

# 不同生育期水分胁迫对水稻根系活力、 叶片水势和保护酶活性的影响

蔡昆争, 吴学祝, 骆世明, 王 维  
(华南农业大学 农学院, 广东 广州 510642)

**摘要:**以丰华占为研究材料,通过盆栽试验,在水稻生长的不同生育时期分别进行水分胁迫处理,研究其对水稻根系活力、叶片水势和保护酶活性的影响.结果表明,不同生育期干旱胁迫后叶片水势均显著下降,解除干旱后恢复到对照水平;分蘖期、穗分化期、抽穗期、结实期干旱处理后根系活力分别比对照上升181.38%、27.32%、94.86%和93.47%,其中穗分化期、抽穗期干旱处理在解除干旱后均仍然显著高于对照.不同生育期干旱胁迫均造成叶片和根系的超氧化物歧化酶(SOD)活性显著提高,其中抽穗期控水后SOD活性提高幅度最大,叶片和根部SOD活性分别比对照提高44.30%和105.18%,且解除干旱后仍然高于对照.根系和叶片的过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性在不同生育期干旱处理后均显著上升,解除干旱后可恢复到与对照接近的水平.研究还表明,无论干旱与否,叶片的SOD、POD和CAT活性均远远高于根部.

**关键词:**水稻;水分胁迫;根系;保护酶;生育期

**中图分类号:**S181;S314

**文献标识码:**A

**文章编号:**1001-411X(2008)02-0007-04

## Effects of Water Stress at Different Growth Stages on Root Activity, Leaf Water Potential and Protective Enzymes Activity in Rice

CAI Kun-zheng, WU Xue-zhu, LUO Shi-ming, WANG Wei

(College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** Effects of water stress at different growing stages on root activity, leaf water potential, protective enzymes activity of leaf and root in rice variety, Fenghuazhan, were studied through pot experiment. The results showed that, leaf water potential was significantly decreased after water stress at different growth stages and it could be restored to the normal level after re-irrigation. Root activity after water stress was increased by 181.38%, 27.32%, 94.86% and 93.47% at tillering, panicle differentiation, heading and filling stages, and kept higher level than the control after re-irrigation at panicle differentiation and heading stage. Superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and peroxidase (POD) activity in leaf and root increased significantly after drought treatment, and restored to normal level after re-irrigation except that SOD activity were still higher than control when drought at panicle differentiation and heading stage were removed. SOD, POD and CAT activity in leaf was higher than in root whatever irrigation or drought.

**Key words:** rice; water stress; root; protective enzymes; growth stage

干旱是影响水稻生长的主要限制因子之一,不同的水稻品种之间在同一生育阶段的耐旱特性也有不同的生育阶段对于旱缺水有不同的反应,而有一定的差异<sup>[1]</sup>.作物在一定程度上的水分亏缺下

收稿日期:2007-09-12

作者简介:蔡昆争(1970—),男,副教授,博士, E-mail: kzcai@scau.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金(30100107);广东省自然科学基金(20000636);广东省科技计划项目(2007B020711005)

复水具有补偿与超补偿效应<sup>[2-3]</sup>, 这为节水灌溉提供了理论基础. 水稻在不同生育期受到干旱胁迫时, 在作物形态、生理、生态等方面发生明显的变化, 以适应变化的环境. 目前的研究大多集中在水分胁迫对生长发育<sup>[4-5]</sup>、干物质积累和运转及光合特性<sup>[6-9]</sup>、产量及品质<sup>[10-15]</sup>的影响, 对于不同生育期干旱胁迫对根系活力和抗氧化酶活性的影响研究较少. 本研究在不同生育期通过模拟自然干旱来探讨其对水稻根系活力的反应、叶片和根系保护酶活性的影响, 从而揭示不同生育期的耐旱机制, 为抗旱栽培和育种提供理论依据和参考.

## 1 材料与与方法

### 1.1 材料

丰华占, 目前生产上推广的品种, 生育期早季 108 d 左右, 株高 97 cm, 分蘖力较强.

### 1.2 试验设计

试验于 2004 年 4—7 月在华南农业大学农学院试验基地的温室内进行. 盆栽, 土壤为水稻土, 有机质 18.36 g/kg, 速效氮 97.68 mg/kg, 速效磷 50.61 mg/kg, 速效钾 166.08 mg/kg. 每盆装土 15 kg, 施肥量为每盆施尿素 0.2 g 和复合肥 0.2 g, 作为基肥施入. 试验设 5 个处理, 每个处理 3 个重复, 随机排列. 即对照 (CK): 整个生育期一直保持水层 1~2 cm; 分蘖期控水 (T1): 移栽后 15~30 d 之间排水, 其余时间保持水层 1~2 cm; 穗分化期控水 (T2): 移栽后 35~50 d 之间 (二次枝梗分化期到花粉母细胞减数分裂期) 排水, 其余时间保持水层 1~2 cm; 抽穗期控水 (T3): 移栽后 65~80 d 之间 (抽穗始期至齐穗期) 排水, 其余时间保持水层 1~2 cm; 结实期控水 (T4): 移栽后 80 d 至成熟时排水, 其余时间保持水层 1~2 cm. 分蘖期由于个体较小, 控水结束时土壤水势在 -0.35 MPa, 其他处理控水结束时土壤水势在 -1.50~1.80 MPa 之间. 整个试验过程取样 5 次, 在每次控水处理结束后进行取样, 测定根系活力<sup>[16]</sup>、叶片水势 (采用美国 Yamato 公司产 WP4 水势仪)、超氧化物歧化酶 (SOD)<sup>[17]</sup>、过氧化物酶 (POD) 和过氧化氢酶 (CAT)<sup>[18]</sup> 活性.

以抑制 NBT 光化还原 50% 为 1 个酶活性单位, 记为 U. SOD 和 POD 以  $U \cdot g^{-1}$  为活力单位, CAT 活性以  $mg \cdot mg^{-1} \cdot min^{-1}$  为活力单位.

## 2 结果与分析

### 2.1 对根系活力的影响

从表 1 可以看出, 在正常水分管理条件下, 水稻

的根系活力在移栽后 50 d 时达到最大, 为  $147.72 \mu g \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ , 之后逐渐降低, 到移栽后 95 d 时仅为  $11.08 \mu g \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ . 不同生育期遭受水分胁迫均可引起水稻根系活力的显著升高. 以分蘖期水分胁迫 (T1) 后根系活力值上升最高, 达到  $214.78 \mu g \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ , 比对照增加 181.38%, 但在复水后可迅速恢复到对照水平. T2、T3 和 T4 处理在控水结束后根系活力分别比对照升高了 27.32%、94.86% 和 93.47%, 差异极显著. 其中 T2 和 T3 处理在恢复供水后仍然显著高于对照, 在移栽后 95 d 时分别比对照高 172.47% 和 276.53%.

表 1 不同生育期水分胁迫对水稻根系活力的影响<sup>1)</sup>

Tab. 1 Effects of water stress at different stages on root activity of rice

处理 treatment	$\mu g \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$				
	t 移栽后 after transplanting /d				
	15	30	50	80	95
CK	51.28 ± 4.05	76.33 ± 6.12b	147.72 ± 10.11b	64.19 ± 4.26b	11.08 ± 1.84c
T1		214.78 ± 20.06a	150.41 ± 9.47b	61.94 ± 5.61b	10.81 ± 1.27c
T2			188.07 ± 16.73a	92.70 ± 9.14a	30.19 ± 2.59a
T3				125.08 ± 12.65a	41.72 ± 5.08a
T4					21.39 ± 1.16b

1) 表中数据为平均值 ± 标准误, 同列数字后小写字母不同者示 0.05 水平差异显著 (Duncan's 法)

### 2.2 对叶片水势的影响

各生育期控水后, 水稻叶片水势显著下降 (表 2). T1 处理在复水前叶片水势比 CK 降低 40.28%, 但复水后可以迅速恢复到 CK 水平; 而 T2 和 T3 处理在复水前叶片水势分别比 CK 降低 174.55% 和 112.04%, 但是复水后水势迅速升高, 到灌浆期甚至明显高于对照; T4 (结实期控水) 处理后叶片水势比对照降低 65.60%.

表 2 不同生育期水分胁迫后水稻叶片水势的变化情况<sup>1)</sup>

Tab. 2 Change of leaf water potential after water stress at different growth stages

处理 treatment	MPa				
	t 移栽后 after transplanting /d				
	15	30	50	80	95
CK	-0.91 ± 0.03	-0.72 ± 0.05a	-0.55 ± 0.02a	-1.08 ± 0.10a	-1.25 ± 0.06a
T1		-1.01 ± 0.11b	-0.59 ± 0.04a	-1.12 ± 0.03a	-1.22 ± 0.09a
T2			-1.51 ± 0.06b	-1.19 ± 0.11a	-1.13 ± 0.05a
T3				-2.29 ± 0.17b	-1.11 ± 0.10a
T4					-2.07 ± 0.15b

1) 表中数据为平均值 ± 标准误, 同列数字后小写字母不同者示 0.05 水平差异显著 (Duncan's 法)

### 2.3 对保护酶活性的影响

2.3.1 对超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的影响 不同生育期叶片的 SOD 活性均远远高于根部, 而水分胁迫后水稻叶片和根部的 SOD 活性均明显提高 (图 1). 其中抽穗期控水 (T3) 后 SOD 活性提高幅度

最大,叶片和根部 SOD 活性分别比对照提高 44.30% 和 105.18%,且复水后仍然高于对照。穗分化期控水处理(T2)SOD 活性的变化情况与抽穗期控水处理(F3)具有相同的趋势,只是提高幅度要小一些。而分蘖期控水处理(T1)后叶部和根部 SOD 活性分别比对照提高 21.67% 和 19.76%,但复水后可以迅速恢复到对照水平。

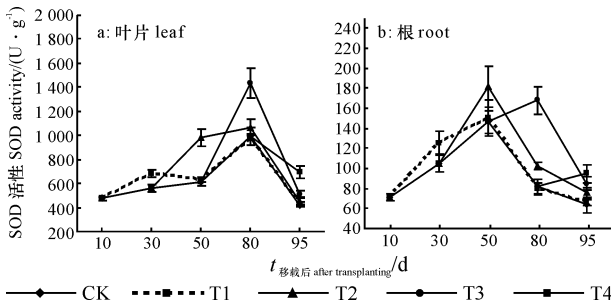


图1 不同生育期水分胁迫对水稻叶片和根系 SOD 活性的影响  
Fig. 1 Effects of water stress at different stages on SOD activity in leaf and root of rice

2.3.2 对过氧化物酶(POD)活性的影响 水分胁迫后,水稻叶片和根部的 POD 活性明显升高(图2),其中 T1 和 T2 处理叶片 POD 活性上升幅度大于根部, T3 和 T4 处理则相反。T1 处理复水前水稻叶片和根部 POD 活性分别比对照升高了 20.67% 和 18.28%,但复水后叶片和根部 POD 活性可迅速恢复到对照水平;T2 处理后水稻叶片和根部 POD 活性同样都明显升高,复水后根部可以迅速恢复到对照水平,而叶片在移栽后 80 d 仍然高于对照 10.04%,到移栽后 95 d 则基本恢复到对照水平。T3 处理复水前叶部和根部 POD 活性分别比对照升高 14.03% 和 26.86%,且复水后均一直高于对照;T4 处理复水前叶部比对照升高 24.54%,而根部比对照升高 32.94%。

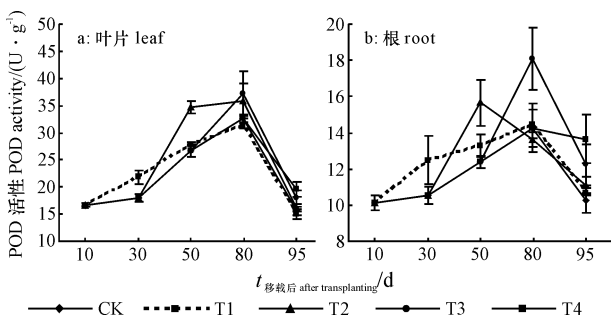


图2 不同生育期水分胁迫对水稻叶片和根系 POD 活性的影响  
Fig. 2 Effects of water stress at different stages on POD activity in leaf and root of rice

2.3.3 对过氧化氢酶(CAT)活性的影响 正常灌溉下,水稻叶片和根部 CAT 活性均在移栽后 50 d 达

到最高值,水分胁迫下,均显著增高(图3)。T1 和 T2 处理在复水前叶片和根部 CAT 活性均显著高于对照,但复水后均可以迅速恢复到对照水平;T3 处理在复水前叶片和根部 CAT 活性分别比对照升高 18.80% 和 29.49%,复水后叶片 CAT 活性一直高于对照水平,在移栽后 95 d 比对照高 12.04%,而根部可迅速恢复到对照水平;T4 处理后叶片和根部 CAT 活性分别比对照升高 50.78% 和 40.55%。

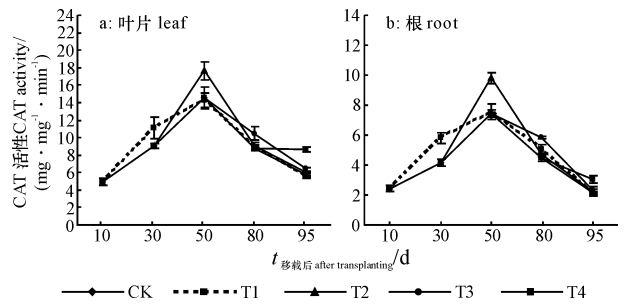


图3 不同生育期水分胁迫对水稻叶片和根系 CAT 活性的影响  
Fig. 3 Effects of water stress at different stages on CAT activity in leaf and root of rice

### 3 讨论

水稻在不同生育期间经常会受到干旱胁迫,这对水稻生长发育和产量及品质造成不同程度的影响。前人研究表明,水稻旱作可明显提高水稻根系活力及硝酸还原酶活性,增强根系呼吸强度<sup>[19]</sup>。始穗后水稻根系氧化力和还原力均呈下降趋势,但在干旱条件下均显著增强<sup>[20]</sup>。水稻根系活性高,有利于协调水稻高产与根系早衰的矛盾<sup>[21-22]</sup>。本研究结果表明,正常条件下水稻根系活力自移栽后逐渐上升,到穗分化期达到最大,随后逐渐下降,直到成熟期活力最低,这与水稻生长状况是一致的。在不同生育期干旱条件下根系还原活力均显著增强。较高的根系活力,可以促进根系对养分的吸收,有利于植株的生长<sup>[19]</sup>。因此在生产上适当进行干湿灌溉有利于增强根系的活力和维持植株的稳健生长。

氧化胁迫是干旱引起的一种重要伤害,氧化胁迫通过活性氧对植物造成伤害<sup>[23-24]</sup>。这些活性氧的清除需依靠 SOD、CAT 等各种过氧化物酶的催化反应而使它们解毒,以免除或降低对细胞膜系统的伤害。一般而言,抗氧化酶活性的高低与植物的抗逆性强弱有关,抗逆性强的植物保护酶的活性就相应较高,反之抗逆性弱的植物其抗氧化酶的活性也相应较低<sup>[25]</sup>。有研究表明,在水分胁迫下,叶片水势下降,水稻体内 SOD、CAT 和 POD 活性明显升高,尤其是在抽穗之前,提高幅度较大<sup>[11,26]</sup>。本研究表明,穗分化期和抽穗期这 2 个对水分胁迫最敏感的时期

干旱胁迫后叶片水势急剧下降,叶片和根系的抗氧化酶活性上升幅度最大,反映了水稻通过提高抗氧化酶活性以适应干旱的生理机制,但由于能量代谢成本增加,对产量将产生不利影响。同时穗分化期和抽穗期水分胁迫结束后再复水,抗氧化酶活性仍长期明显高于对照。以上这些变化规律在水稻根系与叶片表现一致,表现了根系与叶片在适应干旱逆境方面的协调统一性。

#### 参考文献:

- [1] 郑秋玲. 不同生育阶段干旱胁迫下的水稻产量效应[J]. 河北农业科学, 2004, 8(3): 83-85.
- [2] 施积炎, 袁小凤. 作物水分亏缺补偿与超补偿效应的研究现状[J]. 山地农业生物学报, 2000, 19(3): 226-232.
- [3] 董宝娣, 张正斌, 刘孟雨, 等. 水分亏缺下作物的补偿效应研究进展[J]. 西北农业学报, 2004, 13(3): 31-34.
- [4] BOONJUNG H, FUKAI S. Effects of soil water deficit at different growth stages on rice growth and yield under upland conditions: 1. Growth during drought[J]. Field Crop Research, 1996, 48: 375.
- [5] 钱晓晴, 沈其荣, 柏彦超, 等. 旱作条件下不同水稻品种响应特征[J]. 作物学报, 2004, 30(6): 555-562.
- [6] 王志琴, 杨建昌, 朱庆森. 土壤水分对水稻光合速率与物质运转的影响[J]. 中国水稻科学, 1996, 10(4): 235-240.
- [7] 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[J]. 中国水稻科学, 2000, 1(4): 219-224.
- [8] 陆建飞, 黄丕生, 丁艳锋, 等. 持续土壤水分胁迫对水稻物质积累和运转的影响[J]. 江苏农业学报, 1998, 14(3): 135-140.
- [9] 陈海生, 陶龙兴, 王熹, 等. 灌水方式对水稻灌浆期光合物质运转与分配的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 678-683.
- [10] 朱庆森, 邱泽森, 姜长鉴, 等. 水稻各生育期低土壤水势对产量的影响[J]. 中国农业科学, 1994, 27(6): 15-22.
- [11] 杨建昌, 朱庆森, 王志琴. 土壤水分对水稻产量与生理特性的影响[J]. 作物学报, 1995, 21(1): 110-114.
- [12] 蔡一霞, 朱庆森, 王志琴, 等. 结实期土壤水分对稻米品质的影响[J]. 作物学报, 2002, 28(5): 601-608.
- [13] 郑家国, 任光俊, 陆贤军, 等. 花后水分亏缺对水稻产量和品质的影响[J]. 中国水稻科学, 2003, 17(3): 239-234.
- [14] 姜心禄, 郑家国, 袁勇. 水稻本田期不同生育阶段受旱对产量的影响[J]. 西南农业学报, 2004, 17(4): 435-438.
- [15] 王成瑗, 王伯伦, 张文香, 等. 土壤水分胁迫对水稻产量和品质的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(1): 131-137.
- [16] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [17] 王爱国, 罗广华, 昭从本. 大豆种子超氧化物歧化酶的研究[J]. 植物生理学报, 2000, 9(1): 77-84.
- [18] 袁庆华, 桂枝, 张文淑, 等. 苜蓿抗感褐斑病品种内超氧化物歧化酶、过氧化物酶和多酚氧化酶活性的比较[J]. 草业学报, 2002, 11(2): 100-104.
- [19] 路兴花, 吴良欢, 刘铭, 等. 覆膜旱作对水稻生长发育及其某些生理特性的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2002, 28(6): 609-614.
- [20] 徐孟亮, 姜孝成, 周广洽, 等. 干旱对水稻根系活力与结实性状的影响[J]. 湖南师范大学: 自然科学学报, 1998, 21(3): 64-68.
- [21] 陈国林. 水稻节水灌溉的生理生态效应[J]. 江西农业大学学报, 1996, 18(2): 160-166.
- [22] 梁永超, 胡锋, 杨茂成, 等. 水稻覆膜旱种高产节水机理研究[J]. 中国农业科学, 1999, 32(1): 26-32.
- [23] SCANDALIOS J G. Oxygen stress and superoxide dismutase[J]. Plant Physiol, 1993, 101: 7-12.
- [24] SMIRNOFF N. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation[J]. New Phytologist, 1993, 125: 27-58.
- [25] PRASAD T K. Role of catalase in inducing chilling tolerance in pre-emergent maize seedlings[J]. Plant Physiol, 1997, 114: 1369-1376.
- [26] 孙骏威, 杨勇, 蒋德安. 水分亏缺下水稻的光化学和抗氧化应答[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2004, 30(3): 278-284.

【责任编辑 周志红】