

[文章编号] 1000-2782(2000)01-0031-06

# 调亏对玉米生态特性及产量的影响

王密侠, 康绍忠, 蔡焕杰, 熊运章

(西北农业大学农业水土工程研究所, 陕西杨陵 712100)

**[摘要]** 简要介绍玉米不同生育期实行不同调亏等级时对其生态特性及产量的影响。结果表明, 玉米苗期及拔节期经受适度水分调亏可促使水分和营养供给向根系倾斜, 增强了植株后期的调节和补偿能力, 节水效益显著且对产量影响不大。与充分供水处理相比, 苗期重度调亏、中度调亏、轻度调亏处理的根冠比分别增大了 11.3%、23.14% 和 6.36%; 分别节水 14%、11% 和 7%; 产量则分别相差 5%、5% 和 3%。拔节期重度调亏、中度调亏、中轻度调亏及轻度调亏根冠比分别增大了 6.25%、24.2%、40.29% 及 43.00%; 分别节水 12%、6%、4% 及 3%; 产量则分别相差 18%、9%、3% 及 1%。玉米苗期调亏下限以 50% 田间持水量为宜, 拔节期以中轻度亏水为宜 (60% 田间持水量), 低于 50% 田间持水量的调亏下限则减产幅度大于节水幅度。抽雄期以后不宜进行调亏。

**[关键词]** 玉米; 调亏等级; 生态特性

**[中图分类号]** S274.1; S513.071 **[文献标识码]** A

调亏灌溉涉及到如何有效地对作物生长发育规律进行研究, 最充分的利用作物自身的生理生化特性, 以便在作物生长的某阶段有意识的对其进行亏水处理, 使其经受过度的水分胁迫, 利用作物自身的调节和补偿功能最终达到节水增产、节水不减产、或减产很少的目的<sup>[1]</sup>。作物是否缺水、缺水到什么程度? 缺水对作物生长发育乃至产量的影响到底如何? 对某一特定作物何时调亏、何种调亏水平对作物生长发育比较有利? 这是目前调亏灌溉研究中首先应该解决的问题。笔者于 1995~1997 年在西北农业大学灌溉试验站进行了玉米调亏灌溉试验, 以玉米整个生育期内对水分调亏的反应及补偿为主要研究内容, 重点放在不同生育期、不同调亏水平对玉米根系发育、植株生长、叶面积及产量影响的研究上。以产量及水分利用效益作为基本依据, 提出作物适宜调亏时期和调亏水平。

## 1 试验环境与试验设置

### 1.1 试验站自然状况

西北农业大学灌溉试验站位于渭河北岸头道塬上 (北纬 34°18', 东经 108°40', 海拔高程 521 m), 属宝鸡峡塬上灌区, 多年平均气温 12.5°C, 年均降水量 632 mm, 年均蒸发量 1500 mm。夏玉米全生育期平均降水量为 350 mm 左右。试验站内设有气象观测站, 按照国家气象局的《地面气象观测规范》进行气温、湿度、降水、日照、水面蒸发、风速、气压和地

**[收稿日期]** 1999-07-14

**[基金项目]** 国家九五科技攻关资助项目 (96-006-02-2-3); 高校博士点基金资助项目 (干旱缺水条件下作物调亏灌溉机理与指标的研究)

**[作者简介]** 王密侠 (1954-), 女, 副研究员, 硕士

## 温的测量

### 1.2 试验材料和方法

调亏灌溉试验采用筒测法。试验站内配有移动式遮雨棚和磅秤,测筒为园形,装设内外筒,内筒直径 33 cm,深度 95 cm,其底部开有小孔,并有一集水盆放在底部小孔下方以聚集下渗的水量。内筒底部铺有 10 cm 厚的砂过滤层,以调节下层土壤通气状况和水分条件。外筒底部与外部土壤绝缘,无上下层土壤水分交换,由于内筒底部开孔并设有过滤层,不会产生筒底滞水。为了减少筒壁的热效应,内外筒之间设有橡皮圈。10~80 cm 为分层(10 cm)压实的垆土,土壤干体积质量(容重)为  $1.30 \text{ g/cm}^3$ ,田间持水量为  $230 \text{ g/kg}$ ,凋萎含水量为  $67 \text{ g/kg}$ ,各处理肥力水平均为中等。供试品种为陕单 9 号。

对玉米苗期-拔节期、拔节期-抽雄期及抽雄-成熟均作了不同水平的调亏处理(其中苗期-拔节期、抽雄-成熟分轻度、中度及重度亏水 3 个处理,拔节期-抽雄期分轻度、中轻度、中度及重度亏水 4 个处理)。试验共设 11 个处理,3 次重复。试验设计以土壤含水量下限控制,其中苗期-拔节期、抽雄-成熟期重度亏水处理土壤含水率下限为 40% 田间持水量,中度亏水处理土壤含水率下限为 50% 田间持水量,轻度亏水处理土壤含水率下限为 60% 田间持水量;拔节期-抽雄期重度亏水处理土壤含水率下限为 40% 田间持水量,中度亏水处理土壤含水率下限为 50% 田间持水量,中轻度亏水处理土壤含水率下限为 60% 田间持水量,轻度亏水处理土壤含水率下限为 70% 田间持水量,除充分供水处理上限为田间持水量外,其余均为下限加 10% 田间持水量。播前灌水至田间持水量水平,以保证全苗壮苗。

试验采用控制土壤水分的方法来调节调亏水平,每隔 5 d 称质量(关键期加测),用以计算玉米供水量及实际耗水量。由于测筒下部已与外界土壤隔绝,无上下水分交换,又有活动遮雨棚遮盖自然降水,故可以不必考虑地下水及降水对作物的供水补给,土壤可供水即为作物实际可供水。为了观察玉米对不同生育期、不同调亏水平的反应和补偿功能,分别于每一生育期结束时取样,测定株高、叶面积、干物质质量及根系长度、根系干质量。拔节期结束时对苗期调亏处理进行取样加测。收获后对所有处理均进行取样测定并进行考种。

## 2 结果与分析

### 2.1 苗期不同调亏水平对玉米生态特性的影响

由表 1 可见,玉米苗期调亏可抑制其株高生长、叶片扩展。对玉米根系的伸长及其干物质积累也有一定的影响。从试验结果看,苗期调亏对株高的抑制幅度最高达 36%,对叶面积的抑制幅度达 59.7%。玉米苗期经受适度的水分调亏可以促使根系生长,增大根冠比,如苗期重度调亏、中度调亏和轻度调亏与对照相比,根冠比分别增大了 11.5%, 23.14% 及 6.36%;根系长度与相应株高的比值分别增大了 52.24%, 55.15% 及 37.82%。但根系发育的绝对长度及根系发育总量则是供水水平高的大于供水水平低的处理。

表 1 苗期不同调亏水平对玉米生态特性的影响

| 处理 | 株高 / cm | 叶片数 | 叶面积 / (cm <sup>2</sup> ·株 <sup>-1</sup> ) | 根系长度 / cm | 干物质质量 / (g·株 <sup>-1</sup> ) | 根系干质量 / (g·株 <sup>-1</sup> ) | 根冠比      | 根系长 / 植株高 |
|----|---------|-----|---|-----------|------------------------------|------------------------------|----------|-----------|
| 1  | 52      | 6   | 1 229. 2                                  | 90        | 18. 75                       | 7. 70                        | 0. 410 0 | 1. 731    |
| 2  | 55      | 6   | 1 315. 6                                  | 97        | 20. 23                       | 9. 16                        | 0. 452 8 | 1. 764    |
| 3  | 67      | 7   | 1 789. 2                                  | 105       | 29. 28                       | 11. 45                       | 0. 391 1 | 1. 567    |
| CK | 95      | 8   | 3 052. 7                                  | 108       | 38. 29                       | 14. 08                       | 0. 367 7 | 1. 137    |

注: 表中数据为苗期-拔节期结束时的取样实测值。处理 1, 2, 3, CK 分别为苗期重度调亏、中度调亏、轻度调亏及对照。

通过对不同处理的根系进行观察发现,苗期调亏还可通过增加植株根系的单根粗度来进行调节补偿。经受调亏处理的根系单根粗度大于充分供水的处理,同时由于其呼吸条件优于充分供水处理,所以其根系颜色比充分供水处理的白,根冠比及根系长度与相应株高的比值也高于丰水处理,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,根系生长基本没有受到抑制,为作物后期恢复生长提供了有利条件。苗期调亏后恢复充分供水的玉米,其株高及叶面积在后期基本上等同于一直充分供水的植株(图 1),说明了苗期调亏可增加玉米抵御干旱的能力,为加强后期调节和补偿能力创造了条件。综合考虑认为,苗期调亏以中度最佳,重度次之。

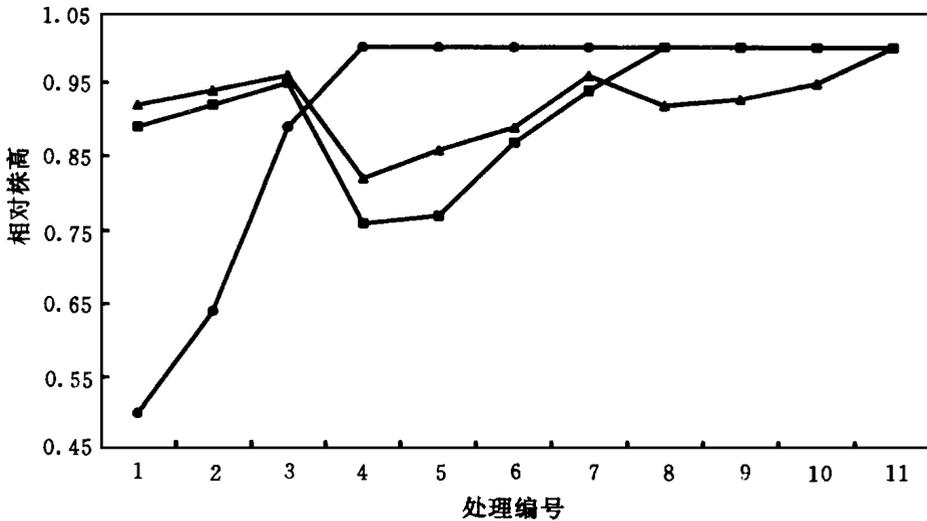


图 1 不同调亏水平对玉米后效的影响

—□— 拔节-抽雄期; ● - 出苗-拔节; -▲- 抽雄-成熟

### 2.2 拔节期不同调亏水平对玉米生态特性的影响

由表 2 可见,拔节期-抽雄期调亏同样可抑制玉米株高生长、叶片扩展。同时,也影响到玉米根系的伸长及其干物质积累。拔节期-抽雄期调亏对株高抑制幅度达 35.6%,对叶面积的抑制幅度达 31.5%。拔节期干旱对玉米株高及叶面积的抑制作用小于苗期。从根系发育情况来看,拔节期水分调亏同样可以促使根系生长,增大根冠比。与对照相比,拔节期重度调亏、中度调亏、中轻度调亏及轻度调亏根冠比分别增大了 6.25%, 24.2%, 40.2% 及 43.00%; 根系长度与相应株高比值分别增大了 1.18%, 47.54%, 6.35% 及

4. 38%。拔节期调亏后恢复充分供水的玉米,其株高及叶面积在后期小于一直充分供水的植株(图 1)。说明了拔节期调亏虽然也可增加玉米抵御干旱的能力,但此阶段调亏后玉米后期调节和补偿能力减弱,因此,拔节期调亏应以中轻度亏水为宜。另外,从试验结果来看,抽雄期以后的水分调亏对玉米植株增高、叶片扩展及根系的生长影响要小于苗期和拔节期。

表 2 拔节期不同调亏水平对玉米生态特性的影响

| 处理 | 株高 /cm | 叶片数 | 叶面积 /<br>( $\text{cm}^2 \cdot \text{株}^{-1}$ ) | 根系<br>长度 /<br>cm | 干物质<br>质量 /<br>( $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$ ) | 根系<br>干质量 /<br>( $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$ ) | 根冠比    | 根系长 /<br>植株高 |
|----|--------|-----|--|------------------|---|---|--------|--------------|
| 4  | 96     | 13  | 4 281.6  | 88               | 51.75   | 19.44   | 0.3757 | 0.9167       |
| 5  | 98     | 13  | 4 421.9  | 131              | 56.97   | 18.30   | 0.3212 | 1.3367       |
| 6  | 110    | 13  | 5 098.9  | 106              | 70.03   | 29.70   | 0.4241 | 0.9636       |
| 7  | 129    | 13  | 5 187.2  | 122              | 78.25   | 33.83   | 0.4323 | 0.9457       |
| CK | 149    | 13  | 6 249.0  | 135              | 98.44   | 29.76   | 0.3023 | 0.9060       |

注:表中数据为拔节期-抽雄期结束时的取样实测值。处理 4,5,6,7及 CK分别为拔节期重度调亏、中度调亏、轻度调亏、轻度调亏及对照。

### 2.3 玉米不同时期 不同调亏水平的产量效应及耗水量

从表 3可知,玉米苗期调亏节水效益显著且对产量影响不大,如苗期经受 40%田间持水量调亏水平的处理其相对产量为 0.95,而其耗水量为充分供水处理的 86%,经受 50%田间持水量调亏水平的处理其相对产量与处理 1持平,而其耗水量为充分供水处理的 89%,同样的产量水平下,处理 1比处理 2节水 3%,与对照相比,产量降低 3%而耗水量下降 14%。处理 3与对照相比,其产量下降 3%,而其耗水量下降 7%。比较其调亏下限节水的效益,依次为 40%,50%,60%田间持水量。与苗期调亏不同,拔节期不适宜的调亏水平可使玉米产量大幅度降低。与充分供水比较,当拔节期调亏下限为 30%田间持水量时,其产量降低了 18%,节水 12%;施行 40%田间持水量调亏水平时,其产量降低 9%,节水 6%;当调亏下限为 50%田间持水量时,产量降低 3%,节水 4%;当调亏下限为 60%田间持水量时,产量降低 1%,节水 3%。因此,拔节期最优调亏下限是 60%田间持水量,其次是 50%田间持水量,低于 50%田间持水量调亏下限则减产幅度大于节水幅度。抽雄期以后的调亏处理则基本上都是节水幅度小于增产幅度。

表 3 收获期不同处理的玉米生态特性、相对产量和相对耗水量

| 处理 | 株高 /cm | 干物质质量 /g | 根系质量 /g | 根冠比   | 相对产量 | 相对耗水量 |
|----|--------|----------|---------|-------|------|-------|
| 1  | 117.5  | 102.4    | 18.5    | 0.181 | 0.95 | 0.86  |
| 2  | 122.3  | 103.7    | 19.9    | 0.192 | 0.95 | 0.89  |
| 3  | 126.0  | 107.8    | 22.8    | 0.212 | 0.97 | 0.93  |
| 4  | 115.0  | 100.1    | 23.9    | 0.239 | 0.82 | 0.88  |
| 5  | 117.2  | 108.7    | 21.6    | 0.199 | 0.91 | 0.94  |
| 6  | 116.8  | 119.1    | 23.9    | 0.201 | 0.97 | 0.96  |
| 7  | 120.1  | 123.5    | 28.3    | 0.229 | 0.99 | 0.97  |
| 8  | 121.4  | 131.2    | 26.0    | 0.198 | 0.94 | 0.98  |
| 9  | 127.3  | 117.2    | 25.5    | 0.218 | 0.82 | 0.97  |
| 10 | 119.3  | 126.5    | 28.6    | 0.226 | 0.91 | 0.98  |
| CK | 122.5  | 123.8    | 27.5    | 0.222 | 1.00 | 1.00  |

注:表中数据为收获时的取样实测值。处理 8,9,10,CK分别为抽雄-成熟期重度调亏、中度调亏、轻度调亏及对照。

## 2.4 不同调亏水平对玉米生长后效影响分析

从图 1 及表 3 可见, 苗期经受调亏处理恢复充分供水后株高及叶面积在后期基本上等同于一直充分供水的植株, 且对产量影响不大, 说明了苗期调亏可增加玉米抵御干旱的能力, 为加强后期调节和补偿能力创造了条件。拔节期经受调亏处理恢复充分供水后其株高及叶面积在后期却一直低于充分供水的植株, 其产量降低幅度也比苗期调亏处理的要大, 尤其是拔节期重度调亏和中度调亏其减产幅度达到 18% 和 9%。说明了此阶段调亏后玉米后期调节和补偿能力减弱, 因此, 拔节期调亏应以中轻度亏水为宜。抽雄期以后玉米由营养生长向生殖生长过渡, 叶面积系数及蒸腾均达到其一生中的最高值, 为玉米需水临界值, 该期水分调亏虽然对玉米植株增高、叶片扩展及根系的生长影响小于苗期和拔节期, 但对产量的影响却较大, 且各处理都是节水幅度小于增产幅度, 说明抽雄期以后不宜进行调亏。

## 3 结 论

1) 玉米苗期调亏可降低株高及叶面积, 但由于作物生长的补偿作用, 调亏结束复水后可增加其生长速度, 使其基本等同于一直充分供水的植株。苗期调亏虽然不能增加根系绝对长度和绝对质量, 但可提高作物的根冠比及根系相对粗度, 增加根系活力, 促使根系向下生长, 增强抗旱性, 增加植株抵御水分亏缺的能力, 利于作物后期吸收更多的水分和养分, 达到节水增产增益的目的。从产量和水分利用效益综合分析, 玉米苗期调亏下限以 50% 及 60% 田间持水量为宜。

2) 玉米拔节期气温渐高, 叶面积增大, 耗水量增加, 对水分亏缺的敏感性也相应增加, 对水分调亏的反应及补偿能力却不如苗期, 拔节期施行中轻度调亏处理可达到节水效益显著而减产很少、或基本不减产的目的。此时以中轻度亏水为宜 (60% 田间持水量), 低于此限将达不到节水目的。

3) 调亏灌溉为主动型节水方法。它有别于传统意义上的节水灌溉。作为一种新型灌溉方法, 许多问题有待于深入研究, 如适宜调亏指标 (调亏时间、调亏程度) 的确定, 调亏条件下作物的生理代谢和补偿功能的作用研究, 以及调亏技术与农业技术、灌溉技术的配合研究等都属于起步研究<sup>[2~4]</sup>, 这些问题的最终解决必然依赖于大量的田间试验资料的分析研究。本试验是在控制条件下所做, 所得结果表明玉米苗期及拔节期施行适度调亏处理可达到节水效益显著而减产很少的目的。本研究所得初步结论尚有待于通过生产实践的检验。

### [参考文献]

- [1] 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, 16 (2): 84~ 88.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.

# The effect of regulated deficit irrigation on ecological characteristics and yield of corn

WANG Mi-xia, KANG Shao-zhong, CAI Huan-jie, XIONG Yun-zhang

*(Institute of Agricultural Soil-Water Engineering, Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi 712100, China)*

**Abstract** The effects of different levels of Regulated Deficit Irrigation (RDI) in different growth stages of corn on its ecological characteristics and yield were studied. The mild water deficit in seedling and elongation stages of corn could stimulate more water and nutrition moving to root system, which could strengthen the ability of regulation and compensation in the late part of growing season and has obvious profit and small bad effect on yield. Compared with the full water supply, the root top ratio treated with severe RDI, middle RDI and light RDI in seedling stage increased 11.5%, 23.14% and 6.36%, saved 14%, 11% and 7% of water use, reduced 5%, 5% and 3% of crop yield, respectively. In severe RDI, middle RDI, light and moderate RDI and light RDI in elongation stage, 6.25%, 24.2%, 40.29% and 43.00% of the ratio of root top ratio increased, 12%, 6%, 4% and 3% of water use saved, and 18%, 9%, 3% and 1% of crop yield reduced, respectively. The low limit of RDI in seedling stage of corn should be 50% of field capacity. In elongation stage, light and moderate RDI (60% of field capacity) was appropriate. If the water content was lower than 50% of field capacity in elongation stage, the degree of yield reduction was greater than that of water saving. It was unsuitable to apply RDI after elongation stage.

**Key words** corn; regulated deficit irrigation level; ecological characteristics