

玉米调亏灌溉节水调控机理研究^{*}

王密侠¹, 康绍忠^{1,2}, 蔡焕杰¹, 马祥华³

(1 西北农林科技大学 旱区农业水土工程重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2 中国农业大学 中国农业水问题研究中心, 北京 100083;

3 中国科学院 水利部 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 20012003 年对玉米进行了调亏灌溉试验研究。结果表明, 苗期重度、中重度、中度及轻度水分调亏灌溉可使玉米株高分别降低 35.7%, 29.9%, 22.7% 和 14.2%; 叶面积分别降低 43.4%, 34.7%, 31.4% 和 26.3%; 根数分别减少 40.0%, 31.2%, 18.7% 和 12.5%; 根系长度分别降低 11.0%, 10.0%, 2.0% 和 1.0%; 根系重量分别降低 32.0%, 19.0%, 5.0% 和 -1.4%; 根冠比分别增加 29.3%, 39.9%, 33.6% 和 36.5%; 根系长/株高分别增加 38.4%, 28.4%, 26.8% 和 15.4%。苗期经受不同水分调亏处理的植株, 拔节期恢复正常供水后其株高、叶面积和干物质重量的相对增长率较苗期提高 6.8%19.8%, 5.5%18.5%, 25.8%2.5%; 随调亏程度加大其补偿作用越明显。对玉米生理指标的测定结果表明, 适宜的水分调亏可增加玉米抵御干旱的能力, 提高水分利用效率, 改善作物品质。

[关键词] 玉米; 调亏灌溉; 节水机理

[中图分类号] S513.071

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2004)12-0087-04

长期以来, 人们一直注重于作物正常机能受干扰后对其所产生负面效应的研究, 调亏灌溉技术的提出使生物学领域内的节水机理研究向前迈出了实质性的一步, 同时也使人们开始注重亏水对作物所产生的正面效应^[14]。许多研究^[37]已经证明, 在长期的进化过程中, 作物产生了对水分暂时亏缺的适应性、补偿性, 从而使作物本身产生了生理节水与抗旱能力。实践表明^[49], 在作物某些生育期对其进行适当地水分亏缺调控, 对促进群体的高产更为有效。国内外学者^[46]对叶片蒸腾速率、光合速率以及气孔阻力的研究较多, 且已有明确结论, 但针对根系与生理指标的研究较少。本研究以玉米各生育期对水分调亏的反应及补偿为主要内容, 分析不同调亏水平及其复水后玉米的生态指标、生理指标、根系吸收能力的变化及其补偿效应, 探讨作物调亏灌溉的节水调控机理, 以期调亏灌溉技术的实施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

20012003 年在西北农林科技大学节水灌溉试

验站进行了玉米桶栽水分调亏试验, 试验桶的入口直径为 30 cm, 底部直径为 20 cm, 桶深 25 cm, 桶底部打 4 个小孔以供通风透气, 底部滤层厚度为 3 cm。试验所用土壤为壤土, 肥料为复合肥(总有效率 55%, 其中含氮 16%, 磷 18%, 钾 21%), 按肥土比 1 500 的比例加入土中。玉米供试品种为陕单 9 号, 06-08 播种, 09-30 收获。定苗时统一留 2 株。经测定, 土壤干容重为 1.25 g/cm³, 田间持水量为 230 g/kg, 凋萎含水量为 67 g/kg。

1.2 试验设计

对玉米苗期与拔节期进行不同水分亏缺处理。试验采用控制土壤含水率下限的方法来调节调亏水平。试验共设置 7 个处理, 5 组重复(表 1)。土壤含水量用称重法测定, 根据水分平衡原理计算玉米实际耗水量及灌水量。

1.3 测定项目与测定方法

各生育期结束时对各处理取样, 测定叶面积、株高、根长、根数、根干物质重量及冠重; 苗期结束时取倒二叶成熟部位采用小液流法测定叶水势; 用考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白质含量; 用蒽酮比色法测定可溶性糖类物质含量; 用硫代巴比妥酸反应测定

^{*} [收稿日期] 2004-06-11

[基金项目] 国家 863 重大专项“作物高效用水生理调控与非充分灌溉技术”(2002AA2Z3031); 国家 973 计划项目“根冠关系对作物水分利用效率的调控原理”(G1999011708); 国家 863 项目“作物生理节水调控与非充分灌溉技术”(2001AA242051)

[作者简介] 王密侠(1954-), 女, 陕西蒲城人, 副教授, 硕士, 主要从事旱区水资源高效利用与节水理论研究。

丙二醛(MDA)含量;用 TTC 法测定根系活力;用比色法测定游离脯氨酸含量(脯 AA);用滴定法测定超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性等生理生态指标。

表 1 玉米调亏灌溉试验设计

Table 1 Experimental design of regulated deficit irrigation in maize

处理 Treatment	苗期 Seedling		拔节期 Jointing	
	调亏水平 Deficit level	土壤含水量/ (g · kg ⁻¹) Soil moisture	调亏水平 Deficit level	土壤含水量/ (g · kg ⁻¹) Soil moisture
1	重度调亏 Serious water deficit	108.5	适宜 Appropriate	161.0
2	中重度调亏 Secondary water deficit	115.0	适宜 Appropriate	161.0
3	中度调亏 Medium water deficit	126.5	适宜 Appropriate	161.0
4	轻度调亏 Less water deficit	138.0	适宜 Appropriate	161.0
5	适宜 Appropriate	161.0	适宜 Appropriate	161.0
6	适宜 Appropriate	161.0	中重度调亏 Secondary water deficit	115.0
7	适宜 Appropriate	161.0	轻度调亏 Less water deficit	138.0

2 结果与讨论

2.1 水分调亏对玉米生长的影响

表 2 数据为 20012002 年苗期结束时桶栽试验的平均值(为便于比较全部采用相对数据)。试验结

果(表 2)表明,玉米苗期水分调亏对其营养生长有一定的抑制作用,表现为玉米的株高、叶面积、根及干物质积累均受到影响。但不同调亏程度对玉米生长的影响不同。

表 2 苗期不同调亏水平对玉米生态指标的影响(相对值)

Table 2 The effect of water deficit degree during seedling stage on ecological attributes of maize (relative value)

处理 Treatment	株高 Stem length	叶面积 Leaf area	根数 Root number	根长 Root length	干物质重量 Dry matter weight	根系重 Root weight	根冠比 Root/shoot	根长/株高 Root length/stem length
1	0.643	0.566	0.600	0.890	0.626	0.680	1.293	1.384
2	0.701	0.653	0.688	0.900	0.679	0.810	1.399	1.284
3	0.773	0.686	0.813	0.980	0.711	0.950	1.336	1.268
4	0.858	0.737	0.875	0.990	0.835	1.140	1.365	1.154
5	1	1	1	1	1	1	1	1

由表 3 可以看出,玉米拔节期中度调亏和轻度调亏同样使株高、叶面积延伸生长受到抑制。结合表 2 可以发现,拔节期调亏处理玉米受到的抑制程度小于苗期。与对照相比,拔节期中度水分调亏处

理(处理 6)的株高降低了 10.4%,叶面积降低了 23.7%;拔节期轻度水分调亏处理(处理 7)的株高降低了 6.5%,叶面积降低了 10.2%,根系、干物质等降低幅度也明显小于苗期调亏处理。

表 3 拔节期不同调亏水平对玉米生长的影响

Table 3 The effect of water deficit degree during jointing stage on maize growth

处理 Treatment	株高(相对) Stem length	叶面积 Leaf area	根长 Root length	干物质重量 Dry matter weight	根重 Root weight	根冠比 R/S ratio	根长/株高 Ratio of root length to stem length
6	0.896	0.763	0.970	0.807	0.872	1.081	1.083
7	0.935	0.898	0.990	0.926	0.943	1.018	1.059

2.2 复水后的补偿生长效应

拔节期复水后,经受苗期调亏的植株开始补偿性恢复,生长速率明显加快。从表 4 可以看出,拔节期复水后,苗期经受重度(处理 1)、中重度(处理 2)、

中度(处理 3)及轻度水分调亏处理(处理 4)的玉米植株,其株高、叶面积和干物质重量的相对增长率较苗期分别提高6.8%19.8%,5.5%18.5%和2.5%-15.8%。

表 4 苗期调亏 - 拔节期复水对玉米生长的影响

Table 4 The effect of water deficit regulation at seedling and rewating at jointing on maize growth

处理 Treat- ment	株高(相对) Stem length	叶面积 Leaf area	根长 Root length	干物质重量 Dry matter weight	根重 Root weight	根冠比 R/ S ratio	根长/ 株高 Ratio of root length to stem length
1	0.841	0.785	0.850	0.784	0.975	1.243	1.011
2	0.858	0.802	0.912	0.829	0.964	1.163	1.063
3	0.873	0.836	0.950	0.843	1.008	1.196	1.088
4	0.926	0.930	0.974	0.860	1.050	1.230	1.052
5	1	1	1	1	1	1	1

2.3 调亏对玉米生理指标的影响

由表 5 可以看出,经过亏水处理玉米叶水势均比对照低,且随着亏水处理程度的加重,叶水势也相对趋低,表明水分亏缺使气孔开度减小而蒸腾量降低;适度的水分亏缺,可以增大根系活力,但以中度调亏处理的根系活力最大,而过度水分调亏使根系活力降低。经过亏水处理的叶片,其脯氨酸含量均较对照高,在 4 种亏水处理中,重度亏水处理的游离脯氨酸含量最高,中度亏水处理次之;对玉米施加适当的水分胁迫可以提高 SOD 活性,但不适当的调

亏也可使之降低。调亏对 CAT 活性变化的影响与其对 SOD 活性的影响趋势大致相同,即随水分亏缺程度的加大,CAT 的活性呈渐增的趋势;只有对玉米施加适度的水分亏缺,才能降低其对膜的伤害,避免代谢失调;对玉米主动施加一定的水分亏缺,可溶性糖含量与对照相比均有所增加;施加一定的水分亏缺可使可溶性蛋白质含量增加,一般随着水分亏缺程度的加重,可溶性蛋白质含量增加的幅度也逐渐变大。

表 5 苗期不同调亏水平对玉米生理指标的影响

Table 4 The effect of deficit degree during seedling stage on maize physiological attributes

处理 Treat- ments	叶水势/MPa Leaf water potential	根系活力/ (u g ⁻¹ h ⁻¹) Root vigor	脯氨酸含量/ (μg g ⁻¹) Proline content	SOD 活性/ (u g ⁻¹ · min ⁻¹) SOD activity	CAT 活性/ (u g ⁻¹ · min ⁻¹) CAT activity	MDA 含量/ (μmol g ⁻¹) MDA content	糖类物质含量/ (μmol g ⁻¹) Sugar content	可溶性 蛋白质含量/ (mg g ⁻¹) Soluble protein content
1	- 0.73	4.83	23.65	103.1	192.8	1.67	7.85	6.04
2	- 0.7	5.5	21.14	107.1	198.9	1.24	7.8	5.8
3	- 0.65	6.69	23.48	113.9	193.3	1.47	7.65	5.03
4	- 0.63	5.64	18.65	108.6	188.9	1.52	7.1	5.28
5	- 0.52	5.43	16.32	105.2	187.8	1.59	5.75	5.26

4 结 论

1) 试验结果表明,玉米苗期耐旱性较强,适度干旱能促进根系发展,增大根冠比。苗期调亏时玉米株高的降低幅度要小于叶面积的降低幅度,而根冠比与根长/株高则呈规律性增加,说明玉米苗期的适度调亏可通过降低叶面积而减少植株蒸腾量。玉米根系受到的抑制较少,表明苗期经受水分调亏的玉米,其水分与营养的供给均向根系倾斜,这为作物后期的恢复生长提供了有利条件。

2) 复水后玉米根系和地上部分的生长速度加快,根系活力和光合速率提高,随调亏程度加大其补

偿作用越明显。这说明玉米对干旱有一定的适应性,其可以在一段时间内通过自身生理及生化调节,逐步适应干旱环境,维持正常生长。

3) 对玉米生理指标的测定结果表明,调亏使叶水势下降,气孔开度减小,蒸腾量降低,从而达到节水的目的;适度的水分亏缺可以增加根系活力,有利根系的生长;还可以提高脯氨酸含量,增强作物渗透调节能力,最大程度地减少作物所受的伤害;适当的水分胁迫可以提高 SOD 活性、CAT 活性与 MDA 含量,减小膜伤害,提高玉米抵御干旱的能力,增加可溶性糖类物质含量,改善作物的品质。

[参考文献]

[1] 康绍忠,蔡焕杰.作物根系分区交替灌溉和调亏灌溉的理论与实践[M].北京:中国农业出版社,2002.
[2] 史文娟,胡笑涛,康绍忠.干旱缺水条件下作物调亏灌溉技术研究状况与展望[J].干旱地区农业研究,1998,(2):84-88.

- [3] 王密侠,康绍忠,袁君健,等. 关于调亏灌溉的讨论[A]. 中国农业工程学会农业水土工程委员会. 农业高效用水与水土环境保护[C]. 西安:陕西科学技术出版社,2000. 280 - 283.
- [4] 康绍忠,史文娟,胡笑涛,等. 调亏灌溉对玉米生理指标及水分生产效率的影响[J]. 农业工程学报,1998,14(2):82 - 87.
- [5] 胡笑涛,梁宗锁,康绍忠. 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):11 - 15.
- [6] 孟兆江,刘安能,庞鸿宾,等. 夏玉米调亏灌溉的生理机制与指标研究[J]. 农业工程学报,1998,14(4):88 - 92.
- [7] 王密侠,康绍忠,蔡焕杰,等. 山西霍泉灌区玉米调亏灌溉研究[A]. 中国农业工程学会农业水土工程委员会. 农业高效用水与水土环境保护[C]. 西安:陕西科学技术出版社,2000. 290 - 294.
- [8] 王密侠,康绍忠,蔡焕杰,等. 调亏对玉米生态特性及产量的影响[J]. 西北农业大学学报,2000,28(1):31 - 36.
- [9] 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.

Study on the mechanism of saving water of regulated deficit irrigation in maize

WANG Mi-xia¹, KANG Shao-zhong^{1,2}, CAI Huan-jie¹, MA Xiang-hua³

(1 Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Center for Agriculture Water Research in China, China Agriculture University, Beijing 100083, China;

3 Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract : In this paper, the data of maize experiment on regulated deficit irrigation were analyzed and the following results were achieved. The serious water deficit, secondary water deficit, medium water deficit and less water deficit during seedling stage reduced the stem length by 35.7%, 29.9%, 22.7%, 14.2%, the leaf area by 43.4%, 34.7%, 31.4%, 26.3%, the root number by 40.0%, 31.2%, 18.7%, 12.5%, root length by 11.0%, 10.0%, 2.0%, 1.0%, the root weight by 32.0%, 19.0%, 5.0%, - 1.4%, respectively, and increased the root/shoot ratio by 29.3%, 39.9%, 33.6%, 36.5%, the ratio of root length/stem length by 38.4%, 28.4%, 26.8%, 15.4%, respectively. Compared with those during seedling, water deficit at seedling stage and rewetting at jointing stage increased relatively the stem length by 6.8% - 19.8%, leaf areas by 5.5% - 18.5%, dry matter weight by 25.8% - 2.5%, suggesting that compensatory growth occurred after rewetting. With the enhancement of water deficit, the compensatory effect became more obvious. Moreover, physiological attributes showed some water deficit could enhance the drought resistance of maize and water use efficiency, and improve seed quality as well.

Key words : maize; regulated deficit irrigation; water-saving mechanism