

玉米苗期调亏灌溉的复水补偿效应

丁端锋, 蔡焕杰, 王 健, 张旭东

(西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 利用盆栽人工控水的方法, 在玉米苗期造成不同强度的干旱胁迫, 并在拔节期复水至充分供水和轻度胁迫, 研究不同程度的水分亏缺对苗期玉米生长发育、水分利用效率和根系活力的影响以及复水后的补偿效应。结果表明, 干旱胁迫对玉米苗期的植株生长、干物质累积和分配、气孔导度、光合速率、蒸腾速率以及根系活力产生了不同程度的影响; 拔节期复水后, 各种指标表现出不同程度的补偿生长效应。

关键词: 调亏灌溉; 水分利用效率; 玉米; 水分胁迫; 补偿效应

中图分类号: S513.074 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)03-0064-04

调亏灌溉(RDI)是国际上20世纪70年代中后期以来出现的一种新的节水灌溉技术。水分胁迫复水后的补偿生长效应是调亏灌溉研究的核心内容之一。研究水分胁迫后复水对作物生长发育和生理机制的影响, 有助于从理论上认识作物不同生育阶段水分胁迫对水分散失、光合作用及其产物分配与向经济产量转化效率影响的动态过程, 最充分地利用作物自身的生理特性, 在作物生长的某阶段有意识的对其进行胁迫处理, 使其经受适度的水分胁迫, 利用作物自身的调节和补偿机制最终达到节水增产的目的。本文利用盆栽对玉米的苗期进行了不同程度的亏水处理, 并在拔节期复水至不同的水平, 研究了苗期干旱及复水对玉米生长发育、生理特性及根系活力的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与方法

试验于2004年7月~8月在西北农林科技大学教育部旱区农业水土工程重点实验室进行。玉米品种采用陕正交9号。试验采用盆栽, 盆高23 cm, 直径21 cm。土质为中壤土, 土壤的田间持水量为23.7%(占干土重的百分数), 干容重 1.21 g/cm^3 。每盆干土重10 000~10 920 g。每盆播入经过挑选大小基本一致的饱满籽粒。3叶期视苗情长势每盆留一株。

1.2 试验处理

于3叶期开始通过控制浇水量造成强度不同的土壤干旱。苗期胁迫处理设3个水平, 一个对照;

① 对照处理(CK): 土壤含水率控制在田间持

水量的75%以上;

② 轻度胁迫(LS): 土壤含水率控制在田间持水量的65%~75%;

③ 中度胁迫(MS): 土壤含水率控制在田间持水量的55%~65%;

④ 重度胁迫(SS): 土壤含水率控制在田间持水量的45%~55%。

于拔节期将在苗期经受水分胁迫的处理分别复水至充分灌溉和轻度胁迫两种水平。

苗期经受轻度胁迫、中度胁迫、重度胁迫的处理代号分别为:A1、A2、A3, 每个处理6次重复。拔节期复水至充分供水处理的代号为:B1、B2、B3, 每个处理3次重复, 复水至轻度胁迫处理的代号为:C1、C2、C3, 每个处理3次重复。

1.3 土壤含水率控制

盆栽玉米露天放置, 降雨时置于移动式遮雨棚下, 每隔3 d用称重法测量各处理土壤含水量, 达到控制下限时利用量筒加水至灌水上限, 使之严格控制在设计含水量范围之内。

1.4 观测项目及方法

(1) 利用CID-301PS型便携式光合仪观测作物叶片的光合速率、气孔导度、蒸腾速率等, 时间是每天上午10:30;

(2) 每隔3 d测定不同处理株高、叶面积和茎粗;

(3) 复水前后用烘干法观测不同处理的地上部分和地下部分的干物质量;

(4) 利用TTC法测定不同处理的根系活力。

收稿日期: 2005-11-04

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50339030); 高等学校博士点基金(2002071 2020)资助项目的部分内容

作者简介: 丁端锋(1981—), 男, 江苏徐州人, 硕士研究生。

通讯作者: 蔡焕杰(1962—), 男, 河北藁城人, 教授, 博士。主要从事农业节水与水资源高效利用研究。

2 试验结果与分析

2.1 苗期水分胁迫对干物质累积的影响

表1 苗期玉米干物质积累

Table 1 Dry mater accumulation of maize during seedling stage

处理 Treat	根干重 平均值 Root weight (g)	冠干重 平均值 Crown weight (g)	根冠比 Root crown	总生 物量 sum (g)
CK	0.58	0.92	0.63	1.50
A1	0.59	0.745	0.79	1.33
A2	0.33	0.335	0.99	0.67
A3	0.34	0.29	1.16	0.63

干物质累积是光合的直接产物,是作物最终产量的基础,而作物产量的高低,不但取决于光合产物的生产总量,并且与其在不同器官部分间的分配有关。从表1可以看出,中度和严重水分胁迫大幅度减少了干物质的累积,干物质累积量大小顺序为:CK>A1>A2>A3。A3的干物质总量比对照减少58%,比A2减少6%,同时,水分胁迫影响干物质的分配,根冠比大小顺序为:CK<A1<A2<A3,A3的根干重比对照减少41%,比A2增加3.3%,可见水分胁迫迫使光合产物可以更多的向根部输送,提高根系的在整个植株体内的相对比重,是作物适应干旱的结果。

2.2 苗期水分胁迫对单叶片蒸腾效率的影响

表2 7月31日玉米生理指标测定结果

Table 2 Results of physiological indicator measured on July 31

处理 Treat	气孔导度 [mmol/(m ² ·s)]	光合速率 [μmol/(m ² ·s)]	蒸腾速率 [mmol/(m ² ·s)]	WUE (μmol/mmol)
CK	38.0	19.2	4.3	4.4
A1	36.0	27.2	3.6	7.6
A2	24.0	21.3	2.8	7.6
A3	10.0	16.0	1.2	13.3

表3 8月8日玉米生理指标测定结果

Table 3 Results of physiological indicator measured on August 8

处理 Treat	气孔导度 [mmol/(m ² ·s)]	光合速率 [μmol/(m ² ·s)]	蒸腾速率 [mmol/(m ² ·s)]	WUE (μmol/mmol)
CK	39.5	19.4	4.25	4.6
A1	26.0	16.6	2.6	6.4
A2	12.0	13.1	1.5	8.7
A3	8.0	10.1	1.3	7.8

作物的水分利用效率从单叶层次进行表达称之为蒸腾效率,用光合速率和蒸腾速率之比表示。表2与表3分别是7月31日和8月8日观测玉米叶片蒸腾效率计算结果,从中可以看出,光合速率的大小顺序为:A1>CK>A2>A3,7月31日,A3比对照减少16.6%,比A2减少24.8%;8月8日,A3比对照减少47.9%,比A2减少22.9%。蒸发蒸腾速率的大小顺序为CK>A1>A2>A3,7月31日,A3比对照减少72%,比A2减少57.2%;8月8日,A3比对照减少69.4%,比A2减少50%。而单叶片水分利用效率的大小顺序为:CK<A1<A2<A3。可见当受到水分胁迫时,作为光合和蒸腾共同通道的玉米叶片的气孔导度降低,然而作物水分散失对水分的依赖性大于光合对其的依赖性,提高了作物的水分利用效率。同时,表2与表3比较可以看出,至拔节期,受到重度水分胁迫处理的玉米,叶片蒸腾效率下降,说明拔节期玉米对水分胁迫更加敏感,重度胁迫可能会对叶片构成严重伤害。

2.3 复水至充分供水时蒸腾速率补偿效应

经受干旱胁迫处理的作物,由于灌水或者是降雨,较大幅度提高根系的含水量,称之为复水。表4和表5是复水至充分供水的处理分别于8月10日与8月15日两次观测的蒸腾效率计算结果表。表5结合表3可以看出,复水至充分供水后,叶片的气孔导度、光合速率、蒸腾速率均大幅提高,单叶片水分利用效率下降。8月15日气孔导度的大小顺序为:B2<B3<B1<CK。光合速率的大小顺序为:B3>B1>B2>CK,8月10日,B3比对照小9.2%,比B1小18.5%,比A3增加76%;8月15日,B3比对照增加22.1%,比B1增加6.4%,比A3增加16.6%。蒸腾速率的大小顺序为:B1<CK<B2<B3,8月10日,B3处理比对照小16.2%,比B1大12.5%,比A3增加176%;8月15日,B3比对照增加38.2%,比B1增加61.8%,比A3增加370%。单叶片水分利用效率的大小顺序为:B1>B2>CK>B3。复水前后气孔导度、光合速率、蒸腾速率、WUE的变化表明,气孔开度、光合速率、蒸腾速率等生理指标主要受到水分供给条件的决定,复水能够使它们快速的恢复甚至超过至对照的水平,而复水具有一定的激发作用。复水后蒸腾速率增加的幅度也明显大于光合速率,再一次证明了水分对蒸腾的影响大于对光合的影响。

表 4 8 月 10 玉米生理指标测定结果

Table 4 Results of physiological indicator measured on August 10

处理 Treat	气孔导度 [mmol/(m ² ·s)]	光合速率 [μ mol/(m ² ·s)]	蒸腾速率 [mmol/(m ² ·s)]	WUE (μ mol/mmol)
CK	36.5	19.4	4.3	4.5
B1	24.0	21.6	3.2	6.8
B2	25.5	16.2	3.9	4.2
B3	27.5	17.6	3.6	4.9

表 5 8 月 15 玉米生理指标测定结果

Table 5 Results of physiological indicator measured on August 15

处理 Treat	气孔导度 [mmol/(m ² ·s)]	光合速率 [μ mol/(m ² ·s)]	蒸腾速率 [mmol/(m ² ·s)]	WUE (μ mol/mmol)
CK	42.0	21.7	4.45	4.9
B1	38.0	25.0	3.80	6.6
B2	29.5	24.9	5.00	5.0
B3	36.5	26.6	6.15	4.3

2.4 复水至轻度胁迫蒸腾速率的补偿效应

由于水分的短缺,目前的灌水多强调小定额补灌,因此在不能保证复水至充分供水的情况下,复水至轻度胁迫的供水水平也是一种选择。表 6、表 7 是复水至轻度胁迫分别于 8 月 10 日与 8 月 15 日两次观测的蒸腾效率计算结果表,结合表 3、表 4 和表 5 可以看出,复水至轻度胁迫的 C2、C3 和一直轻度胁迫的 C1 光合速率、蒸腾速率以及气孔导度均小于复水至充分供水的对应处理,蒸腾效率也没有复水至充分灌溉的大,复水后一周,蒸腾效率的大小顺序为:CK>C2>C1>C3,C3 比对照小 29.6%,比 C2 小 25.4%。8 月 15 日 C1 的光合速率比 8 月 8 日 A1 光合速率大 38.5%,8 月 15 日 C1 的蒸腾速率比 8 月 8 日 A1 的蒸腾速率大 80%,说明拔节期的玉米叶片的光合、蒸腾更加旺盛,进一步说明玉米拔节期对水分要求更高。

表 6 8 月 10 玉米生理指标测定结果

Table 6 Results of physiological indicator measured on August 10

处理 Treat	气孔导度 [mmol/(m ² ·s)]	光合速率 [μ mol/(m ² ·s)]	蒸腾速率 [mmol/(m ² ·s)]	WUE (μ mol/mmol)
CK	36.5	19.4	4.0	4.9
C1	27.5	14.8	3.0	4.9
C2	23.0	13.8	2.9	4.8
C3	15.5	10.8	4.6	2.3

表 7 8 月 15 玉米生理指标测定结果

Table 7 Results of physiological indicator measured on August 15

处理 Treat	气孔导度 [mmol/(m ² ·s)]	光合速率 [μ mol/(m ² ·s)]	蒸腾速率 [mmol/(m ² ·s)]	WUE (μ mol/mmol)
CK	42.0	21.7	4.05	5.4
C1	26.0	23.0	4.7	4.9
C2	28.5	25.3	5.0	5.1
C3	27.5	19.7	5.2	3.8

2.5 复水前后根系活力对比

表 8 复水前后的还原量的变化[μ g/(g·min)]

Table 8 TTC reduction amount before and after re-water

处理 Treatment	复水前 Before re-water	复水至 CK Re-water to CK	复水至 LS Re-water to LS
CK	0.10	0.12	0.12
B1(C1)	0.11	0.10	0.13
B2(C2)	0.08	0.22	0.14
B3(C3)	0.06	0.09	0.10

水分胁迫不仅在数量上影响作物根系生长,而且对根系形态和吸收功能也有影响。从表 8 可以看出,苗期经受轻度水分胁迫的处理,根系活力最大,TTC 还原量最多,复水至充分供水的处理,根系活力大小顺序为:B2>CK>B1>B3,B3 比对照小 25%,比 B1 小 10%。复水至轻度胁迫的处理,TTC 还原量大小顺序为:C2>C1>CK>C3,C3 比对照小 16.6,比 B1 小 23.7%。而且重度与中度水分胁迫的由于较低的水分水平,降低了根系的吸收功能。复水后,中度胁迫的处理的根系吸收功能得到恢复甚至超过一直充分供水的处理,但是苗期重度胁迫的处理根系活力依然低于对照。

3 结 论

水分胁迫后复水对作物生理指标的影响是调亏灌溉研究的核心内容之一。盆栽玉米复水试验的结果表明。

1) 当苗期玉米受到干旱时,光合产物更多的分配给根部,以吸取更多的水分,而地上部分相应减小,降低作为蒸发源的叶片的大小。同时,单叶片气孔导度降低,光合速率、蒸腾速率、根系活力下降,但是,蒸腾速率下降的幅度更大,提高了玉米单叶片水平上的水分利用效率。说明水分胁迫对蒸腾的影响大于对光合的影响。

2) 干旱后复水,玉米在干物质积累、蒸腾效率、根系活力方面均表现出不同程度的补偿生长效应。

复水至轻度胁迫的各项生理指标的恢复程度低于复水至充分供水的处理。复水后蒸腾速率增加的幅度也明显大于光合速率,再一次证明了水分对蒸腾的影响大于对光合的影响。一直轻度胁迫的处理在拔节期蒸腾速率和光合速率均大于苗期,而水分利用效率下降,8月8日拔节期,受到重度水分胁迫处理的玉米,叶片蒸腾效率下降,都说明拔节期玉米叶片的光合、蒸腾更加旺盛,对水分要求更高。

3) 综合比较不同处理的各种指标,发现,玉米苗期的根系层含水量水平应保持在中度干旱以上,避免长时间的重度胁迫,以免对玉米造成严重伤害,苗期经受中度干旱的处理应复水至充分供水或轻度胁迫,苗期经受轻度胁迫的处理可以复水至充分供水或者是保持在轻度胁迫的水平。同时为了进一步研究苗期水分胁迫的后效应和复水的影响,建议以一直充分供水为对照,重点研究一直轻度胁迫、苗期轻度胁迫拔节期充分供水、苗期中度胁迫拔节期复

水至充分供水或轻度胁迫四种供水组合。

参考文献:

- [1] 蔡焕杰,康绍忠,张振华,等. 作物调亏灌溉的适宜时间与调亏程度的研究[J]. 农业工程学报,2000,16(3):24-27.
- [2] 邓西平,山 仑. 半干旱区春小麦高效利用有限灌水的研究[J]. 水土保持研究,1998,5(1):65-69.
- [3] 孙广玉,邹 琦,程炳嵩,等. 大豆光合速率和气孔导度对水分胁迫的响应[J]. 植物学报,1991,33(1):43-49.
- [4] 胡笑涛,梁宗锁,康绍忠,等. 模拟调亏灌溉对玉米根系生长及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水,1998,17(2).
- [5] 蔡焕杰,邵光成,张振华. 不同水分处理对膜下滴灌棉花生理指标及产量地影响[J]. 西北农林科技大学学报,2002,30(4):24-27.
- [6] 蔡焕杰,张振华,柴红敏. 冠层温度定量诊断覆膜作物水分状况试验研究[J]. 灌溉排水,2001,20(3):1-4.
- [7] 袁永惠,邓西平,等. 生物节水中的补偿效应与根系调控研究[J]. 中国农业科技导报,2003,(5):24-28.
- [8] 郭相平,康绍忠,等. 苗期调亏对玉米根系生长影响的试验研究[J]. 灌溉排水,2001,(3):25-27.

A study on compensative growth of maize under regulated deficit irrigation

DING Duan-feng, CAI Huan-jie, WANG Jian, ZHANG Xu-dong

(Northwestern A and F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Using the potted plant experiments, effects of regulated deficit irrigation on growth, activity, dry matter accumulation and water efficiency on maize were studied. Results indicated that water stress can influence the plant growth, dry matter accumulation, evaporation, Photo-synthesis and root activity. After re-watering, different degrees of compensative growth were expressed in every indicator.

Keywords: regulated deficit irrigation; water use efficiency; maize; water stress; Compensative growth