

水稻开花期一些生理生化特性与品种抗旱性的关系

王贺正, 马 均, 李旭毅, 李 艳, 张荣萍, 汪仁全

(四川农业大学水稻研究所, 温江 611130)

摘要: 【目的】探索水稻开花期适应干旱环境的生理生化机制, 筛选水稻开花期抗旱性鉴定的生理生化指标。【方法】利用抗旱性不同的 10 个水、旱稻品种, 在干旱棚内通过开花期水分胁迫, 研究了叶片抗坏血酸 (Vc)、游离氨基酸、可溶性蛋白质、丙二醛 (MDA) 等物质的含量和保护性酶活性的变化。【结果】开花期水分胁迫增加了叶片 Vc、游离氨基酸、可溶性蛋白质和 MDA 含量, 提高了超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 和过氧化物酶 (POD) 的活性。相关分析表明, 在水分胁迫与对照条件下 Vc、游离氨基酸、MDA 含量和 SOD 活性的相对值与品种的抗旱系数有显著或极显著相关性。【结论】水、旱条件下 Vc、游离氨基酸总量、MDA 含量和 SOD 活性相对值可作为水稻开花期抗旱性鉴定指标, 利用此 4 项相对值与抗旱系数所建立的回归方程可预测品种开花期的抗旱性。

关键词: 水稻; 水分胁迫; 开花期; 生理生化性状

Relationship Between Some Physiological and Biochemical Characteristics and Drought Tolerance at Rice Flowering Stage

WANG He-zheng, MA Jun, LI Xu-yi, LI Yan, ZHANG Rong-ping, WANG Ren-quan

(Rice Research Institute of Sichuan Agricultural University, Wenjiang 611130)

Abstract: 【Objective】Rice may suffer serious water stress during their growth period, which affects the process of physiological metabolic activities. So scientists studied physiological and biochemical characteristics of drought tolerance in rice.. 【Method】Ten rice cultivars with different drought tolerances were used as experimental materials. Changes in ascorbic acid (Vc) content, free amino acid content, soluble protein content, malondialdehyde (MDA) content and antioxidative enzyme activities were studied under both irrigation and drought conditions at the flowering stage. 【Result】The results indicated that water stress increased contents of Vc, free amino acid, soluble protein and malondialdehyde (MDA), as well as the activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and peroxidase (POD) in leaves at the flowering stage. Correlation analysis showed that the drought tolerant coefficient significantly or very significantly correlated with relative contents of Vc, free amino acid, MDA and SOD activity under both irrigation and drought conditions. 【Conclusion】Therefore, they could be selected as identification indexes for drought tolerance at flowering stage. Using stepwise regression equation to evaluate the drought tolerance of rice cultivars was considered scientifically reliable.

Key words: Rice; Water stress; Flowering stage; Physiological and biochemical characteristics

0 引言

【研究意义】水稻是中国主要粮食作物之一, 其用水量占农业用水总量的 65% 以上^[1]。随着中国缺水问题的日趋严重, 水稻旱作、旱种呈现不断扩大趋势,

但是, 旱作水稻品种在抗旱性、产量和品质上受到一定限制。然而, 植物在长期进化过程中, 为保护自身免受伤害会产生一系列适应性反应。因此, 研究水稻不同生育阶段适应干旱环境的生理生化机制和筛选水稻抗旱性鉴定指标对提高旱作水稻品种的抗旱性、产

收稿日期: 2005-10-20; 接受日期: 2005-11-26

基金项目: 国家“863”计划 (2002AA2Z4011)、国家粮食丰产科技工程 (2004BA520A05) 和四川省教育厅重点项目

作者简介: 王贺正 (1969-), 男, 河南鹿邑人, 博士, 研究方向为栽培生理。E-mail:wanghez@163.com。通讯作者马均 (1963-), 男, 四川西充人, 教授, 博士, 研究方向为水稻栽培生理。Tel: 028-82722661; E-mail:majunp2002@163.com

量和品质都具有重要意义。【前人研究进展】在水分胁迫条件下,水稻不同生育阶段可以通过增加可溶性糖、氨基酸、可溶性蛋白质等渗透调节物质,提高体内超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)等酶类活性和抗坏血酸等非酶类物质增加,改变形态特征等机制来适应水分的变化^[2-4]。【本研究切入点】然而,究竟哪种机制起关键作用,或者说何种物质在哪个特定的时期起关键作用,尚有争议。近年来,随着抗旱性研究的不断深入,水稻品种抗旱性状的筛选和品种鉴定也日益受到重视,但由于鉴定方法受环境条件限制,芽期和苗期鉴定方

法和鉴定指标的报道较多^[5-8],而在其他生育阶段的鉴定方法和鉴定指标鲜见报道。【拟解决的关键问题】本研究利用干旱棚控水试验,通过对开花期一些生理生化性状的测定,旨在探讨开花期一些生理生化特性与品种抗旱性的关系,明确影响水稻开花期抗旱性的关键因素,筛选水稻开花期抗旱性鉴定的生理生化指标,为水稻抗旱性育种、栽培和鉴定提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

抗旱性不同的水、旱稻品种 10 个,见表 1。

表 1 水、旱处理籽粒产量和抗旱系数

Table 1 Grain yield (Kg·ha⁻¹) and drought tolerance coefficient

编号 Serial No.	1 ²⁾	2	3	4	5	6	7	8	9	10
对照产量 Control yield	7917.0	7375.4	7375.4	7083.8	7708.7	7542.0	8250.5	6242.0	6958.7	4750.2
处理产量 Treatment yield	5082.8 ^{**3)}	5007.9 ^{**}	5804.4 [*]	5716.7 [*]	6012.8 [*]	4050.0 ^{**}	6930.4	5280.7	3792.5 ^{**}	4061.4
抗旱系数DTC ¹⁾	0.642	0.679	0.787	0.807	0.780	0.537	0.840	0.846	0.545	0.855

¹⁾ DTC: Drought tolerance coefficient

²⁾ 1-冈优 363 Gangyou363; 2-冈优 801 Gangyou801; 3-D优 363 Dyou363; 4-冈优 202 Gyou202; 5-汕优 63 Shanyou63; 6-协优 527 Xieyou527; 7-冈优 527 Gangyou527; 8-川早 4 号 Chuanhan 4; 9-冈优 362 Gangyou362; 10-扬早 1 号 Yanghan 1 下同 The same as below

³⁾ *和**分别表示与对照在 0.05 和 0.01 水平上差异显著性同一品种内的比较 *and**mean significant difference with the control at 0.05 and 0.01 level, within the same cultivar, respectively

1.2 设计与处理

试验于 2004 年在四川农业大学水稻研究所干旱棚内进行。干旱棚内建两个长 30 m、宽 1.1 m 防渗水泥池,其中一池为旱处理,一池为常规水作。4 月 12 日播种,5 月 14 日移栽,按 16.7 cm×26.6 cm 规格栽插,每穴插单株,小区面积 0.8 m²,随机排列,重复 3 次。旱处理于齐穗前 20 d 左右停止供水,并等距离安装 3 个真空式土壤负压计监测土壤水分(中国科学院南京土壤研究所生产),埋设深度为陶土头中心距土表 10cm。每天早晨 8:00,中午 12:00 和傍晚 18:00 读取数值,齐穗期土壤水势为-0.035Mpa。当水势低于-0.05 Mpa 时水管喷灌方式进行补水,使土壤水势保持在-0.045~-0.055 Mpa。常规水作为淹水灌溉,常规水分管理。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 抗坏血酸含量采用二甲苯萃取比色法测定^[9];游离氨基酸总量采用茚三酮溶液显色法测定^[9];可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定^[9];丙二醛含量采用硫代巴比妥酸比色法^[9]测定;抗氧化保护性酶活性参照任红旭等方法^[10]提取酶液,酶活性按李合生方法^[6]测定。以上测定均取开花期剑叶叶片,重复 3 次。

1.3.2 籽粒产量及抗旱系数 每小区按实收窝数测产。抗旱系数(DTC)=胁迫区平均产量/对照区平均产量。

1.4 统计分析方法

相对值为该指标的水分胁迫下数值与对照条件下数值之比。统计前先求相对值,应用 Excel 2 000 和 SPSS11.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 水、旱处理的籽粒产量及抗旱性评定

从表 1 看出,各品种在水分胁迫下,其产量均比对照降低,由于品种间抗旱性的差异,产量下降幅度不同。根据抗旱系数的大小,10 个品种抗旱性排列为:扬早 1 号>川早 4 号>冈优 527>冈优 202> D 优 363 >汕优 63>冈优 801>冈优 363>冈优 362>协优 527。

2.2 水分胁迫下水稻叶片 Vc 含量、游离氨基酸总量和可溶性蛋白质与品种抗旱性关系

Vc 是植物细胞内重要非酶类保护性物质,能有效清除植物体内的自由基。从图 1-A 可以看出开花期水分胁迫下各品种的 Vc 的相对值均大于 1,说明在水分胁迫条件下,叶片中 Vc 含量比对照有所增加。从相

对值的大小也可看出,抗旱性强的品种增加的幅度大,而抗旱性弱的品种增加的幅度小。其相对值与品种的抗旱系数呈极显著正相关。

游离氨基酸和可溶性蛋白质作为细胞内重要的渗透调节物质,在开花期水分胁迫条件下,其含量均明显高于对照(图 1-B, C),总趋势是抗旱性强的品种其相对值较大,其含量增加幅度较大,反之,抗旱性弱的品种,增加幅度较小。游离氨基酸含量的相对值与品种抗旱性呈极显著正相关(图 1-B),而可溶性

蛋白质的含量相对值与品种的抗旱系数相关不显著。

2.3 水分胁迫下水稻叶片 MDA 含量与品种抗旱性关系

MDA 是逆境胁迫下膜脂过氧化程度大小的重要指标。本试验表明,各品种 MDA 含量比对照均有所提高,膜脂过氧化程度增强,但表现为抗旱性的品种的增加幅度明显低于抗旱性弱的品种,从而表现出,MDA 含量相对值与品种抗旱系数呈显著负相关(图 2-A)。

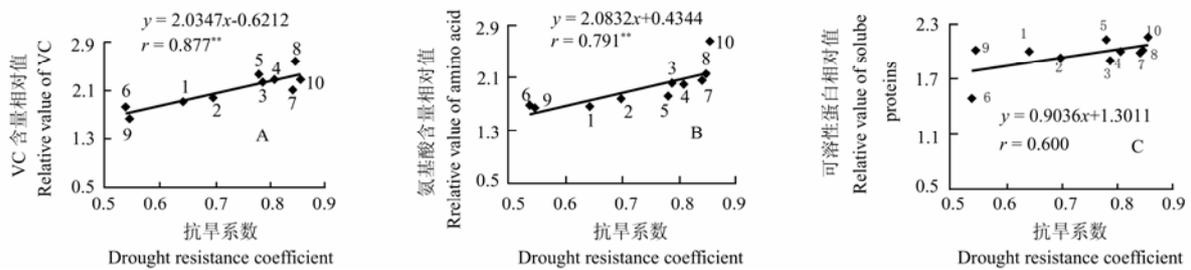


图 1 水分胁迫 Vc 含量、游离氨基酸总量和可溶蛋白质含量与品种抗旱性的关系

Fig.1 The relationships between Vc content, total free amino acid content, soluble proteins in leaves and drought tolerance of cultivars

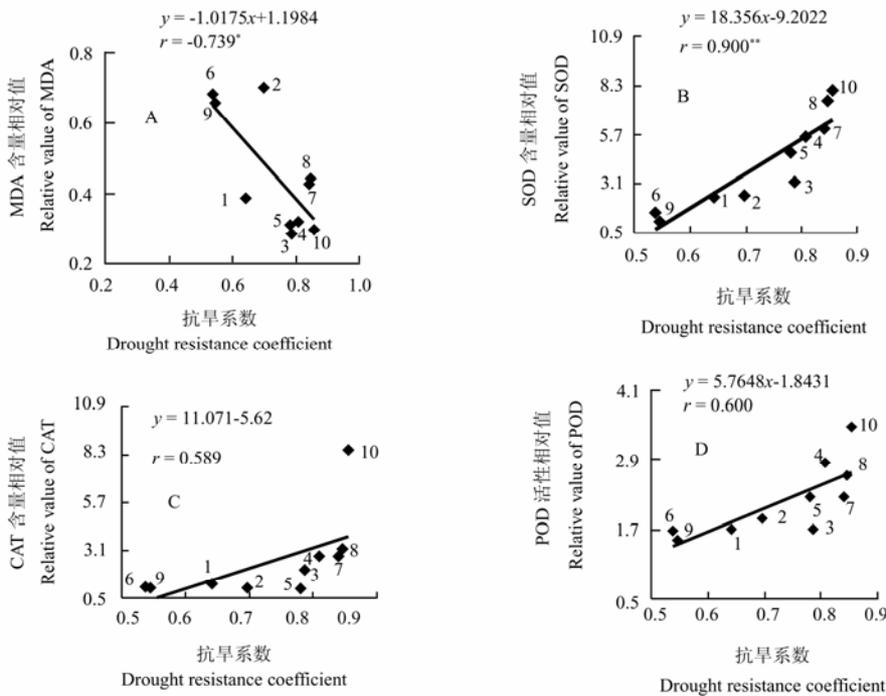


图 2 水分胁迫下叶片 MDA(A)含量及 SOD(B)、CAT(C)、POD(D)活性与品种抗旱性的关系

Fig. 2 The relationships between MDA content and activities of SOD, CAT, POD in rice leaves and drought tolerance of different cultivars

2.4 水分胁迫下水稻叶片 SOD、CAT、POD 活性与品种抗旱性关系

从图 2-B, C, D 可以看出, 开花期水分胁迫条件下, 水稻叶片内保护性酶 SOD、CAT、POD 活性比对照明显增强, 3 种酶变化趋势基本一致, 其相对值都大于 1。水分胁迫下 3 种酶活性增加幅度与品种的抗旱性密切相关, 总趋势均表现为抗旱性强的品种增加幅度较大, 抗旱性弱的品种增加幅度较小。SOD 活性的相对值与品种抗旱系数呈极显著正相关(图 2-B), CAT、POD 活性相对值与品种抗旱系数相关性不显著(图 2-C, D)。

2.5 各品种的抗旱性评价

通过相关分析表明, 开花期水分胁迫条件下, 水稻叶片 Vc、游离氨基酸和 MDA 含量以及 SOD 活性的相对值与品种抗旱系数有显著或极显著的相关性, 因此, 笔者认为它们可以作为水稻开花期抗旱性鉴定指标。用 Vc、游离氨基酸和 MDA 含量以及 SOD 活性的相对值 4 项数据通过最短距离法对所选用 10 个水、旱稻品种进行聚类分析, 可将 10 个品种划分为 3 类: 第一类是扬早 1 号、川早 4 号, 抗旱性最强; 第二类是冈优 202、汕优 63 和冈优 527, 抗旱性中等; 其余为第 3 类, 抗旱性最弱(图 3)。

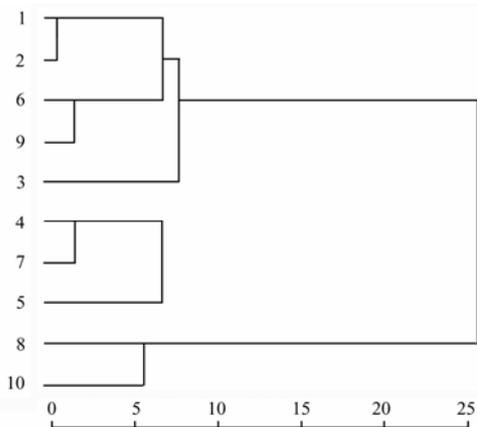


图 3 10 个水、旱稻品种抗旱性聚类图

Fig. 3 Dendrogram of drought tolerance for 10 rice cultivars

2.6 抗旱系数与 Vc、游离氨基酸、MDA 含量和 SOD 活性相对值的回归模型

通过对 Vc、游离氨基酸、MDA 含量和 SOD 活性相对值与抗旱系数的回归分析, 建立的回归方程为: $y=0.344x_1+0.122x_2-0.184x_3+0.391x_4$ (式中: y 代表抗

旱系数 x_1 , x_2 、 x_3 、 x_4 分别代表 Vc、游离氨基酸、MDA 含量和 SOD 活性相对值), 该方程 $F=9.828$, $P=0.014$, 方程显著。所以, 根据测定的各相对值的大小, 通过计算抗旱系数预测水稻开花期的抗旱性是可行的。

3 讨论

3.1 开花期水分胁迫下水稻生理反应与品种抗旱性关系

不同作物或品种适应干旱的方式多种多样, 具有不同的抗旱机制或多种抗旱机制共同发挥作用^[11]。可溶性蛋白质、游离氨基酸是细胞质中参与渗透调节的重要有机溶质, 是逆境条件下植物抗逆形成的重要物质基础。蔡永萍等^[12]研究认为, 水稻旱作叶片可溶性蛋白质含量减少; 韩建民^[5]研究认为, 水分胁迫使水稻幼苗叶片中游离氨基酸总量积累。本试验表明, 在水稻开花期水分胁迫条件下, 叶片中可溶性蛋白质和游离氨基酸总量均比对照有所增加, 与蔡永萍等研究结果不同, 可能是由于水分胁迫程度、研究时期和取样部位不同所致。同时本试验结果还发现, 叶片中可溶性蛋白质和游离氨基酸总量的相对值与品种的抗旱性呈正相关, 抗旱性强的品种两种物质增加的幅度大, 从而导致因渗透调节物质的增加使抗旱性强的品种保持了较好的水分平衡, 表现出较强的抗旱性; 而游离氨基酸总量的相对值与品种的抗旱性呈极显著正相关, 因此, 水稻开花期水分胁迫下, 游离氨基酸是参与渗透调节的关键物质之一。

水分胁迫导致植物体内活性氧水平提高时, SOD、CAT、POD 等酶类活性和抗坏血酸 (Vc) 等非酶类物质增加, 以保持体内活性氧积累与清除系统的平衡^[13]。郭振飞等^[14]、蒋明义^[15]等研究认为, SOD、CAT、POD 活性在水分胁迫下与品种的抗旱性密切相关, 耐旱性强的品种能维持较高的 SOD、POD 活性和提高 CAT 活性; 李长明等^[3]研究认为, SOD、CAT 活性可以用来鉴别水分胁迫下水稻品种的抗旱性。本试验表明, 开花期水分胁迫叶片 POD、SOD、CAT 活性和 Vc 含量均比对照增加, 而且表现为抗旱性强的品种增加幅度较大, 抗旱性弱的品种增加幅度较小。抗氧化酶活性增强和 Vc 含量的增加是对开花期水分胁迫的适应, 能有效地清除体内活性氧, 提高水稻抗旱性。其相对值与品种抗旱性呈正相关, 相对值大小反映了不同品种抗旱性的差异。试验表明, Vc 含量和 SOD 活性的相对值与品种的抗旱性呈极显著正相关, 因此, Vc

和SOD是水稻开花期遭受水分胁迫时的关键保护性物质。

3.2 水稻开花期抗旱性鉴定指标的选用

作物抗旱性不仅与作物的种类、品种基因型、形态性状及生理生化反应有关,而且受干旱程度发生时期、强度及持续时间的影响,是植物体内在水分与生理功能相互作用的结果,也是植物与环境相互作用的结果^[16]。目前,关于水稻的耐旱机制尚不十分清楚,且不同品种可能具有不同的耐旱机制,即使同一品种在不同生育阶段,其耐旱机制有可能存在差异。因此,在对水稻进行抗旱性鉴定中,应从形态、生理、生化等众多指标中筛选出对抗旱性有显著影响的几个主要指标,进行综合分析判断才能更有效。而且,仅使用某些指标的绝对值来比较其抗旱性,不能消除品种间固有差异的影响,必然影响到判断的准确性。所以,选择水、旱环境中各指标的相对值进行分析,则较之绝对值更能体现抗旱性的内涵,消除了品种间固有差异,不仅同一指标间可以直接比较,不同指标间也可以进行比较,指标间的变化趋势十分明显,可比性更强。

4 结论

本试验表明,水稻开花期Vc、游离氨基酸、MDA含量和SOD活性的相对值与品种抗旱性有显著或极显著相关性,通过应用4项指标对所选用的10个水稻品种的聚类分析结果与它们在田间的表现也基本一致,从而表明,所筛选出的4项指标在水稻开花期进行抗旱性鉴定是可行的。因此,在开花期通过测定以上几个指标,利用所建立的回归方程通过各指标的相对值使各品种的抗旱性得以量化,不仅使水稻开花期抗旱性的预测更简捷、快速,而且使抗旱性鉴定与利用研究具有预见性。

References

- [1] 程旺大, 赵国平, 张国平, 姚海根. 水稻节水栽培的生态和环境效应. 农业工程学报, 2002, 18(1): 191-193.
Cheng W D, Zhao G P, Zhang G P, Yao H G. Effects of ecology and environment of water-saving culture for rice. *Transactions of the CSAE*, 2002, 18(1): 191-193. (in Chinese)
- [2] 孙骏威, 杨 勇, 黄宗安, 金松恒, 蒋德安. 聚乙二醇诱导水分胁迫引起水稻光合下降的原因探讨. 中国水稻科学, 2004, 18: 539-543.
Sun J W, Yang Y, Huang Z A, Jin S H, Jiang D A. Reason for photosynthetic declination in rice from water stress induced by polyethylene glycol. *Chinese Journal of Rice Science*, 2004, 18: 539-543. (in Chinese)
- [3] 李长明, 刘保国, 任昌福, 蔡锡贵, 杨麒麟, 陈显薇. 水稻抗旱机理研究. 西南农业大学学报, 1993, 15: 409-411.
Li C M, Liu B G, Ren C F, Cai X G, Yan Q L, Chen X W. Study on the mechanism of drought resistance in rice. *Journal of Southwest Agriculture University*, 1993, 15: 409-411. (in Chinese)
- [4] 杨建昌, 王志琴, 朱庆森. 水稻品种的抗旱性及其生理特性的研究. 中国农业科学, 1995, 28(5): 65-72.
Yang J C, Wang Z Q, Zhu Q S. Drought resistance and its physiological characteristics in rice varieties. *Scientia Agricultura Sinica*, 1995, 28(5): 65-72. (in Chinese)
- [5] 李自超, 刘文欣, 赵笃乐. PEG胁迫下水、陆稻幼苗生长势比较研究. 中国农业大学学报, 2001, 6(3): 16-20.
Li Z C, Liu W X, Zhao D L. Comparison of growing tendency during young seedling between paddy rice and upland rice under PEG water-stress. *Journal of China Agriculture University*, 2001, 6(3): 16-20. (in Chinese)
- [6] 王贺正, 马 均, 李旭毅, 张荣萍, 李 艳. 水稻芽期抗旱性和抗旱性鉴定指标的筛选研究. 西南农业学报, 2004, 17: 594-599.
Wang H Z, Ma J, Li X Y, Zhang R P, Li Y. Study on drought resistance and screening of the drought resistance assessment indexes at germinating stage of rice. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2004, 17: 594-599. (in Chinese)
- [7] 李 艳, 马 均, 王贺正, 张荣萍, 李旭毅. 水稻品种苗期抗旱性鉴定指标筛选及其综合评价. 西南农业学报, 2005, 18: 250-255.
Li Y, Ma J, Wang H Z, Zhang R P, Li X Y. Studies on screening of the drought resistance assessment indexes and comprehensive evaluation of rice varieties during seedling stage. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2005, 18: 250-255. (in Chinese)
- [8] 韩建民. 抗旱性不同的水稻品种对渗透胁迫的反应及其与渗透调节的关系. 河北农业大学学报, 1990, 13(1): 18-21.
Han J M. The responses of rice seedlings to the osmotic stress and relation to the osmotic adjustment. *Journal of Hebei Agriculture University*, 1990, 13(1): 18-21. (in Chinese)
- [9] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000.
Li H S. *Experimental Principle and Technique for Plant Physiology and Biochemistry*. Beijing: Higher Education Press, 2000. (in Chinese)
- [10] 任红旭, 陈 雄, 吴冬秀. CO₂浓度升高对干旱胁迫下蚕豆光合作用和抗氧化能力的影响. 作物学报, 2001, 27: 729-736.

- Ren H X, Chen X, Wu D X. Effect of CO₂ on photosynthesis and antioxidative ability of broad bean plants grown under drought condition. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27: 729-736. (in Chinese)
- [11] 刘鸿艳, 邹桂花, 刘国兰, 胡颂平, 李明寿, 余新桥, 梅捍卫, 罗利军. 水分梯度下水稻CT, LWP和SF的相关及其QTL定位研究. 科学通报, 2005, 50(2): 130-139.
- Liu H Y, Zou G L, Liu G L, Hu S P, Li M S, Yu X Q, Mei H W, Luo L J. Studies on relationships between CT, LWP and SF and their QTL mapping in rice. *Science Bulletin*, 2005, 50(2): 130-139. (in Chinese)
- [12] 蔡永萍, 杨其光, 黄义德. 水稻水作与旱作对抽穗后剑叶光合特性、衰老及根系活性的影响. 中国水稻科学, 2000, 14(4): 219-224.
- Cai R P, Yang Q G, Huang Y D. Effect of rice cultivated and paddy and upland condition on photosynthesis and senescence of flag leaf and an activity of root system after heading. *Chinese Journal of Rice Science*, 2000, 14(4): 219-224. (in Chinese)
- [13] 陈少裕. 膜脂过氧化与植物逆境胁迫. 植物学通报, 1989, 6(4): 211-217.
- Chen S Y. Membrane-lipid peroxidation and plant stress. *Chinese Bulletin of Botany*, 1989, 6(4): 211-217. (in Chinese)
- [14] 郭振飞, 卢少云, 李宝盛, 李明启, 黎用朝. 不同耐旱性水稻幼苗对氧化胁迫的反应. 植物学报, 1997, 39: 748-752.
- Guo Z F, Lu S Y, Li B S, Li M Q, Li Y C. Responses of rice seedlings in different drought tolerant cultivars to oxidative stress. *Acta Botanica Sinica*, 1997, 39: 748-752. (in Chinese)
- [15] 蒋明义, 荆家海, 王韶唐. 渗透胁迫对水稻幼苗膜脂过氧化及体内保护系统的影响. 植物生理学报, 1991, 17(1): 80-84.
- Jiang M Y, Jing J H, Wang S T. Effects of osmotic stress on membrane lipid peroxidation and endogenous protective systems in rice seedlings. *Acta Phytophysiologica Sinica*, 1991, 17(1): 80-84. (in Chinese)
- [16] 龚明. 作物抗旱性鉴定方法与指标及其综合评价. 云南农业大学学报, 1989, 4(1): 73-81.
- Gong M. Screening methods and index of drought resistance in crops and comprehensive evaluation. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 1989, 4(1): 73-81. (in Chinese)

(责任编辑 张淑兰, 赵利辉)