amtmann等 1999), 促进某些作物不定根的形成(赵忠仁等 1997), 提高水分胁迫下的膜稳定性(陈培元等 1987)从而增加抗旱性。已有研究表明: 干旱胁迫下合理施用钾肥可以改善作物体内的钾素营养状况, 提高水分利用效率, 增强抗逆性, 增加作物产量和改善作物品质(张立新和李生秀 2005)。

耐低钾水稻是我们实验室用分子生物学技术, 将空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)总DNA导入早籼品种‘瑰宝八号’后选育出来的变异后代。其在低钾条件下比亲本‘瑰宝八号’

有相对高的钾素吸收率和利用率, 而在正常供钾时则不明显(彭志红等 2002), 目前已繁殖到第4代, 性状已经基本稳定(胡家金等 2005)。本文在不增施钾肥的情况下, 采用水培方法, 通过比较干旱胁迫下耐低钾水稻与其亲本‘瑰宝八号’根系生长及其某些生理特性的变化, 检测耐低钾水稻是否具有比亲本高的抗旱性及其可能原因。

材料与方法

实验材料为早籼(*Oryza Sativa* L)品种‘瑰宝八号’及其由导入空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)的总DNA选育的耐低钾水稻品系。

用0.1% 氯化汞消毒种子 10 min, 于25 ℃下

收稿 2007-04-23 修定 2007-09-09

资助 湖南省计委项目(湘计科 352-6)。

* 通讯作者(E-mail: pkq8055@hunau.net; Tel: 0731-4618055)。

浸种 1 d, 28 ℃ 催芽 1 d 后播于上覆有尼龙网框的搪瓷盘上, 置于人工培养室中, 昼夜温度控制为 28 ℃ 和 20 ℃, 以去离子水培养 3 d 后用吉田昌一营养液培养至三叶一心期时移栽至外刷有黑色油漆、容积为 4 L 并装满营养液的聚乙烯桶中, 桶上用带孔硬质塑料板和海绵固定植株, 每桶 3 莖, 每莖 3 株。移栽后第 2 天用加有聚乙二醇 (PEG6000) 的吉田昌一营养液模拟干旱处理, PEG6000 浓度设为 20%, 与之相对应的水势约为 -0.75 MPa, 营养液中钾离子浓度为 40 mg·L⁻¹。pH 值调到 5.5, 每天充分通气, 隔天调节 pH 值并补充去离子水, 每 4 d 换 1 次营养液, 以 ‘瑰宝八号’ 为对照。于胁迫后的 0、2、4、6、8 d 时进行各种测定。测定时的材料生长良好, 叶片未出现明显的萎蔫和发黄现象。

取回的植物样品, 先用自来水将根冲洗干净, 再用去离子水冲洗几遍, 经吸水纸吸干后测定根系各项生理指标。根长用刻度尺测量。根重用万分之一分析天平称量。根体积用排水法。根系吸收面积测定用甲烯蓝吸附法(李合生 2001)。根

系还原活力用 TTC 还原法(李合生 2001)。超氧化物歧化酶活性采用氮蓝四唑(NBT)光还原比色法(李合生 2001)。丙二醛含量用双组分分光光度法测定(赵世杰等 1994)。质膜相对透性参照张志良书中的方法(张志良 1998)测定。

实验重复 3 次, 采用 SPSS 12.0 统计软件进行数据处理及分析。

结果与讨论

1 PEG 模拟干旱对根系生长的影响

根系是植物吸收水分和盐类的主要器官, 也是最早最直接地感受到土壤水分含量变化的器官, 从而对干旱胁迫作出迅速反应, 这是植物抗旱性的基础。从表观特征来看, 干旱对植物的影响会在根系形态特征上表现出来, 如根长、根重、根体积等。

从表 1、2 可见:(1) 0 d 和 2 d PEG6000 模拟干旱的 ‘瑰宝八号’ 与耐低钾水稻之间无显著差异。但随着处理时间的延长, 前者根长高于后者(表 1)。在整个处理过程中, ‘瑰宝八号’ 的

表 1 PEG6000 模拟干旱对根长和根重的影响

Table 1 The effect of drought simulated by PEG6000 on root length and weight

品种	处理	根长/cm·株 ⁻¹					根重/g (FW)·株 ⁻¹				
		0 d	2 d	4 d	6 d	8 d	0 d	2 d	4 d	6 d	8 d
‘瑰宝八号’	对照	15.31 ^a	16.90 ^b	18.2 ^c	20.6 ^d	21.5 ^d	0.402 ^a	0.569 ^b	0.795 ^c	1.097 ^e	1.279 ^g
	处理	15.42 ^a	16.48 ^b	20.43 ^d	24.23 ^e	25.2 ^f	0.411 ^a	0.548 ^b	0.693 ^d	0.798 ^c	0.976 ^f
耐低钾水稻	对照	15.34 ^a	17.08 ^b	19.1 ^{cd}	19.85 ^{cd}	21.6 ^d	0.407 ^a	0.566 ^b	0.786 ^c	1.015 ^e	1.258 ^g
	处理	15.25 ^a	16.58 ^b	19.98 ^d	23.68 ^e	24.93 ^{ef}	0.401 ^a	0.597 ^b	0.810 ^c	0.932 ^f	1.031 ^e

数字后不同字母表示差异显著($P < 0.05$), 下表同此。

表 2 PEG6000 模拟干旱对根体积的影响

Table 2 The effect of drought simulated by PEG6000 on root volume

品种	处理	根体积/cm ³ ·株 ⁻¹				
		0 d	2 d	4 d	6 d	8 d
‘瑰宝八号’	对照	0.86 ^a	1.07 ^b	1.25 ^c	1.57 ^e	1.68 ^g
	处理	0.82 ^a	1.28 ^c	1.31 ^d	1.47 ^f	1.50 ^e
耐低钾水稻	对照	0.79 ^a	1.15 ^b	1.39 ^d	1.59 ^e	1.77 ^h
	处理	0.81 ^a	1.21 ^c	1.36 ^d	1.52 ^e	1.62 ^g

根长比耐低钾变异后代略高, 但差异不显著。而干旱处理的根长略高于正常供水水稻, 这表明干旱在一定程度上促进了根长的增加。

(2) 模拟干旱处理的 ‘瑰宝八号’ 和耐低钾水稻根重增长速率明显低于正常供水水稻。干旱处理的耐低钾变异后代比 ‘瑰宝八号’ 有相对高的根重(表 1), 且达到显著水平($P < 0.05$)。

(3) 各种处理水稻的根系体积随着生育进程而逐渐增大, 但水分胁迫对水稻根体积有明显的抑制作用, 20% PEG6000 处理的耐低钾变异后代和

‘瑰宝八号’的根体积均明显小于正常供水的材料。处理的耐低钾变异后代从2 d起显著高于‘瑰宝八号’($P < 0.05$)(表2)。

2 PEG6000模拟干旱对根系活跃吸收面积和还原活力的影响

表3显示:(1)水分胁迫下,植物根系活跃吸

表3 PEG6000模拟干旱对活跃吸收面积和还原活力的影响

Table 3 The effect of drought simulated by PEG6000 on root active absorbing area and root activity

品种	处理	活跃吸收面积/cm ² ·株 ⁻¹					根系还原活力/μg·g ⁻¹ (FW)·h ⁻¹				
		0 d	2 d	4 d	6 d	8 d	0 d	2 d	4 d	6 d	8 d
‘瑰宝八号’	对照	0.214 ^a	0.236 ^b	0.265 ^c	0.302 ^f	0.332 ^h	301.31 ^a	465.03 ^b	801.87 ^e	1000.36 ^b	1204.50 ^k
	处理	0.212 ^a	0.215 ^a	0.175 ^d	0.142 ^g	0.121 ⁱ	308.28 ^a	523.51 ^c	822.63 ^f	756.43 ⁱ	700.20 ^l
耐低钾水稻	对照	0.209 ^a	0.232 ^b	0.269 ^c	0.310 ^f	0.34 ^h	303.12 ^a	462.09 ^b	810.39 ^e	1009.26 ^b	1204.50 ^k
	处理	0.216 ^a	0.223 ^b	0.198 ^e	0.175 ^d	0.150 ^j	304.96 ^a	715.73 ^d	881.02 ^g	1463.1 ^j	1055.60 ^m

收面积随着胁迫时间的延长而不断下降。耐低钾水稻和‘瑰宝八号’根系的吸收面积随着植株的生长不断上升。方差分析表明,耐低钾水稻根系活跃吸收面积与‘瑰宝八号’在干旱胁迫下差异显著($P < 0.05$)。

(2)根系活力反映根系的生长发育状况,能够从本质上反映作物根系生长与土壤水分及其环境之间的动态关系(斯琴巴特和吴红英 2001)。干旱胁迫明显抑制植物的根系活力。20% PEG6000处理的‘瑰宝八号’和耐低钾变异后代的根系活力随着胁迫时间的延长呈先上升后下降的趋势,‘瑰宝八号’根系在胁迫后4 d达到最高值,此后缓慢地下降,耐低钾变异后代的根系活力在胁迫后6 d达到最大,此后急剧下降(表3)。方差分析表明,在整个过程中耐低钾变异后代和‘瑰宝八号’具有显著性($P < 0.05$),耐低钾变异后代比‘瑰宝八号’的根系活力高。有学者(徐孟亮等 1998)认为根系活力与抗旱性呈显著的正相关,

而活跃吸收面积与植物的抗旱性不存在相关性。

3 PEG6000模拟干旱对根中SOD活性、MDA含量和质膜相对透性的影响

如表4、5所示:(1)SOD作为一种受底物O₂⁻诱导的保护酶,是消除O₂⁻等自由基的较重要的酶类,在酶促清除系统中处于核心位置(Lafitte等 2007)。20% PEG6000处理的‘瑰宝八号’和耐低钾水稻的SOD活性呈先上升后下降的趋势。胁迫2 d后,两者的SOD活性急剧增加,达到最高值,随后急剧下降。耐低钾水稻比‘瑰宝八号’有更高的SOD活性,且差异显著($P < 0.05$)。正常供水处理的SOD活性变化幅度不大。

(2)干旱胁迫下,植物体内大量活性氧积累,会破坏了正常代谢时活性氧的产生与清除之间的平衡(赵丽英等 2005;付士磊等 2006),本文也验证了这一看法。表4显示,20% PEG6000处理的‘瑰宝八号’和耐低钾水稻的MDA含量随着胁迫时间的延长而呈增长趋势。而正常供水的MDA含

表4 PEG6000模拟干旱对SOD和MDA含量的影响

Table 4 The effect of drought simulated by PEG6000 on SOD activity and MDA contents

品种	处理	SOD活性/U·h ⁻¹					MDA含量/μmol·g ⁻¹ (FW)				
		0 d	2 d	4 d	6 d	8 d	0 d	2 d	4 d	6 d	8 d
‘瑰宝八号’	对照	155.56 ^a	162.29 ^a	166.69 ^b	174.73 ^c	178.45 ^c	22.4 ^a	23.5 ^a	24.2 ^a	23.2 ^a	25.5 ^a
	处理	162.21 ^a	300.25 ^d	164.38 ^b	130.14 ^g	75.74 ^h	22.6 ^a	29.6 ^d	48.3 ^f	74.2 ^b	93.2 ^j
耐低钾水稻	对照	160.34 ^a	164.22 ^a	166.26 ^b	177.89 ^c	180.35 ^c	23.5 ^b	25.0 ^a	25.2 ^a	25.4 ^a	25.9 ^a
	处理	158.24 ^a	322.58 ^e	233.02 ^f	173.3 ^c	165.311 ^a	23.5 ^a	27.8 ^c	42.8 ^e	68.1 ^g	85.2 ⁱ

表5 PEG6000 模拟干旱对根细胞质膜透性的影响
Table 5 The effect of drought simulated by PEG6000 on relative membrane permeability of root

品种	处理	细胞质膜透性 /%				
		0 d	2 d	4 d	6 d	8 d
‘ 瑰宝八号 ’	对照	17.4 ^a	17.9 ^a	18.2 ^a	18.6 ^a	20.3 ^f
	处理	17.6 ^a	24.0 ^b	35.3 ^d	47.5 ^g	58.8 ⁱ
耐低钾水稻	对照	18.0 ^a	17.0 ^a	17.9 ^a	20.4 ^f	19.7 ^f
	处理	17.9 ^a	20.6 ^c	28.3 ^e	39.9 ^h	49.3 ^g

量则基本上保持稳定。

(3)水分胁迫下,质膜相对透性呈上升趋势。从2 d开始,‘ 瑰宝八号 ’比耐低钾变异后代的相对透性高(表5),且差异显著($P<0.05$),显示耐低钾变异后代有较大的抗水分胁迫能力。

总之,PEG6000 模拟干旱胁迫下,耐低钾水稻幼苗具有相对较高的SOD活性、根系还原活力和活跃吸收面积,相对较低的MDA含量,其根重和根体积也高,因而能更好改善干旱胁迫下的水稻根系生长和生理特性,具有比其亲本‘ 瑰宝八号 ’更高的抗旱能力。其原因可能是植物正常生长时期所需钾素全量在干旱胁迫下变得不足,而耐低钾水稻能在干旱条件下吸收正常生长所需钾素,利用钾素来改善自身的营养,增强抗旱性(戴高兴等2006)。这说明从种质资源方面改善水稻的钾素营养特性从而提高水稻抗旱性具有一定应用前景。

参考文献

陈培元, 蒋永罗, 李英, 付左(1987). 钾对小麦生长发育、抗旱性和某些生理特性影响. 作物学报, 13 (4): 322~327

戴高兴, 彭克勤, 萧浪涛, 邓国富(2006). 聚乙二醇模拟干旱对耐低钾水稻幼苗丙二醛、脯氨酸含量和超氧化物歧化酶活性的影响. 中国水稻科学, 20 (5): 557~559

付士磊, 周永斌, 何兴元, 陈玮(2006). 干旱胁迫对杨树光合生理指标的影响. 应用生态学报, 17 (11): 2016~2019

胡家金, 萧浪涛, 彭克勤, 洪亚辉, 彭志红, 蔺万煌(2005). 富钾植物DNA导入早稻变异后代的RAPD分析. 科学技术与工程, 5 (2): 73~76

李合生(2001). 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 140~194

马新明, 王小纯, 丁军(2000). 钾肥对砂姜黑土不同粒型冬小麦穗粒发育及生理特性的影响. 中国农业科学, 33 (3): 67~72

彭志红, 彭克勤, 胡家金, 萧浪涛(2002). 富钾植物DNA导入水稻变异后代苗期耐低钾种质的筛选. 湖南农业大学学报(自然科学版), 28 (6): 463~466

斯琴巴特尔, 吴红英(2001). 不同逆境对玉米幼苗根系活力及硝酸还原酶活性的影响. 干旱地区农业研究, 19 (2): 67~701

徐孟亮, 姜孝成, 周广洽, 陈良碧(1998). 水稻根系活力与结实性状的影响. 湖南师范大学(自然科学学报), 9 (21): 64~68

张立新, 李生秀(2005). 氮、钾、甜菜碱对减缓夏玉米水分胁迫的效果. 中国农业科学, 38 (7): 1401~1407

张志良(1998). 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 160~163

赵丽英, 邓西平, 山仑(2005). 活性氧清除系统对干旱胁迫的响应机制. 西北植物学报, 25 (2): 413~418

赵世杰, 许长成, 邹琦, 孟庆伟(1994). 植物组织中丙二醛测定方法的改进. 植物生理学通讯, 30 (3): 207~210

赵忠仁, 李广仁, 黄桂琴, 杨淑华(1997). 几种抑制剂对钾和IAA诱导的离体黄瓜子叶不定根形成的影响. 植物学报, 39 (1): 64~67

Amtmann A, Jelitto TC, Sanders D (1999). K^+ -selective inward-rectifying channels and apoplastic pH in Barley roots. Plant Physiol, 119: 331~338

Lafitte HR, Guan YS, Yan S, Li ZK (2007). Whole plant responses, key processes, and adaptation to drought stress: the case of rice. J Exp Bot, 58 (2): 169~176