

文章编号: 1005-0906(2011)04-0084-05

不同生育期玉米干旱 - 复水补偿效应的品种差异研究

郭子锋¹, 龚道枝¹, 郝卫平¹, 梅旭荣¹, 栗雨勤², 柳斌辉²

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 2. 河北省农林科学院旱作节水农业研究所, 河北 衡水 053000)

摘要: 以抗旱性不同的两个玉米品种郑单 958 和户单 4 号为材料, 研究不同生育期干旱 - 复水对产量和水分利用效率的影响。结果表明, 各生育期干旱 - 复水后, 两个品种产量均低于对照处理, 尤以扬花期干旱 - 复水最低; 两个品种水分利用效率在扬花期干旱 - 复水最低; 郑单 958 的产量、水分利用效率均高于户单 4 号, 两者耗水量基本相等。分析两个品种株高、叶面积指数、干物质积累等在复水之后的变化表明, 各生育期干旱 - 复水后, 两个品种均存在一定的补偿效应, 且郑单 958 的补偿效应明显较强。因此, 郑单 958 在干旱 - 复水后补偿能力强, 从而保持较高的产量和水分利用效率。

关键词: 玉米; 生育期; 干旱; 复水; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Study on Compensation of Maize Varieties under Drought Stress and Re-watering in Different Growth Stages

GUO Zi-feng¹, GONG Dao-zhi¹, HAO Wei-ping¹, MEI Xu-rong¹, LI Yu-qin², LIU Bin-hui²(1. *Institute of Agricultural Environment and Sustainable Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;*2. *Dry Land Farming Institute, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Hengshui 05300, China*)

Abstract: Two maize genotypes (Zhengdan958 and Hudan4) with different drought tolerance were screened to study the effects of yield and water use efficiency (WUE) under drought stress and re-watering in different growth stages. The results showed that the yield decreased in both varieties under drought stress and re-watering in any growth stages, particularly drought stress in the flowering stage. WUE in both varieties also reached the minimum under drought stress and re-watering in the flowering stage. Among the varieties, the yield and WUE of Zhengdan958 was higher than Hudan4 in every treatment. The water consumption was basically the same. The plant height, leaf area index (LAI) and biomass of two varieties gained compensation during the recovery stage, but the compensation of Zhengdan958 was significantly stronger. Therefore, it was considered that under drought stress and re-watering Zhengdan958 had more strong compensation ability, thereby attaining a higher yield and WUE.

Key words: Maize; Growth stage; Drought; Re-watering; Yield; WUE

玉米是高秆作物, 耗水量大, 水分对产量的影响较大。前人在研究不同生育时期干旱胁迫对玉米产

量和水分利用效率(WUE)的影响方面已经做了大量工作^[1-5], 表明苗期适当干旱可提高玉米的耐旱性, 拔节期主要影响玉米的营养生长, 进而影响产量, 抽雄吐丝期是玉米的需水临界期, 干旱对产量的影响极大, 成熟期玉米需水量逐渐减少。不同时期干旱均降低玉米的耗水量, WUE 主要与玉米的产量相关^[6]。但以往试验多为盆栽, 限制玉米根的生长, 难以代表大田作物, 没有很好地揭示不同抗旱品种间的差异, 且我国华北地区水资源季节分布不均, 导致农田土

收稿日期: 2010-04-02

基金项目: 国家自然科学基金(30871447)、中央基本科研业务费项目(BSRF200901)、国际科技合作项目(2010DFB30550)

作者简介: 郭子锋(1986-), 男, 河南人, 在读硕士, 研究方向为旱地农业。E-mail: jzyyn@163.com

梅旭荣为本文通讯作者。E-mail: meixr@ieda.org.cn

壤干湿交替,有必要开展玉米旱后补偿能力方面的研究。因此,本研究在带有自动防雨棚的渗滤池中,选择抗旱性不同的玉米品种,研究不同生育时期干旱的影响,并进一步从干旱-复水之后的补偿效应中研究不同品种间的差异,为品种鉴定和灌溉决策提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与处理

供试品种为郑单 958 和户单 4 号,其中郑单 958 属于抗旱、高产、高水分利用效率品种,户单 4 号属于低抗旱、生物学产量较低、低水分利用效率品种。

试验于 2009 年 6~9 月在河北省农林科学院衡水旱作节水农业试验站进行。试验采用防雨池栽方式,防雨池面积为 6.66 m²(2 m × 3.33 m),深 3 m,土层厚度为 280 cm,底层是 20 cm 的粗砂层,四周及底部通过混凝土防渗结构与周边土体隔离,设有抽水管可将底层多余水分排出,并设有自动遮雨棚。土壤类型为潮土,0~50 cm 平均容重为 1.41 g/cm³,田间持水量为 28%。2009 年 6 月 9 日根据土壤含水率灌溉播前水,使各个池子的土壤含水量达到一致,6 月 13 日播种,密度为 90 000 株/hm²,9 月 27 日收获。

试验按 0~50 cm 土层土壤水分含量设 4 个处

理,CK 为充分供水处理(75%以上田间持水量),A 为拔节期(7 月 5 日)干旱处理,B 为扬花期(8 月 3 日)干旱处理,C 为成熟期(8 月 23 日)干旱处理,干旱处理时间为 10 d,3 次重复,干旱后恢复正常供水。

1.2 主要测定指标

1.2.1 土壤含水率

播种后至收获每 10 d 用 TDR 测量 0~160 cm 土壤体积含水率,灌水前后加测,玉米收获时用水泵抽出池底渗漏水。根据土壤含水率的变化计算耗水量。耗水量 = 灌水量 + 播前土壤储水量 - 收获后土壤储水量 - 池底渗水量。

1.2.2 干重和叶面积指数

分别在 7 月 10 日、7 月 20 日、8 月 1 日、8 月 20 日、9 月 22 日和 9 月 27 日取植株样品,称量鲜干重;选择晴朗天气,在下午 1:00~3:00 用植物冠层图像分析仪(CI-110)监测叶面积指数(LAI)。

1.2.3 产量

玉米成熟后,每小区各品种随机抽取 10 株,考种,晒干后估测产量,并根据玉米含水量折合成干重。

2 结果与分析

2.1 干旱-复水处理对玉米株高、叶面积指数的影响

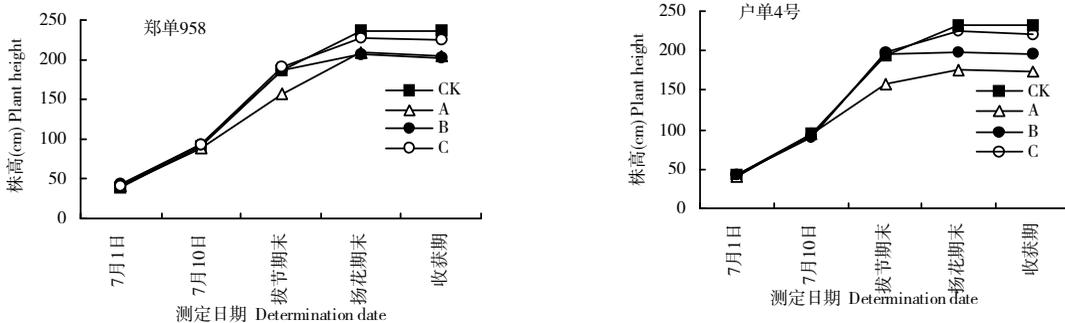


图 1 不同生育期干旱-复水处理对两个玉米品种株高的影响

Fig.1 Effects of drought stress and re-watering on plant height of two maize varieties during different growth stages

由图 1 可见,各时期干旱均降低株高,拔节期最为严重,扬花期干旱也抑制玉米的株高,成熟期则对株高的影响较小。比较两个品种之间的差异,拔节期干旱处理之后,郑单 958 的株高为对照的 84.4%,8 月 20 日恢复到对照的 88.7%,收获时为对照的 86.3%;户单 4 号在拔节期干旱处理之后为对照的 81.4%,8 月 20 日仅为对照的 74.98%,收获时为对照的 75.14%。说明郑单 958 在干旱-复水之后存在较大的补偿效应,而户单 4 号的补偿效应较差。

由图 2 可见,叶面积指数在整个生育时期呈先增大后减小的趋势,在扬花期达到最大,与 Panda P. K.^[7]等的研究结果一致。不同生育时期干旱处理后,叶面积指数比对照均有所下降,拔节期干旱处理叶面积指数降低最大,两个品种分别下降到对照的 86.8%和 88.4%,郑单 958 在 8 月 1 日、8 月 20 日和 9 月 22 日分别恢复到对照的 94.2%、97.7%和 94.6%,户单 4 号分别恢复到对照的 85.8%、88.7%和 89.9%;扬花期干旱处理也对叶面积指数造成影响,

两个品种分别是对照的 90.3%和 94.4%，9月22日分别恢复到对照的 91.3%和 89.6%；成熟期基本没

有影响。从叶面积指数的变化可以看出，干旱处理复水后郑单 958 的补偿效应较强。

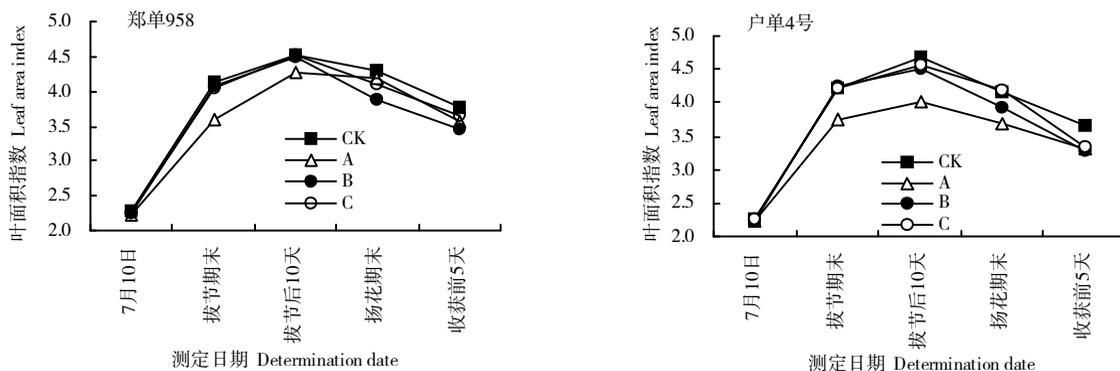


图2 不同生育期干旱-复水处理对两个玉米品种叶面积指数的影响

Fig.2 Effects of drought stress and re-watering on LAI of two maize varieties during different growth stages

方差分析表明,拔节期干旱处理之后,两个品种的叶面积指数均与对照差异显著,至8月1日,郑单 958 与对照无差异,而户单 4 号与对照仍有差异。

2.2 干旱-复水处理对玉米生物量的影响

由表 1 可见,各个生育时期干旱处理最终生物产量都低于对照,两个品种都是拔节期干旱处理最低,扬花期干旱处理次之,成熟期干旱处理与对照相差不大。比较两个品种的旱后补偿效应,拔节期干旱处理复水之后,郑单 958 的补偿效应较为明显,从旱

后占对照的 84%到 8月20日占对照的 88%,收获时下降到对照的 76%;户单 4 号的补偿效应不明显,拔节期末为对照的 75%,8月20日占对照的 74%。扬花期干旱处理后,两个品种分别占对照的 92%和 91%,收获时均为对照的 81%,说明扬花期干旱对生物产量的影响较大,旱后补偿效应差。成熟期干旱处理也对生物产量有影响,但两个品种没有差别。

表 1 不同生育期干旱-复水处理对两个玉米品种生物量的影响

Table 1 Effects of drought stress and re-watering on biomass of two maize varieties during different growth stages g/株

处理 Treatment	郑单 958 生物量 Zhengdan958 biomass				户单 4 号生物量 Hudan4 biomass			
	7月10日	8月1日	8月20日	9月27日	7月10日	8月1日	8月20日	9月27日
CK	14.91 a	79.32 a	96.78 a	121.50 a	15.64 a	73.60 a	88.38 a	109.80 a
A	15.77 a	66.52 b	84.99 c	92.80 b	16.14 a	55.36 b	65.82 c	72.95 c
B	15.37 a	82.59 a	88.72 b	98.90 b	16.24 a	73.64 a	80.07 b	89.23 b
C	15.51 a	79.99 a	95.10 a	116.70 a	15.49 a	73.39 a	90.21 a	105.83 a
A/CK	1.06	0.84	0.88	0.76	1.03	0.75	0.74	0.66
B/CK	1.03	1.04	0.92	0.81	1.04	1.00	0.91	0.81
C/CK	1.04	1.01	0.98	0.96	0.99	0.98	1.02	0.96

注:同一列不同字母表示在 0.05 水平显著差异。下表同。

Note: Different letters in the same column indicates significantly difference at the 0.05 level. The same as the following tables.

2.3 干旱-复水处理对玉米产量构成因素的影响

干旱胁迫对产量构成造成影响,各生育时期干旱胁迫主要影响百粒重和行粒数,对穗行数的影响相对较小,拔节期和扬花期干旱胁迫行粒数均降低,以扬花期干旱胁迫最为严重;百粒重在扬花期和成熟期干旱胁迫后提高,郑单 958 在扬花期干旱胁迫后百粒重提高较大,与其他几个处理相比达显著水平;穗粒数是由穗行数和行粒数决定的,各时期干旱

胁迫的穗粒数较对照均有所下降。

比较两个品种之间的差异,穗粒数、百粒重、行粒数在各处理下郑单 958 均高于户单 4 号,穗行数相差不明显。方差分析表明,扬花期干旱胁迫对郑单 958 的穗行数和行粒数影响达到显著水平,而对户单 4 号的影响没有达到显著水平,扬花期干旱胁迫在降低郑单 958 的穗行数和行粒数的同时,显著提高了郑单 958 的百粒重。

表 2 不同生育期干旱-复水处理对两个玉米品种产量构成因素的影响

Table 2 Effects of drought stress and re-watering on correlation factors on yield of two maize varieties during different growth stages

处 理 Treatment	穗粒数(粒) Kernels per ear		百粒重(g) 100-kernel weight		穗行数(行) The ear row number		行粒数(粒) Grain number per row	
	郑单 958	户丹 4 号	郑单 958	户丹 4 号	郑单 958	户丹 4 号	郑单 958	户丹 4 号
CK	798.75 a	723.95 a	27.08 b	26.58 a	14.40 a	14.13 a	55.47 a	51.20 a
A	761.29 a	698.23 a	27.21 b	24.66 b	14.13 a	14.13 a	53.87 a	49.40 a
B	680.93 b	644.31 a	29.12 a	27.33 a	13.33 b	13.87 a	51.07 b	46.47 a
C	766.08 a	701.57 a	27.53 b	26.97 a	14.13 a	14.53 a	54.20 a	48.27 a

2.4 干旱-复水处理对玉米产量、耗水量及水分利用效率的影响

由表 3 可见,两个品种不同生育期干旱胁迫下产量变化趋势一致,各生育期干旱胁迫均导致产量下降,扬花期干旱胁迫最为严重,其次是拔节期干旱胁迫,成熟期干旱胁迫影响最小;郑单 958 分别下降 13.8%、22.1%、2.6%,户单 4 号分别下降了 22.4%、29.6%、8.0%。各种处理下郑单 958 产量均高于户单 4 号,分别高出 8.5%、20.5%、20.1%、15.0%。

拔节期和扬花期干旱胁迫,两个品种的耗水量

均低于对照,郑单 958 均下降 13.7%,户单 4 号分别下降 7.9%和 10%,成熟期干旱胁迫与对照的耗水量相差不大。郑单 958 与户单 4 号的耗水量在各种处理下差异不明显。

各种处理下,两个品种都是扬花期干旱胁迫 WUE 最低,郑单 958 在成熟期干旱胁迫下 WUE 最高,户单 4 号对照 WUE 最高。方差分析表明,郑单 958 的 WUE 在各种处理下没有显著差异,而户单 4 号在拔节期、扬花期和成熟期干旱处理下与对照均有显著差异。

表 3 不同生育期干旱-复水处理对两个玉米品种产量、耗水量、水分利用效率的影响

Table 3 Effects of drought stress and re-watering on yield, water consumption and WUE of two maize varieties during different growth stages

处 理 Treatment	产量(kg/hm ²) Yield		耗水量(mm) Water consumption		水分利用效率[kg/(hm ² ·m ³)] WUE	
	郑单 958	户单 4 号	郑单 958	户单 4 号	郑单 958	户单 4 号
CK	8 790 a	8 100 a	338.7 a	316.4 a	2.59 a	2.56 a
A	7 575 bc	6 285 c	292.2 c	291.6 b	2.59 a	2.16 c
B	6 846 c	5 700 c	292.4 b	284.5 b	2.34 a	2.00 c
C	8 565 ab	7 450 b	323.5 b	316.9 a	2.64 a	2.35 b

3 结论与讨论

顾慰连等研究了不同生育时期水分胁迫对玉米产量的影响,发现扬花期水分胁迫处理的产量下降最多,其次是拔节期。白向历等的研究表明,任何生育时期的土壤干旱均会导致玉米减产,其中,抽雄吐丝期水分胁迫减产最重,拔节期水分胁迫导致植株矮化,穗位高降低,从而使产量降低,本研究结论与其相一致。

本研究发现,郑单 958 的产量、WUE 均高于户单 4 号,这与旱后郑单 958 的补偿效应有关。以往研究玉米补偿效应大多是研究苗期干旱胁迫的影响^[8,9]。赵丽英^[10]等研究了苗期干旱复水对玉米生理

生化指标的影响,发现玉米幼苗复水后根、茎、叶相对含水量均明显提高。Efeoglu B.^[11]等研究了 3 个玉米品种旱后复水生理指标的反应,发现玉米叶片相对含水量在干旱条件下均降低,复水后明显提高。陈晓远、罗远培^[12,13]研究了冬小麦旱后的补偿效应,发现不同生育时期复水对小麦的生长和产量均有不同程度的促进作用。Acevedo^[14]指出,高等植物对干旱胁迫-复水的响应方式是在胁迫解除后存在短暂的快速生长,以补偿胁迫造成的损失。郭贤仕^[15]在研究谷子旱后补偿效应中指出,同等供水水平的处理中曾经历干旱的表现出较高光合速率和叶绿素含量,谷子的旱后补偿效应表现在能高效地利用有限的水和干物质以形成种子。本研究表明,抗旱品种与不抗

旱品种在不同生育时期干旱复水后虽然均存在补偿效应,但抗旱品种的补偿效应明显较强,因此可从旱后补偿效应进行抗旱鉴定。

拔节期、扬花期正值华北地区高温天气,地表蒸发量大,这一时期干旱比对照能够减少耗水量,但对产量的影响更大,尤其扬花期是玉米的需水临界期,干旱对产量的影响更大,从而导致 WUE 降低;成熟期缺水对产量的影响较小,却能减少耗水量,提高 WUE,因此后期玉米可以进行适量的水分控制。

参考文献:

- [1] 赵聚宝,等. 中国北方旱地农田水分平衡[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [2] 白向历,孙世贤,杨国航,等. 不同生育时期水分胁迫对玉米产量及生长发育的影响[J]. 玉米科学,2009,17(2):60-63.
- [3] 顾慰连,等. 玉米不同生育时期的抗旱性[J]. 植物生理学通报,1989(3):18-21.
- [4] 梅旭荣,等. 节水农业技术[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007.
- [5] 杜长玉,庞全国,李东明. 玉米不同时期缺水胁迫对产量和生理指标的影响[J]. 玉米科学,2002,10(增刊):64-65,72.
- [6] 崔振海,马兴林,等. 苗期干旱对玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 玉米科学,2005,13(2):79-81,89.
- [7] Panda R K, Bahera S K, Ashyap P S K. Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions[J]. Agricultural Water Management, 2004, 66: 181-203.
- [8] 刘庚山,等. 夏玉米苗期有限水分胁迫拔节期复水的补偿效应[J]. 生态学杂志,2004,23(3):24-29.
- [9] 康绍忠,史文娟,胡笑涛. 调亏灌溉对于玉米生理指标及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报,1998,14(4):82-86.
- [10] 赵丽英,邓西平,山 仑. 持续干旱及复水对玉米幼苗生理生化指标的影响研究[J]. 中国生态农业学报,2004,12(3):59-61.
- [11] Efeoglu B, Ekmekci Y, Cicek N. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery[J]. South African Journal of Botany, 2009, 75: 34-42.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Aceedo 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.
- [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.

(责任编辑:姜媛媛)