

调亏灌溉对于玉米生理指标及水分利用效率的影响*

康绍忠 史文娟 胡笑涛

(西北农业大学农业水土工程研究所)

梁银丽

(中国科学院, 水利部水土保持研究所)

摘要 依据在渭北黄土高原区的大田玉米调亏灌溉试验资料, 分析了不同亏水处理对光合速率、气孔导度、蒸腾速率、根冠比、产量与耗水量以及水分利用效率等因素的影响, 从亏水处理引起的气孔反应能提高光合与蒸腾之比, 揭示了调亏灌溉的节水增产机理。最后, 从既提高产量又提高水分利用效率的双重目的出发, 得到了苗期土壤含水率为 50% ~ 60% 田间持水量、拔节期土壤含水率为 60% ~ 70% 田间持水量是最佳的调亏灌溉方案。

关键词 调亏灌溉 光合速率 根冠比 水分利用效率

调亏灌溉 (Regulated Deficit Irrigation, RD I) 作为一种新的节水技术, 自从 70 年代中期提出以后就主要应用于果树的栽培管理中, 且成效显著, 但在粮食作物上应用甚少。而近来的研究表明, 植物在经受适度干旱后普遍存在着补偿效应, 在其它条件不改变的情况下, 作物在节约大量用水的同时, 可以提高产量或保持不减产^[1-5]。基于这一点, 我们于 1997 年对玉米的调亏灌溉技术进行了试验研究, 探索其节水增产的机理和效果, 并确定适宜的亏水度和亏水阶段。

1 试验材料与方法

1.1 试验概况

试验地设于陕西省长武县王东沟中科院生态试验站。其小区面积为 3 m × 2 m, 小区之间设有混凝土隔水墙, 以防止不同处理的小区之间的水分侧向输导, 试验场地设有防雨棚, 可以人为控制其灌水定额。

供试作物为春玉米 (丹玉 13), 土质为黑垆土, 田间持水量 (θ) 为 0.27, 播种前经过灌水、施肥、拌土、回填等处理, 使各小区水分和养分状况相近。4 月 20 日播种, 行距为 50 cm, 每小区共播 4 行, 5 月 2 日苗出齐 (以出现两叶为基准), 5 月 9 日间苗, 5 月 16 日定苗并开始处理, 按每亩 ($1/15 \text{ hm}^2$) 4000 株, 每区留有 36 株, 9 月 2 日收获。

1.2 调亏处理

主要在苗期和拔节期进行。苗期计划湿润层 (45 cm) 内的平均土壤含水率范围为: 丰水

收稿日期: 1997-12-07

* 国家“九五”重点科技攻关项目 (96-006-02-2-03) 和自然科学基金资助项目 (59679025)

康绍忠, 教授, 陕西杨凌 西北农业大学农业水土工程研究所, 712100

处理(60% ~ 80%)的田间持水量(θ), 中轻度亏水处理(50% ~ 60%) θ , 重度亏水处理(40% ~ 50%) θ ; 拔节期计划湿润层(60 cm)的土壤含水率范围为: 丰水处理(70% ~ 90%) θ , 中轻度亏水处理(60% ~ 70%) θ , 重度亏水处理(50% ~ 60%) θ , 组合为 9 种处理, 每种处理设 2 个重复。

调亏结束后, 其余阶段均恢复正常的丰水处理。

1.3 观测指标

1) 当处理开始后, 每隔一周用中子仪测 1m 深土壤含水量, 每隔 5d 用时段反射仪(TDR)测计划湿润层土壤含水量, 以确定灌水量和灌水时间。

2) 当玉米长至 5 叶期, 每隔 3d 并选其晴天用 CD-301PS 便携式光合作用测定系统于每天 10:30 和 15:30 测其叶片光合速率、蒸腾速率、气孔阻力等指标, 并每隔一周测定一次日变化。

3) 收获时, 每小区取 6 株玉米地上部分和根系, 在根系洗净后和其茎秆一起在 70℃ 烘至重量不变时, 测其各自的干重, 玉米籽粒在晒至重量无变化时测其产量。

4) 用水量平衡方程计算各时段的作物耗水量。

2 试验结果及分析

2.1 调亏灌溉对玉米光合速率的影响

2.1.1 拔节期重度亏水, 苗期分别为丰水、中轻度亏水、重度亏水时的光合速率变化情况

图 1(由各日 10:30 时的测定值绘制)表明: 在拔节期, 苗期重度亏水处理其光合速率大于苗期中轻度处理和丰水处理的, 且随着苗期水分供应量的增加, 光合速率减小。

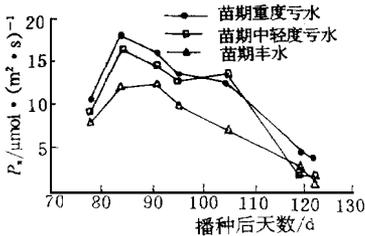


图 1 拔节期重度亏水处理的光合速率(P_n)变化
Fig. 1 Rate of photosynthesis during the severe water stress in jointing stage

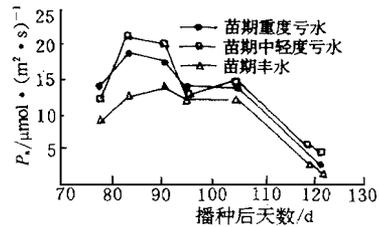


图 2 拔节期中轻度亏水处理光合速率(P_n)变化
Fig. 2 Rate of photosynthesis during the moderate water stress in jointing stage

此种情况说明: 苗期供水量的适当减少有助于作物后期有机物质的合成。此外, 还可以看出, 拔节期亏水处理结束(7月18日, 即播后 88d)后, 不同处理的光合速率差异减小, 即苗期中度亏水的处理和苗期丰水的处理其光合速率在复水后均有所恢复, 但仍低于苗期重度亏水处理, 说明不同生育阶段调亏方式的不适宜是复水后光合速率下降的主要原因。

2.1.2 拔节期中轻度亏水, 苗期分别为丰水、中轻度亏水、重度亏水时的光合速率变化情况

图 2 表明: 尽管苗期的处理和图 1 的处理相同, 但因拔节期的水分处理不同, 其光合速率的变化亦有所不同, 说明前后期的不同亏水处理是相互影响的, 二者共同制约着光合速率的变化。另外, 可以看出苗期分别受到中轻度胁迫甚至重度胁迫的处理, 其光合速率在抽雄前后足够长时间内始终保持峰值水平, 且在播后 100d(灌水后 2d)前后其光合速率的恢复情

况也较为理想,说明拔节期中轻度亏水,苗期一定程度甚至比较严重的亏水处理可以延长植株在抽雄前后的光合功能期。而我们知道,这一时期的光合又是决定最终收获产量的关键因素。因而这两种调亏处理方式可能对提高产量有利。同时,苗期丰水处理,其光合速率在整个拔节期以后都明显低于前二者,这与图 1 情况一致,从而更进一步说明:当拔节期也进行调亏处理时,苗期的充分供水不宜于后期的生长。此外,对比图 1、图 2 还可以发现,苗期给予丰水的两个处理其光合峰值出现时间都延迟于各自的对照处理,这就从一个侧面说明:苗期的适度亏水处理可以缩短作物的生育期,最终促进籽粒的早熟。

2.1.3 拔节期丰水处理,苗期分别为丰水、中轻度亏水、重度亏水处理其光合速率变化情况

从图 3 可看出,当拔节期不进行亏水处理时,光合速率的变化随苗期水分亏缺程度的加重而依次降低,只是在灌浆蜡熟时期苗期重度亏水处理的光合速率才有所回升,并且大于丰水处理的和中轻度亏水处理,这可能是因渗透调节发挥了一定作用的缘故。

2.2 调亏灌溉对玉米气孔阻力、光合、蒸腾及光合效率的影响

从图 4 气孔阻力(R_s)的变化情况可以看出:在调亏期,受到亏水处理的其气孔阻力都大于对照区,随着水分亏缺程度加重,气孔阻力逐渐增大,而且无论是在干旱或湿润条件下,气孔阻力在上午都较低,中午或午后逐渐上升。但同时也能看到,在调亏结束后 3 天,即 7 月 21 日,各处理的情况变得比较复杂,气孔阻力不再按原来的水分处理趋势变化。这时,苗期和拔节期一直经受中轻度亏水的处理其气孔阻力比对照区还要低,而一直进行着重度亏水的处理,在光合速率最高时的点上其气孔阻力也小于对照区。与此同时光合速率(P_n)与蒸腾速率(T_r)则呈相反的变化趋势,这种生理指标的变化趋势显然对玉米调亏处理后的恢复生长是很有利的^[7]。尽管在光合增加的同时,蒸腾也明显加剧,但从其变化幅度可以看出,二者并非以相同的比例增减,而且在亏水过程中,蒸腾作用超前于光合下降,即调亏期间蒸腾效率(P_n/T_r)提高了^[6]。这与以前的文献结论一致^[2,3]。可见,对于玉米来说,调亏灌溉后的补偿生长效应的确是存在的,因而在节水的同时使产量增加或不降低也是极有可能的。

2.3 调亏灌溉对玉米根系生长发育、根冠比的影响

从表 1 可看出:单株根量除了处理 5 和 6 比对照大之外,其余处理的根量都小于对照,即水分的亏缺抑制了根系的生长,这与在果树上施用调亏处理时其结论一致^[8]。通过 $F_{0.01}$ 检验,结果表明处理 5 绝对根量大于对照且呈显著性差异,很可能是由于一直受到缓慢且适度的水分胁迫,再加上根部比地上部有着更有效的渗透调节作用,以致轻度的胁迫抑制地上部分生长超过抑制光合,造成过量的碳水化合物用于根系的生长,使根的绝对重量增加^[9]。

处理 6 的绝对根重大于对照,可能与后期根的补偿生长有关。地上干物质的测定结果表明:受到亏水的各处理其干物质无一例外地都小于对照。可见,水分亏缺对作物的营养生长有一定的抑制作用。根冠比除了处理 4 比对照小之外,其余的都大于对照,尤其以处理 5 和

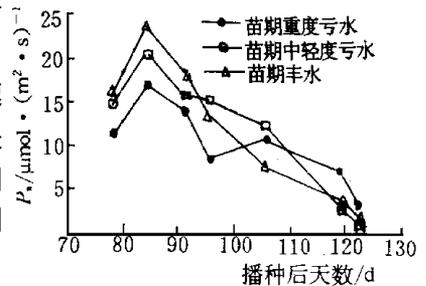


图 3 拔节期丰水处理的
光合速率(P_n)变化

Fig 3 Rate of photosynthesis during the well-watering in jointing stage

6 最为显著。可见, 调亏处理时, 地上部的生长比根系的生长减小更多, 致使根冠比常因调亏而增加。而适当增加的根冠比更有利于后期产量的形成。同时, 由于调亏处理其地上部生长减小, 还可提高群体密度、有利于增加总产量。

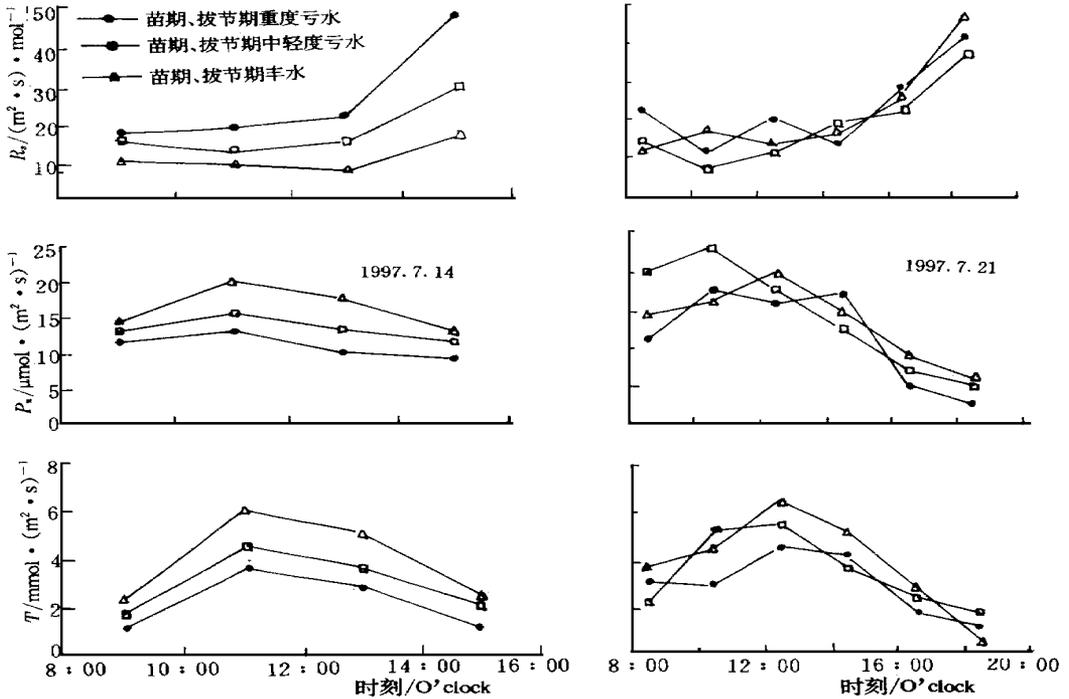


图 4 各生理指标在调亏处理结束前后的变化(左: 前; 右: 后)

Fig 4 The change of physiological factors during RD I and after ending RD I

表 1 不同 RD I 处理的根冠比情况

Tab 1 The ratio of dry root weight and the matter above ground of each treatment

处理	1	2	3	4	5	6	7	8	9
根干重/g	15.07	18.30	15.30	12.33	28.30	26.20	21.00	18.30	23.67
地上干物重/g	95.98	104.57	87.71	99.45	98.75	95.57	124.88	108.59	172.81
根冠比	0.157	0.175	0.174	0.124	0.287	0.263	0.172	0.168	0.139

注: 1 苗期中度亏水, 拔节期重度亏水(苗中拔低); 2 苗丰拔中; 3 苗低拔低; 4 苗丰拔低; 5 苗中拔中; 6 苗低拔中; 7 苗中拔丰; 8 苗低拔丰; 9 苗丰拔丰(对照)

表中数据以单株平均计

2.4 调亏灌溉对玉米产量与水分利用效率(WUE)的影响及最佳调亏方案的初步分析

表 2 表明: 拔节期亏水严重的处理(1、3、4)其耗水量和产量都与其它处理差异显著, 而水分利用效率除处理 4 外差异缩小。处理 5 耗水量和水分利用效率与对照相比差异显著, 但其产量却无明显差异。综合考虑各种因素, 处理 5, 即苗期中轻度亏水、拔节期轻度亏水的处理为最佳调亏灌溉方案, 处理 6 次之, 处理 4 则最不可取。

表 2 各调亏处理的平均玉米产量、耗水量及水分利用效率

Tab 2 Average yield, consumptive use of water and water use efficiency of each treatment

处理	总灌 水定额 $/\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$	播种与收获时的 土壤水分及变化量			总降雨量 P $/\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$	耗水量 ET $/\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$	产量 Y $/\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	水分利用效率 $WUE = Y/ET$ $/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
		$\theta_{\text{播}}$ $/\text{cm}^{-3} \cdot \text{cm}^{-3}$	$\theta_{\text{收}}$	$\Delta\theta$ $/\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$				
1	2518.05	0.20	0.15	41.70	836.67	3396.42	9083.35	2.67
2	3151.65	0.22	0.14	70.05		4058.37	11566.69	2.85
3	2434.65	0.18	0.17	11.70		3283.02	9000.02	2.74
4	2501.40	0.20	0.17	34.95		3373.02	8733.35	2.59
5	2984.85	0.19	0.16	31.65		3853.17	13116.69	3.40
6	2568.00	0.18	0.16	18.30		3422.97	12166.69	3.55
7	3068.25	0.19	0.18	8.40		3913.32	11383.36	2.91
8	3168.30	0.18	0.14	43.35		4048.32	11316.69	2.80
9	3618.6	0.21	0.15	51.75		4507.02	13250.03	2.94

注:表中不同处理意义同表 1

3 结果讨论

1) 苗期苗小,需水量少,且苗期生长以根系发展为主。这时亏水“蹲苗”可使根系向下生长,以吸取深层土壤水分,促使茎秆矮、粗、壮,控制叶片旺长,以利于生育后期吸收更多的水分和养分,供应植株需要,而拔节期气温升高,叶面积增大,耗水量增加,对水分亏缺的敏感性相应增加。因而,拔节期受到重度亏水处理的其水分利用效率都比较低,尤以苗期丰水处理而拔节期重度亏水的处理最为显著。

2) 适度而缓慢的水分亏缺可以增加绝对根重,抑制地上部分的旺长,减小地上干物质的生产,其单株产量降低甚少(处理 5),但则有利于密植,提高总产量;抽穗前的持续重度亏水,则会使产量明显降低(处理 3)。从既提高作物产量、又提高水分利用效率出发,以苗期中度亏水结合拔节期轻度亏水最为适宜。

3) 气孔是植物体与外界环境进行气体交换的基本门户,是决定植物光合作用与水分蒸腾速率的控制性因素,调亏处理后,气孔行为的变化以及光合和蒸腾耗水对气孔的反应差异是调亏灌溉节水增产的内在因素,其形态特征(根冠比)的变化只是外在的表现形式,在调亏灌溉条件下,可以适当提高农作物的播种密度,更利于提高总产量。

4) 调亏灌溉不仅可以用于果树的栽培管理体系中,同样在大田粮食作物上也具有其优越性。

参 考 文 献

- 荆家海, Hsiao T C. 水分胁迫后复水对玉米叶片生长速率的影响. 植物生理学报, 1987, 13(5): 51 ~ 57
- 山仑, 徐萌. 节水农业中的若干生理生态问题. 应用生态学报, 1991, 2(1): 70~ 76
- 梁宗锁, 康绍忠. 节水灌溉条件下夏玉米气孔导度与光合速率的关系. 干旱地区农业研究, 1996, 14 (1): 101~ 105
- A cevedo E, Hsiao T C and Henderson D W. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. Plant Physiol, 1971, 48: 631~ 636

- 5 康绍忠 新的农业科技革命与 21 世纪我国节水农业的发展 农业工程学报, 1998(1): 13~ 14
- 6 Turner N C. Plant water relations and irrigation management *AgriWaterManagement*, 1990, 17: 59~ 73
- 7 Turner N C. A daptation to water deficits: a changing perspective *Australian J of Plant Physiol*, 1986, 13: 173~ 190
- 8 Lakso A N. The effects of water stress on physiological processes in fruit crops *Acta Horticulture* , 1985, 171: 275~ 289
- 9 Sharp R E, Davies W J. Solute regulation and growth by roots and shoots of water stressed maize plants *Planta*, 1979 , 147: 43~ 49

Effects of Regulated Deficit Irrigation on Physiological Indices and Water Use Efficiency of Maize

Kang Shaozhong Shi Wenjuan Hu Xiaotao

(*Northwestern Agricultural University, Yangling*)

Liang Yingli

(*Institute of Water and Soil Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resource*)

Abstract This paper analyzed the effect of Regulated Deficit Irrigation (RDI) on photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, the ratio of dry root weight to the matter weight above ground, yield and consumptive use of water as well as water use efficiency of maize in the field. It reveals the mechanism of yield improved using the optimum RDI regime by which the change of stomatal behavior can improve the ratio photosynthesis and transpiration. The experiment result demonstrated that the moderate water stress in seedling (soil moisture content is 50% ~ 60% of field capacity) and the light water stress in jointing stage (soil moisture content is 60% ~ 70% of field capacity) is considered as the optimum irrigation schedule in order to obtain high yield and high water use efficiency.

Key words regulated deficit irrigation, photosynthesis, the ratio of dry root weight and matter weight above ground, water use efficiency