

干旱复水激发玉米叶片补偿效应的生理机制

卜令铎¹, 张仁和¹, 韩苗苗¹, 薛吉全^{1*}, 常 宇²

(1. 西北农林科技大学 农学院, 陕西杨凌 712100; 2. 上海泽泉科技有限公司, 上海 200333)

摘 要: 采用盆栽控水试验, 在旱后复水条件下, 于苗期对 2 个不同抗旱性玉米品种叶片生理生化指标进行了测定, 结果表明: 干旱导致细胞膜结构破坏、叶绿素含量及光合作用下降, 抗旱性强的品种变化较小; 渗透调节物质和保护性酶活性增加, 抗旱性强的品种升幅较大。复水后细胞膜结构迅速恢复, 保护性酶活性和可溶性糖含量继续增加, 叶绿素含量、光合速率、 F_v/F_o 和 F_v/F_m 等光合作用参数出现超补偿现象。中度干旱 10 d 后复水激发了作物的生理补偿效应, 主要生理机制是干旱复水后细胞膜结构迅速修复和叶绿素含量的超补偿增加, 大大提高了光合作用的潜力和速率; 前期干旱锻炼增强了玉米抗旱能力, 抗旱品种表现出较高的超补偿效应, 有利于适应干湿交替和低水多变的环境, 实现节水高产。

关键词: 玉米; 抗旱性; 干旱和复水; 补偿效应; 生理机制

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 1004-1389(2009)02-0088-05

The Physiological Mechanism of Compensation Effect in Maize Leaf by Re-watering after Draught Stress

BU Lingduo¹, ZHANG Renhe¹, HAN Miaomiao¹, XUE Jiquan^{1*} and CHANG Yu²

(1. College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China;

2. Shanghai Zeal Quest Scientific Technology Company, Shanghai 200333, China)

Abstract: Physiology indexes of two different drought-resistant maizes were studied during water stresses and re-watering in seedling which were cultivated in pots. The results showed that drought lead to damage of cell-membrane, the decrease of chlorophyll content and photosynthesis. The cultivar which is more resistant drought, testify a small changes. Increase in osmosis adjustment substance and the activities of antioxidant enzymes, and the trend becomes more dramatic along with the trait of abilities. After re-watering, the cell-membrane structure all recovery fast, the activities of antioxidant enzymes and Ss content still grow up, the Chlorophyll content, P_n , F_v/F_o , F_v/F_m and so on appear a compensative effect, the change of which is more higher in more-resistant than less-resistant cultivar. The re-watering 10 days after middle water stress make physiology compensative effect, those phenomena can be accounted by the increase of photosynthesis super-compensative effect after the recovery of cell-membrane, which is because of the strength of photosynthetic potential and rate during rapid functional of cell-membrane and increase of chlorophyll content, drought-resistant of cultivars have more ability. The result which shows a increase ability of resisting the drought after re-watering, can be propitious to acclimation the environment of water levity, achieve the saving water and high yield.

Key words: Maize; Drought-resistant; Drought and re-watering; Compensative effect; Physiology mechanism

收稿日期: 2008-10-09 修回日期: 2008-11-05

基金项目: 国家“863”现代节水农业重大专项(2006AA100201), 陕西省重大科技专项(2006KZ06-G3)。

作者简介: 卜令铎 (1982—), 男, 黑龙江人, 在读硕士, 从事玉米水分生理研究。E-mail: bulingduo@163.com

* 通讯作者: 薛吉全, 男, 教授。E-mail: xjq2934@yahoo.com.cn

干旱和短期湿润交替是西北旱作玉米生长的水分环境特点^[1]。是影响玉米生产的重要限制因素^[2],而一定时期干旱后增加少量供水能显著增产^[3],国内外研究表明,前期干旱锻炼能提高玉米的水分利用效率^[4-5],有利于农业增产和节水^[6]。玉米自身对干旱和旱后复水不断变化的环境,形成了从“伤害”到“适应”的机制,即在适应范围内的水分亏缺,复水后可产生生理上的“补偿效应”和“超补偿效应”^[7-8],是在胁迫解除后存在短暂的快速生长即补偿生长,以部分补偿胁迫造成的损失^[9-10]。体现在植株外部形态上的有植株高度、叶面积、生物量和生长速率的变化等方面^[11]。而其关键生理生化补偿机制的研究相对较少。为此,本试验以不同抗旱性玉米为材料,研究旱后复水条件下的生理生化特性的变化,以期深入探讨玉米伤害-修复-补偿机制,为玉米节水高产栽培和抗旱品种选育提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

通过 2006—2007 年的抗旱品比试验结果,筛选出 2 个抗旱性显著不同的玉米品种:抗旱性强的郑单 958 (ZD958) 和抗旱性弱的户单 1 号 (HD1)。

1.2 试验设计

盆栽试验 2008 年 6—7 月在西北农林科技大学农作物示范园的抗旱棚内进行。用大小和质量基本相同的塑料桶(内径 26 cm,深 38 cm),分别装相同风干粘壤土 15 kg,土壤田间最大持水量 26.2%, pH7.2,有机质含量 1.59%,全氮 0.055%。播种后正常供水(土壤相对含水量为 75%~80%)至苗期 3 叶展,开始干旱胁迫处理,中度干旱水平(土壤相对含水量 35%~40%);于处理前(CK)、干旱 5 d(Z1)、干旱 10 d(Z2)、复水后 5 d(F1)和复水后 10 d(F2)取样调查各项指标,5 次重复取平均值。每天采用称重法(ES-30KTS 型电子天平,最小感量为 1 g)补水控水并记录,处理间除桶内土壤水分明显差异外其他管理相一致。

1.3 测定项目及方法

叶片相对含水量(RWC)、水势(ψ_w)、电导率、叶绿素含量(Chl)、抗氧化酶 SOD、POD、CAT 的活性、渗透调节物质脯氨酸(Pro)、可溶性糖(Ss)含量及丙二醛(MDA)含量测定参见高俊凤^[12]、

李合生的方法^[13]。净光合速率(P_n)的测定采用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 便携式光合仪。叶绿素荧光动力学参数测定采用德国 WALZ 公司生产的 PAM-2100 便携式荧光仪: F_0 、 F_m 测定于黎明前 4:00—5:00, F_s 、 F_0' 、 F_m' 在次日上午 10:00—11:30 与 P_n 同步测定;计算得到:光系统 II (PS II) 潜在活性 $F_v/F_0 = (F_m - F_0)/F_0$,光系统 II (PS II) 最大光化学效率 $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$,光量子产量 $\Phi_{PSII} = (F_m' - F_s)/F_m'$,电子传递速率 $ETR = \Phi_{PSII} \times PAR \times 0.84 \times 0.42$ ^[14]。

2 结果与分析

2.1 干旱及复水对叶片相对含水量、水势和细胞膜透性的影响

由图 1 表明,水分胁迫导致叶片 ψ_w 、RWC 降低,细胞膜透性增加,复水后各指标迅速恢复。干旱处理前两个品种间无明显差异,干旱 5 d 时,品种间水势和细胞膜透性差异明显,抗旱品种的水势下降、细胞膜伤害相对较小,干旱 10 d 时叶片 RWC 和 ψ_w 继续下降,抗旱性较强品种的细胞膜透性有适应性的恢复,而抗旱性较弱品种的继续增加。

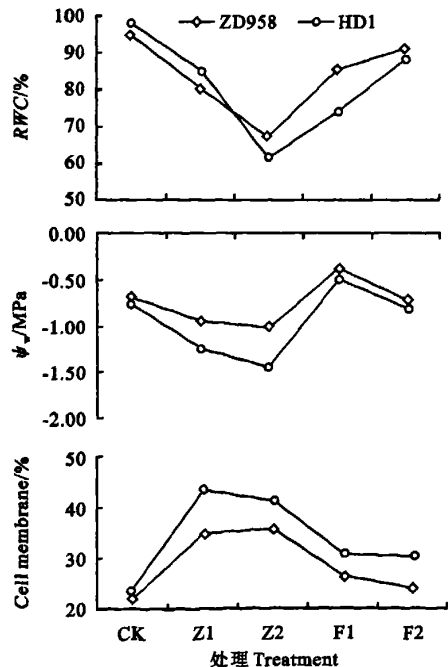


图 1 干旱复水对叶片相对含水量、水势和细胞膜透性的影响

Fig. 1 Effect of RWC, ψ_w and cell membrane by drought and re-watering

复水后各指标迅速恢复,表现出补偿性恢复,叶片水势尤为明显,出现超补偿效应,抗旱品种的恢复程度明显高于弱抗旱性品种,复水 10 天时除 RWC 外其他指标补偿外其他指标补偿效应显著。

2.2 干旱及复水对叶片渗透调节物质质量分数的影响

图 2 表明,干旱下叶片 $w(Ss)$ 呈先下降后上升的趋势,随干旱的持续有适应性的增加,复水初期增加到较高水平,抗旱较强品种 $w(Ss)$ 相对较高,可能是光合产物增加的缘故。而 $w(Pro)$ 在干旱初期迅速增加,然后略有降低,抗旱品种显著高于弱抗旱品种,复水抗旱品种恢复较快,说明干旱条件下,脯氨酸是影响叶片水势的主要的渗透调节物质,抗旱品种的渗透调节能力明显高于弱抗旱性品种。

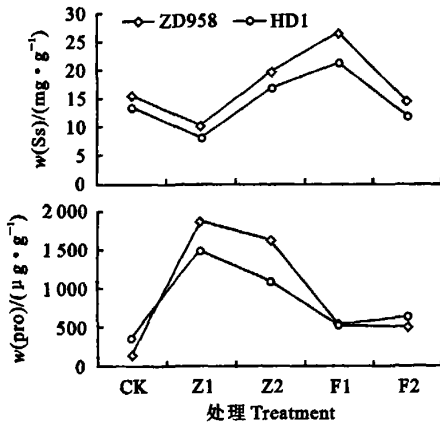


图 2 干旱和复水对叶片渗透调节物质质量分数的影响

Fig. 2 Effect on content of osmosis adjustment substance by drought and re-watering

2.3 干旱及复水对叶片保护性酶活性和丙二醛含量的影响

对水分胁迫下的抗氧化酶 SOD、POD 和 CAT 活性的研究表明(图 3),干旱导致 SOD、POD 和 CAT 活性上升,抗旱品种上升程度较高,复水后继续升高,抗旱品种的活性明显高于抗旱性较弱品种;随着复水的持续各酶活性有所回落,抗旱性强的品种保护性酶活性及其上升速率明显高于弱抗旱品种,品种间酶活性差异在复水初期最大,SOD 最为明显。

MDA 是膜脂过氧化最重要的产物之一,由图 3 可以看出:随着干旱处理的持续,MDA 不断上升,表明膜结构的破坏加剧,抗旱性弱品种受害明显大于抗旱性强的品种;复水后 MDA 较早的

恢复到正常水平品种间差异不明显。膜结构在复水初期完成修复;这归因于抗氧化酶限制了膜脂的过氧化作用,使膜的修复速率大于破坏速率所致。

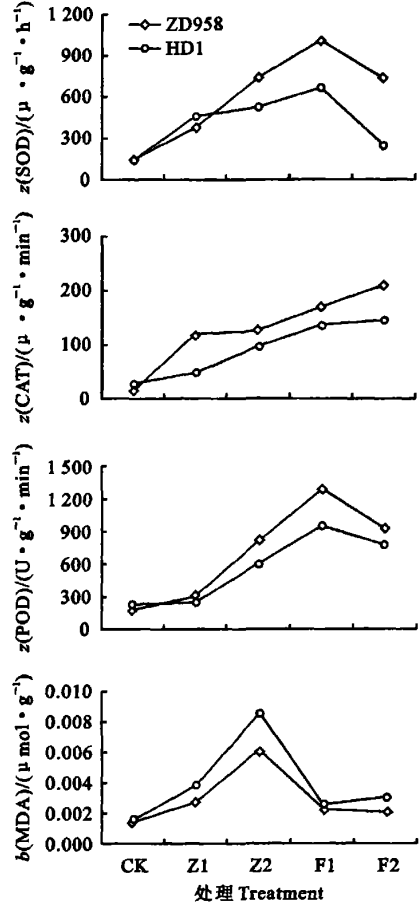


图 3 干旱复水对叶片保护性酶活性和丙二醛摩尔分数的影响

Fig. 3 Effect on activity of antioxidant enzymes and MDA content by drought and re-watering

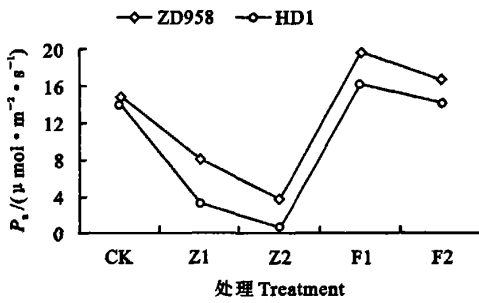
2.4 干旱及复水叶片光合特性的变化

由图 4 可知:干旱导致 P_n 下降,抗旱品种下降速率和幅度相对较小,与叶绿素 b 质量分数相关;复水初期 P_n 迅速恢复,抗旱品种恢复程度较高甚至出现“超补偿效应”;同时两种叶绿素分子质量分数在复水后持续上升,都出现“超补偿”现象,叶绿素 a 分子质量分数增加幅度最大,品种间差异不明显,说明 Chl-b 质量分数下降,降低了 PS II 光能的捕获量是影响品种间 P_n 差异的原因之一,而 Chl-a 质量分数可能对 P_n 的“超补偿效应”贡献较大。

叶绿素荧光参数可深层反应光合作用机构在

不同水分胁迫深度下的健康状况差异。图 5 表明,持续干旱导致 F_v/F_o 和 F_v/F_m 下降,品种抗旱性越强其下降幅度越小,而复水后恢复也越快,补偿效应的程度也越高,复水后期品种间无明显差异,说明复水初期光合作用潜力的恢复速率与品种抗旱性直接相关。

Φ_{PSII} 和 ETR 是光合作用的微观形式,图 5



中二者在干旱中的下降幅度和复水后的恢复程度基本相同但品种间差异显著,复水后抗旱品种的恢复速率和程度相对较高,这很好的反应了两个品种对干湿交替环境的适应性差异; Φ_{PSII} 和 ETR 在复水后虽然恢复良好并维持较长时间,“超补偿现象”并不明显,可能“超补偿”出现在 5~10 d 之间,品种间的最显著差异也出现在此。

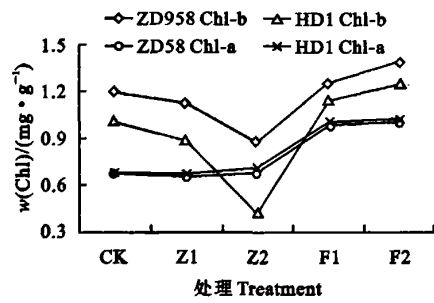


图 4 干旱复水对叶片光合速率和叶绿素质量分数的影响

Fig. 4 Effect on P_n and chlorophyll content by drought and re-watering

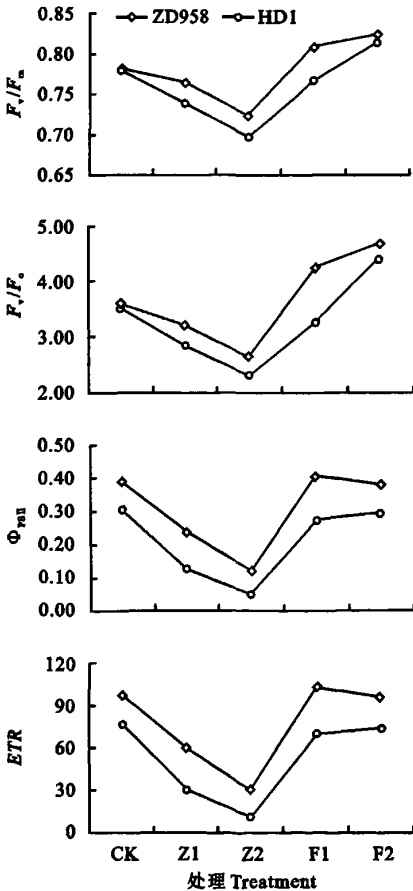


图 5 干旱复水对叶绿素荧光参数的影响

Fig. 5 Effect on chlorophyll fluorescence parameters by drought and re-watering

3 结论与讨论

无论是旱作农业还是灌溉农业,玉米一生中经常会遇到各种不同程度的干旱危害,旱后作物的补偿效应是作物自身的一种积极性调节机制^[15],对其适应干旱逆境有重要意义^[16],玉米生长过程中适当给予水分胁迫锻炼可增强生育后期的抗旱力^[17]。本研究结果表明,干旱使叶片失水、水势下降、细胞膜透性增加,叶片渗透调节物质质量分数升高,膜脂过氧化产物 MDA 摩尔分数增加,抗氧化酶 SOD 等的活性快速提升,说明干旱导致细胞膜的过氧化而破坏,抗氧化酶系可消除超氧自由基,以减轻膜脂过氧化作用对膜结构的伤害,干旱下植株通过提升酶活性来适应干旱环境,抗旱性较强的品种有较强的适应能力,所以酶活性上升程度较高;持续干旱使叶绿素质量分数和光合速率下降,荧光参数显示,光合作用潜力、电子传递速率下降,光量子产量降低,抗旱品种下降幅度较小,可能是叶绿素含量和光合膜功能的降低影响了光合作用强度;复水后由于品种抗旱性的不同,各指标的恢复速率和程度也不同:细胞膜结构和功能首先恢复正常,叶绿素质量分数、光合作用速率和潜力出现超补偿现象,抗旱品种的补偿效应速率和程度都明显高于抗旱性弱的品种,这可能是干旱锻炼后生长增加的生理基础。干旱造成了生理伤害,复水后激发了玉米的生理补偿效应,抗旱品种保护机能强、受害较轻,复水

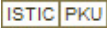
后的恢复速率和超补偿程度明显大于弱抗旱品种。说明抗旱玉米品种更有利于适应干湿交替和多变低水的环境、在干旱半干旱地区实现节水高产栽培。旱后复水玉米的生理变化是复杂的生物性状,与品种遗传特性有关,易受环境条件的影响,特别是干旱的时期、持续时间和程度等。玉米全生育期不同胁迫程度下复水的生理补偿机制,还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 山 仑, 邓西平, 张岁岐. 生物节水研究现状及展望[J]. 中国科学基金, 2006, 2 (2): 66-70.
- [2] Sharp R E, Poroyko V, Hejlek L G, *et al.* Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55 (407): 2343-2351.
- [3] 山 仑. 节水农业及其生理生态基础[J]. 应用生态学报, 1991, 2(1): 70-76.
- [4] 郭贤仕. 前期干旱锻炼对谷子水分利用效率的影响[J]. 作物学报, 1994, 20 (3): 352-356.
- [5] 黄占斌, 山 仑. 春小麦水分利用效率变化及其生理生态基础的研究[J]. 应用生态学报, 1997, 8 (3): 263-269.
- [6] Turner N C. Further progress in crop water relations [J]. Advances in Agronomy, 1997, 58: 293-338.
- [7] 陈晓远, 罗远培. 开花期复水对受旱冬小麦的补偿效应研究[J]. 作物学报, 2001, 27(4): 512-516.
- [8] 山 仑. 旱地农业技术发展趋向[J]. 中国农业科学, 2002, 35(7): 848-855.
- [9] Acevedo E, Hsiao T C, Henderson D W. Immediate and subsequent growth response of maize leaves in water stress [J]. Plant Physiology, 1971, 48: 631-636.
- [10] Wenkert W, Lemon E R, Sinclair T R. Leaf Elongation and Turgor Pressure in field-grown soybean [J]. Agronomy Journal, 1978, 20: 761-764.
- [11] 原保忠, 王 静, 赵松林. 植物补偿作用机制探讨[J]. 生态学杂志, 1998, 17 (5): 45-49.
- [12] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 西安: 世界地图出版社, 2000.
- [13] 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.
- [14] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 444-448.
- [15] 郭贤仕. 谷子旱后的补偿效应研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10 (5): 563-566.
- [16] 胡田田, 康绍忠. 植物抗旱性中的补偿效应及其在农业节水中的应用[J]. 生态学报, 2005, 25(4): 885-891.
- [17] 陈晓远, 罗远培. 不同生育期复水对受旱冬小麦的补偿效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(1): 35-37.

作者：[卜令铎](#), [张仁和](#), [韩苗苗](#), [薛吉全](#), [常宇](#), [BU Lingduo](#), [ZHANG Renhe](#), [HAN Miaomiao](#), [XUE Jiquan](#), [CHANG Yu](#)

作者单位：[卜令铎, 张仁和, 韩苗苗, 薛吉全, BU Lingduo, ZHANG Renhe, HAN Miaomiao, XUE Jiquan\(西北农林科技大学, 农学院, 陕西杨凌, 712100\)](#), [常宇, CHANG Yu\(上海泽泉科技有限公司, 上海, 200333\)](#)

刊名：[西北农业学报](#) 

英文刊名：[ACTA AGRICULTURAE BOREALI-OccIDENTALIS SINICA](#)

年, 卷(期): 2009, 18(2)

被引用次数: 14次

参考文献(17条)

1. [山仑;邓西平;张岁岐](#) [生物节水研究现状及展望](#)[期刊论文]-[中国科学基金](#) 2006(02)
2. [Sharp R E;Poroyko V;Hejlek L G](#) [Root growth maintenance during water deficits:physiology to functional genomies](#)[外文期刊] 2004(407)
3. [山仑](#) [节水农业及其生理生态基础](#) 1991(01)
4. [郭贤仕](#) [前期干旱锻炼对谷子水分利用效率的影响](#)[期刊论文]-[作物学报](#) 1994(03)
5. [黄占斌;山仑](#) [春小麦水分利用效率变化及其生理生态基础的研究](#) 1997(03)
6. [Turner N C](#) [Further progress in crop water relations](#) 1997
7. [陈晓远;罗远培](#) [开花期复水对受旱冬小麦的补偿效应研究](#)[期刊论文]-[作物学报](#) 2001(04)
8. [山仑](#) [旱地农业技术发展趋势](#)[期刊论文]-[中国农业科学](#) 2002(07)
9. [Acevedo E;Hsiao T C;Henderson D W](#) [Immediate and subsequent growth response of maize leaves in water stress](#) 1971
10. [Wenkert W;Lemon E R;Sinclair T R](#) [Leaf Elongation and Turgor Pressure in field-grown soybean](#) 1978
11. [原保忠;王静;赵松林](#) [植物补偿作用机制探讨](#) 1998(05)
12. [高俊凤](#) [植物生理学实验指导](#) 2000
13. [李合生](#) [植物生理生化实验原理和技术](#) 2000
14. [张守仁](#) [叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论](#)[期刊论文]-[植物学通报](#) 1999(04)
15. [郭贤仕](#) [谷子旱后的补偿效应研究](#)[期刊论文]-[应用生态学报](#) 1999(05)
16. [胡田田;康绍忠](#) [植物抗旱性中的补偿效应及其在农业节水中的应用](#)[期刊论文]-[生态学报](#) 2005(04)
17. [陈晓远;罗远培](#) [不同生育期复水对受旱冬小麦的补偿效应研究](#)[期刊论文]-[中国生态农业学报](#) 2002(01)

本文读者也读过(7条)

1. [李萌](#). [田霄鸿](#). [李生秀](#). [LI Meng](#). [TIAN Xiao-hong](#). [LI Sheng-xiu](#) [花期前后不同干旱过程对玉米抗旱生理反应的影响](#)[期刊论文]-[干旱地区农业研究](#)2007, 25(6)
2. [干旱对玉米生长发育的影响及防御对策](#)[期刊论文]-[现代农业科技](#)2009(21)
3. [刘永红](#). [杨勤](#). [杨文钰](#). [高强](#). [何文铸](#). [柯国华](#). [LIU Yong-Hong](#). [YANG Qin](#). [YANG Wen-Yu](#). [GAO Qiang](#). [HE Wen-Zhu](#). [KE Guo-Hua](#) [花期干湿交替对玉米干物质积累与再分配的影响](#)[期刊论文]-[作物学报](#)2006, 32(11)
4. [王磊](#). [张彤](#). [丁圣彦](#). [WANG Lei](#). [ZHANG Tong](#). [DING Sheng-Yan](#) [干旱和复水对不同倍性小麦光合生理生态的影响](#)[期刊论文]-[生态学报](#)2008, 28(4)
5. [刘瑞侠](#). [李艳辉](#). [陈绍宁](#). [于彦](#). [胡秀丽](#). [LIU Rui-xia](#). [LI Yan-hui](#). [CHEN Shao-ning](#). [YU Yan](#). [HU Xiu-li](#) [干旱高温协同胁迫对玉米幼苗抗氧化防护系统的影响](#)[期刊论文]-[河南农业大学学报](#)2008, 42(4)
6. [刘永红](#). [何文铸](#). [杨勤](#). [柯国华](#). [高强](#). [LIU Yong-hong](#). [HE Wen-zhu](#). [YANG Qin](#). [KE Guo-hua](#). [GAO Qiang](#) [花期干旱对](#)

[玉米籽粒发育的影响](#)[期刊论文]-[核农学报](#)2007, 21(2)

7. [殷宪强](#), [王国栋](#), [孙慧敏](#), [韩新宁](#) [干旱条件下锌、锰肥对玉米叶绿素含量的影响](#)[期刊论文]-[中国农学通报](#) 2004, 20(6)

引证文献(15条)

1. [杨永辉](#), [武继承](#), [李学军](#), [李宗军](#), [何方](#), [侯占领](#), [杨先明](#) [冬小麦补偿效应对保水剂用量的响应](#)[期刊论文]-[河南农业科学](#) 2013(12)
2. [张作合](#), [张忠学](#), [王立伟](#) [玉米苗期干旱拔节期复水补偿效应试验研究](#)[期刊论文]-[中国农村水利水电](#) 2014(1)
3. [林叶春](#), [曾昭海](#), [郭来春](#), [任长忠](#), [王春龙](#), [胡跃高](#) [裸燕麦不同生育时期对干旱胁迫后复水的响应](#)[期刊论文]-[麦类作物学报](#) 2012(2)
4. [周雪洁](#), [王改利](#), [梁宗锁](#), [韩蕊莲](#) [干旱胁迫及复水对甘草幼苗生理特性和甘草酸积累的影响](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#) 2011(7)
5. [黑河中游边缘绿洲不同水分条件对青贮玉米叶片光合特性及产量的影响](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#) 2009(6)
6. [曾建威](#), [吴卫](#), [邹宇婷](#) [持续干旱及复水对鱼腥草新品系W01-100生长和生理特性的影响](#)[期刊论文]-[时珍国医国药](#) 2012(6)
7. [胡国霞](#), [马莲菊](#), [陈强](#), [赵贵林](#), [褚妍](#), [任菲](#), [李雪梅](#) [植物抗氧化系统对水分胁迫及复水响应研究进展](#)[期刊论文]-[安徽农业科学](#) 2011(3)
8. [郭文琦](#), [张培通](#), [李春宏](#), [殷剑美](#), [韩晓勇](#) [蕾期土壤盐度降低后棉花生长发育的补偿效应](#)[期刊论文]-[应用生态学报](#) 2014(1)
9. [周芳](#), [刘恩世](#), [孙海彦](#), [赵平娟](#), [黎娟华](#), [彭明](#) [前期干旱锻炼对木薯根系内源激素及可溶性糖含量的影响](#)[期刊论文]-[热带作物学报](#) 2013(3)
10. [谢志玉](#), [张文辉](#), [刘新成](#) [干旱胁迫对文冠果幼苗生长和生理生化特征的影响](#)[期刊论文]-[西北植物学报](#) 2010(5)
11. [王智威](#), [牟思维](#), [闫丽丽](#), [韩清芳](#), [杨宝平](#) [水分胁迫对春播玉米苗期生长及其生理生化特性的影响](#)[期刊论文]-[西北植物学报](#) 2013(2)
12. [王荣](#), [胡海清](#) [白桦叶片对火烧的生理响应及灾后恢复研究](#)[期刊论文]-[北京林业大学学报](#) 2013(6)
13. [王丁](#), [杨雪](#), [韩鸿鹏](#), [张丽琴](#), [薛建辉](#) [干旱胁迫及复水对刺槐苗水分运输过程的影响](#)[期刊论文]-[南京林业大学学报\(自然科学版\)](#) 2015(1)
14. [李志萍](#), [张文辉](#) [NaCl胁迫对栓皮栎幼苗生长及其生理响应](#)[期刊论文]-[西北植物学报](#) 2013(8)
15. [闫江艳](#), [张永清](#), [冯晓敏](#), [李鹏](#), [王海茹](#) [干旱胁迫及复水对不同黍稷品种根系生理特性的影响](#)[期刊论文]-[西北植物学报](#) 2012(2)

引用本文格式: [卜令铎](#), [张仁和](#), [韩苗苗](#), [薛吉全](#), [常宇](#), [BU Lingduo](#), [ZHANG Renhe](#), [HAN Miaomiao](#), [XUE Jiquan](#), [CHANG Yu](#) [干旱复水激发玉米叶片补偿效应的生理机制](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#) 2009(2)