

覆膜棉花调亏灌溉效应研究

张振华, 蔡焕杰

(西北农林科技大学 教育部农业水土工程重点实验室, 陕西 杨陵 712100)

[摘要] 通过系统的田间试验, 确定膜上灌条件下棉花调亏灌溉施加水分胁迫的适宜时期和土壤水分亏缺限值。各处理棉花的耗水量及产量实测结果表明, 蕾期适度的水分亏缺处理较对照丰水处理全生育期节水 11.83%, 皮棉产量和水分利用效率分别提高 22.83% 和 39.26%, 调亏灌溉对棉花具有显著的节水增产和提高水分利用效率的效应。

[关键词] 膜上灌; 调亏灌溉; 节水增产; 棉花

[中图分类号] S274.1; S562

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-2782(2001)06-009-04

膜上灌是利用地膜输水, 膜孔和膜侧露地入渗的灌水新技术, 同普通畦灌相比具有节水增产和提高田间水分均匀度的优势。膜上灌目前在我国北方地区应用很广, 特别是在新疆自治区膜上灌技术被广泛地应用于棉花和玉米等农作物上, 取得了良好的经济效益。调亏灌溉是一种新的灌溉策略, 其有别于传统灌溉概念, 即对于一些作物, 由于其生理生化作用受到遗传特性或生长激素的影响, 在其生长发育的某些时期人为施加一定的水分胁迫即可影响其光合产物向不同组织器官的分配, 从而获得提高产量而舍弃营养器官的生长量和有机合成物质总量的结果^[1,2]。调亏灌溉在应用中有一定风险, 因为适度的水分亏缺可能很快发展成较严重的水分亏缺, 从而对作物造成危害, 另外在作物某些生育时期, 轻度的水分亏缺即可造成产量的大幅度下降^[3,4], 因此调亏灌溉正确实施的关键, 在于确定出特定作物适宜的水分调亏时期和亏缺程度。国外的调亏灌溉多用于果树^[5], 目前国内已有对大田玉米作物进行调亏灌溉的研究^[6-8], 但对覆膜条件下棉花调亏灌溉的报道还很少, 本研究将二者结合, 探索覆膜棉花适宜的调亏时期和水分亏缺程度, 以期达到节水增产的效应。

1 材料与方 法

1998-04~ 1998-10 在新疆自治区乌兰乌苏农业

气象站试验田进行了系统的大田覆膜棉花的调亏灌溉试验。该试验田土壤类型为中壤土, 肥力中等, 地下水位在 8 m 以下。0~ 60 cm 土层平均容重为 1.42 g/cm³, 土壤平均调萎系数和田间持水量分别为 9.05 和 36.91 cm³/cm³。

供试棉花品种为 822, 也称新陆早 7 号。从 1998-04-20 播种到 1998-10-10 收获最后 1 遍花, 全生育期共 173 d。试验小区规格为净宽 1.6 m, 膜宽 1.4 m, 畦长 25.0 m, 在畦田两侧各留宽为 0.1 m 的露地带以增加灌溉水的入渗。棉株种植方式为膜内种植, 每畦 4 行, 行距按 35 cm-50 cm-35 cm 两密一稀方式配置, 株距 10~ 11 cm, 植株密度为 16.5 万~ 17.2 万株/hm², 肥料为播种时一次性投入, 尿素施用量为 127.5 kg/hm², 磷酸二胺为 532.0 kg/hm², 在随后生育期内不再追肥。

试验共设 8 个处理, 每个处理 3 个重复, 尽量消除地力的差异。本试验对棉花不同处理水分状况的控制, 通过不同的灌溉制度得以实现。以对照丰水处理为标准, 该处理在蕾期(头水)、初花期(二水)和花铃盛期(三水)需灌水的土壤含水率下限值分别为 18.45, 20.30 和 18.45 cm³/cm³, 轻旱和中旱灌水日期分别比对照推迟 3 d 和 5 d, 重旱处理在该阶段不进行灌水, 各处理灌水定额及时期见表 1。

[收稿日期] 2000-11-28

[基金项目] 高等学校博士点基金资助项目(980704)

[作者简介] 张振华(1971-), 男, 河北藁城人, 在读博士, 主要从事农业高效用水及作物节水机理研究。

表 1 棉花不同灌溉处理在各生育阶段的灌水定额

Table 1 The cotton RD I experiment treatments m^3/hm^2

| 处理 Treatment | 苗期 Seedling stage | 蕾期 Budding stage | 初花期 Flowering stage | 花铃盛期 Bolling stage | 吐絮期 Boll opening | 处理 Treatment | 苗期 Seedling stage | 蕾期 Budding stage | 初花期 Flowering stage | 花铃盛期 Bolling stage | 吐絮期 Boll opening |
|-----------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|
| 对照 Control | 0 | 750 | 750 | 750 | 0 | 初花期轻旱 LD in flowering stage | 0 | 750 | 600 | 750 | 0 |
| 蕾期轻旱 LD in budding stage | 0 | 600 | 750 | 750 | 0 | 初花期中旱 MD in flowering stage | 0 | 750 | 450 | 750 | 0 |
| 蕾期中旱 MD in budding stage | 0 | 450 | 750 | 750 | 0 | 花铃盛期轻旱 LD in bolling stage | 0 | 750 | 750 | 600 | 0 |
| 蕾期重旱 SD in budding stage | 0 | 0 | 750 | 750 | 0 | 花铃盛期中旱 MD in bolling stage | 0 | 750 | 750 | 450 | 0 |

注:LD 表示轻旱;MD 表示中旱;SD 表示重旱,以下同。

Note:LD. Light deficit;MD. Medium deficit; SD. Severe deficit the following tables are the same

试验主要观测项目为:作物生长发育状况、各处理小区的 0~ 60 cm 土层土壤含水率及各处理的最终产量。另外,在花铃盛期用美国产 LI-6200 型光合测定系统对棉花进行了光合速率日变化的测定;土壤含水率用取土烘干称重法测定,每 7 d 测定 1 次,灌前和灌后加测;各处理的农田蒸发蒸腾量采用水量平衡法计算。

为敏感,即使是轻微的胁迫也会产生不同的反应。

本次试验中各处理棉花的叶面积指数(LAI)和株高资料(图 1,表 2)表明,蕾期水分胁迫对株高和 LAI 影响明显,其程度随水分胁迫加强而增大,蕾期重旱处理(该期末灌水)的植株呈明显矮小化现象,生长缓慢且复水后其长势依然较对照缓慢,最终高度仅为对照处理的 63.8%,LAI 为对照的 39.5%。进入花期以后,棉花生长以生殖生长为优势,因此该期及以后水分胁迫对棉花株高和 LAI 影响微弱。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对棉花株高、叶面积的影响

在作物的各项生理过程中,生长对水分胁迫最

表 2 不同水分处理棉花株高的动态

Table 2 The change of cotton height for different watering treatments cm

| 日期 Date | 对照 Control | 蕾期轻旱 LD in budding | 蕾期中旱 MD in budding | 蕾期重旱 SD in budding | 初花期中旱 MD in flowering | 花铃盛期中旱 MD in bolling |
|------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|
| 06-01 | 11.8 | 11.8 | 11.8 | 11.7 | 12.3 | 10.8 |
| 06-20 | 33.0 | 32.3 | 31.4 | 31.4 | 36.7 | 35.0 |
| 07-01 | 44.3 | 43.6 | 40.9 | 35.8 | 46.2 | 43.4 |
| 07-15 | 66.0 | 58.4 | 52.7 | 39.2 | 60.8 | 63.2 |
| 07-25 | 74.2 | 69.7 | 60.3 | 46.5 | 67.4 | 70.5 |
| 08-05 | 74.3 | 70.4 | 62.5 | 47.0 | 70.2 | 71.0 |

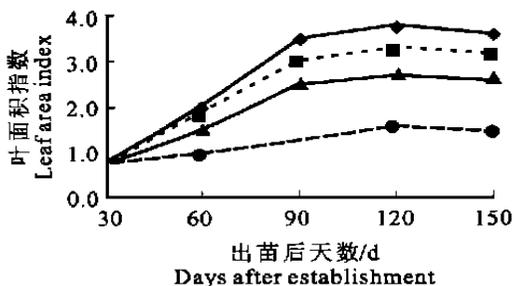


图 1 不同处理棉花的叶面积指数
 —●— 对照处理;—■— 初花期中旱;
 —▲— 蕾期中旱;—●— 蕾期重旱

Fig.1 The changes of cotton LAI for different watering treatments

—●— .Control; —■— .MD in flowering;
 —▲— .MD in budding; —●— .SD in budding

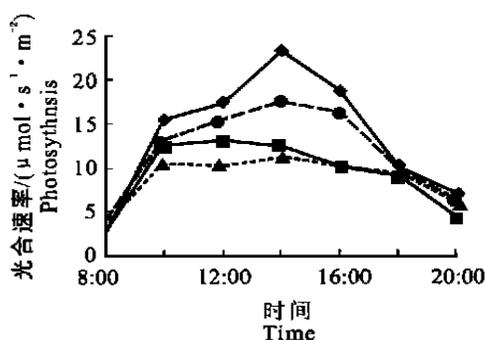


图 2 水分亏缺对棉花光合作用的影响

Fig.2 The influence of water deficit on cotton photosynthesis

—■— .Control; —▲— .LD in bolling;
 —●— .MD in bolling; —●— .MD in budding

2.2 水分胁迫对棉花光合作用的影响

水分胁迫可以显著降低作物光合作用,这是干旱条件下棉花减产的一个重要原因。1998-08-09在棉花的花铃盛期用LI-6200型便携式光合作用测定系统,逐时段测定了各处理棉花叶片光合速率的日变化过程,每次在各处理小区测定5片叶子,用其平均值来代表该处理的实际水平(图2)。测定当天对各处理0~60cm土层含水率进行了观测,对照、花铃盛期轻旱、中旱和蕾期中旱处理的含水率分别为34.06, 23.29, 20.30和22.33 cm³/cm³。同对照处理相比较,花铃盛期受旱处理的棉花叶片光合速率在日变化过程中除8:00外始终偏小,并且随水分亏缺程度的增强,光合速率的下降幅度加大。蕾期中旱对

棉花的株高和叶面积造成一定程度的影响,但并未造成体内生理机能的不可逆损伤,所以复水后仍具有较强的光合能力。实测资料表明,该处理在花铃盛期的光合能力比土壤水分相似的花铃盛期轻旱处理的更高。

2.3 水分胁迫对皮棉产量和水分利用效率的影响

根据实测土壤含水量、灌水量、降雨量资料,采用水量平衡方程,逐时段计算出各处理棉田的蒸散量。各时段农田蒸散量的累加即可获得棉花在整个生育期内的农田蒸散量。各处理皮棉产量采用3个重复的产量均值来代表该处理的实际产量水平。各处理的农田蒸散量(m³/hm²)、皮棉产量(kg/hm²)和水分利用效率WUE(kg/m³)的测定结果见表3。

表3 棉花各处理耗水量、产量及水分利用效率

Table 3 ET, lint yield and WUE of different treatments

| 处理 Treatments | 各生育期耗水量/(m ³ ·hm ⁻²) ET in each growing stage | | | | | 全生育期 耗水量/ (m ³ ·hm ⁻²) Total ET | 产量/ (kg·hm ⁻²) Yield | 水分利 用效率/ (kg·m ⁻³) WUE |
|--------------------------|--|---------------|------------------|-----------------|---------------------|---|--|---|
| | 苗期 Seedling | 蕾期 Budding | 初花期 Flowering | 花铃盛期 Bolling | 吐絮期 Boll opening | | | |
| 对照 Control | 750.00 | 1456.05 | 922.95 | 657.00 | 262.05 | 4048.05 | 1380 | 0.3409 |
| 蕾期轻旱 LD in budding | 750.00 | 1322.25 | 831.15 | 610.05 | 222.45 | 3735.90 | 1545 | 0.4136 |
| 蕾期中旱 MD in budding | 750.00 | 1184.55 | 804.15 | 629.70 | 199.95 | 3568.35 | 695 | 0.4750 |
| 蕾期重旱 SD in budding | 750.00 | 750.00 | 812.10 | 450.90 | 150.00 | 2913.00 | 1260 | 0.4325 |
| 初花期轻旱 LD in flowering | 750.00 | 1453.05 | 722.10 | 645.00 | 222.00 | 3792.15 | 1395 | 0.3679 |
| 初花期中旱 MD in flowering | 750.00 | 1428.45 | 501.75 | 450.00 | 208.95 | 3339.15 | 1125 | 0.3369 |
| 花铃盛期轻旱 LD in bolling | 750.00 | 1420.20 | 813.75 | 420.00 | 232.05 | 3636.00 | 1410 | 0.3878 |
| 花铃盛期中旱 MD in bolling | 750.00 | 1401.75 | 900.75 | 358.05 | 217.80 | 3628.35 | 1440 | 0.3969 |

从表3可以看出,与对照处理相比较,不同阶段、不同程度的水分亏缺对棉花产量具有不同的影响,其中初花期中旱处理和蕾期重旱处理均导致皮棉产量下降,较对照处理分别下降18.48%和8.70%;初花期轻旱、花铃盛期轻旱和中旱处理与对照处理产量大致持平;而蕾期轻旱和中旱处理的皮棉产量较对照高,增产率分别为11.96%和22.88%。除初花期中旱处理外,各处理的水分利用效率与对照比较,都有不同程度的提高。蕾期轻旱和中旱处理的水分利用效率较对照分别提高了21.33%和39.26%,各处理中惟有初花期中旱的水分利用效率比对照低,表明在初花期棉花对水分亏缺比较敏感,此时中旱处理不仅造成产量下降,同时

水分利用效率也要降低。

2.4 棉花根层蕾期土壤水分调亏的适宜下限指标

对本次试验各处理的产量、蒸发蒸腾量和水分利用效率的分析表明,在蕾期适度的水分亏缺有显著的节水增产和提高水分利用效率的效应,但同时蕾期的重旱处理产量下降8.7%,导致此结果发生的原因在于重旱处理的根系土壤水分亏缺已超过了棉花的适应程度。因此在运用调亏灌溉策略时,一定要注意在适宜的阶段对土壤水分进行适宜的调亏处理,只有这样才能得到理想的结果。

本次试验对照、蕾期轻旱、蕾期中旱和蕾期重旱处理的0~60cm土层实测的土壤水分下限值如表4。结合产量和水分利用效率的分析结果,可以确定

棉花蕾期适宜的土壤水分亏缺下限值为 $14.76 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, 而对照处理并非是最适宜的生长环境。

表 4 棉花对照和蕾期轻、中、重旱处理生育期内 0~60 cm 土壤水分下限值

Table 4 The minimum soil water content for CK, LD, MD and SD treatments of budding stage

| 处理 Treatments | 苗期 Seeding stage | 蕾期 Budding stage | 初花期 Flowering stage | 花铃盛期 Bolling stage | 处理 Treatments | 苗期 Seeding stage | 蕾期 Budding stage | 初花期 Flowering stage | 花铃盛期 Bolling stage |
|-----------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 对照 Control | 25.83 | 18.45 | 20.30 | 18.45 | 蕾期中旱 MD in budding | 25.83 | 14.76 | 16.60 | 15.50 |
| 蕾期轻旱 LD in budding | 25.83 | 16.60 | 17.71 | 18.82 | 蕾期重旱 SD in budding | 25.83 | 12.92 | 18.45 | 23.98 |

蕾期轻旱和中旱处理不仅节约了灌水量, 同时还有增加产量和提高作物水分利用效率的效应, 表明蕾期是棉花进行水分调亏的适宜时期。依据实测的 0~60 cm 根系层土壤水分含量资料分析, 其适宜的水分亏缺下限为 $14.76 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, 而对照丰水处理的水分控制状态并非生理或栽培获得最高产量时的最佳水分环境。从本次试验棉花生长发育过程来看, 蕾期水分过多, 会造成植株旺长, 过早封行, 大量光合产物分配到作物营养方面, 易造成棉蕾脱落; 而此时适度的水分亏缺, 可促使棉株根系深扎, 茎粗节密, 果枝健壮和棉蕾脱落率低, 从而为丰产打下了良好的基础。

3 结 论

1) 蕾期水分胁迫对株高和 LAI 影响明显, 其程度随水分胁迫加强而增大。进入花期以后, 棉花生长

以生殖生长为优势, 该期及以后水分胁迫对棉花株高和 LAI 的影响微弱。

2) 蕾期中旱对棉花的株高和叶面积造成一定程度的影响, 但并未造成体内生理机能的不可逆损伤, 所以复水后仍具有较强的光合能力。试验结果表明, 蕾期适度的水分亏缺处理同丰水处理相比较, 前者具有明显的节水、增产、提高水分利用效率的效应, 该处理较对照处理节水 11.85%, 增产 22.83%, 水分利用效率提高 39.26%。

3) 不同的调亏时期和水分亏缺程度对棉花的产量和水分利用效率的影响不同。调亏灌溉在应用中有一定风险, 因为适度水分亏缺可能会很快发展成较严重的水分亏缺, 从而造成作物产量的下降。本次试验中初花期中旱处理和蕾期重旱处理均导致了棉花皮棉产量的下降。

[参考文献]

- [1] 康绍忠, 蔡焕杰. 农业水管理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996
- [2] 曾德超, 彼得·杰里. 果树调亏灌溉密植节水增产技术与开发[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1994
- [3] Turner N C, Begg L E. Plant water relationship and adaptation to stress[J]. Plant and Soil, 1981, 58: 97- 131.
- [4] Turner N C. Plant water relation and irrigation management[J]. AgriWater Manage, 1990, 17: 59- 73
- [5] Mitchell P D, Jerie P H, Chambers D J. The effects of regulated water deficits on pear tree growth, flower, fruit growth and yield[J]. J Amer Soc Hort Sci, 1984, 109: 604- 606
- [6] 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.
- [7] 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
- [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

Effects of regulated deficit irrigation on plastic-mulched cotton

ZHANG Zhen-hua, CA I Huan-jie

(The Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In this study, with the aid of different irrigation treatments, a range of soil and plant water deficits were imposed on plastic-mulched cotton in order to study the response of yield to water stress. Based on the field experimental data of regulated deficit irrigation for cotton in 1998, effects of water stress on yield formation and water use efficiency of cotton were studied. The results show that water stress at various growing stages of cotton causes different influence on lint yield: a mild water deficits during budding stage can enhance lint yield and improve water use efficiency.

Key words: irrigation on the plastic-mulched land; regulated deficit irrigation; the effects of water-saving and yield-increasing; cotton