

# 调亏灌溉及其对烟草生长发育的影响研究

阿吉艾克拜尔<sup>1</sup>,邵孝侯<sup>1</sup>,钟 华<sup>1</sup>,高华军<sup>2</sup>,汪耀富<sup>2</sup>

(1.河海大学现代农业工程系,江苏 南京 210098;2.河南农业大学国家烟草栽培生理生化研究基地,河南 郑州 450002)

**摘要** 采用蒸渗仪控制试验,研究了调亏灌溉对烤烟生长发育及耗水特性的影响.结果表明,适度的亏水条件对烤烟的株高、叶面积指数和产量影响并不明显,而在伸根期、旺长期和成熟期土壤含水量为田间持水量的 60%,80%,70% 时其调亏处理对提高烟叶产量效果明显,为较佳的亏水处理方法.

**关键词** 调亏灌溉 烤烟 节水灌溉 生长发育 耗水规律

**中图分类号** S275 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2006)02-0171-04

水分的供应与作物包括烟草的生长发育有着密切的联系,并最终影响作物的产量.随着世界水资源危机的日益加剧,越来越多的节水灌溉新技术、新方法受到人们的重视,如限水灌溉、非充分灌溉、调亏灌溉等<sup>[1-3]</sup>.调亏灌溉是以作物与水分的关系为基础,以省水、高产为目的,合理调控作物在不同阶段土壤的水分状况,即在作物某一生长阶段,使其产生一定的水分亏缺,但对作物产量没有不利影响或影响较小.调亏灌溉是一种既有经济效益,又有生态效益的灌溉方法,特别适用于水资源短缺或用水成本较高的地区<sup>[4]</sup>.

国内对调亏灌溉技术的研究始于 20 世纪 80 年代末.1988 年,曾德超等开始对不同生长条件的果树(桃树)在不同调亏条件下的长势、土壤养分淋溶和盐分的淋洗等进行研究<sup>[5]</sup>.

目前国际上调亏灌溉研究的发展趋势是在研究内容进一步深入的同时,通过各种先进仪器,建立全自动化的测试系统,全面系统地测试调亏灌溉时各种作物的生理指标,开发整套的作物栽培管理体系,实现科学用水、科学管水,使调亏灌溉在满足作物生理机制的条件达到最优分配,建立调亏灌溉决策模式<sup>[4]</sup>.

对于烟草而言,水分是影响烟草生长发育的两大生态因素之一,是有效调控烟叶产量和质量的主要手段.加强烟草生产配套设施建设,合理调控烟田水分供给是确保烟叶优质稳产的关键,也是我国烟叶生产中亟待解决的问题.

烤烟作为我国重要的经济作物,需水量较多.而我国水资源相对短缺,且各产烟地区水资源时空分布严重不均,利用率较低,浪费严重,因此,从农艺、生理、水利三者相结合的角度研究烤烟节水灌溉制度显得尤为重要<sup>[4]</sup>.本文根据蒸渗仪控制试验,进行了调亏灌溉对烤烟生长发育及耗水特性的影响研究.

## 1 调亏灌溉对烟草生长发育及耗水规律的影响

### 1.1 材料与方法

#### 1.1.1 试验设计

蒸渗仪试验在江苏省南京市蔬菜花卉科学研究所内进行.当地年平均降雨量 1 106.5 mm,每年 6 月下旬至 7 月中旬为梅雨季节,年平均温度 15.7℃,最大平均湿度 81%,最大风速 19.8 m/s,无霜期 237 d.供试土壤为黄棕壤,质地黏重.质量分数有机质为 14.209 g/kg,全氮为 1.303 g/kg,碱解氮为 129.9 mg/kg,全磷为 0.363 g/kg,速效磷为 27.2 mg/kg,速效钾为 222.9 mg/kg.土壤的 pH 值为 5.87,0~60 cm 土壤密度为 1.35 g/cm<sup>3</sup>,0~60 cm 土壤最大田间持水量(水的质量分数)为 28.0%,地下水埋深 10 m.试验用烤烟品种为中烟 100,采用漂浮育苗,2004 年 5 月 5 日移栽.

表1 蒸渗仪试验处理设计  
Table 1 Design of lysimeter experiment

| 处理 | 生育阶段土壤水分控制下限指标<br>(占田间持水量的百分比)/% |           |           |
|----|----------------------------------|-----------|-----------|
|    | 还苗—<br>团棵                        | 团棵—<br>现蕾 | 现蕾—<br>采毕 |
| 1  | 70                               | 80        | 70        |
| 2  | 60                               | 80        | 70        |
| 3  | 50                               | 80        | 70        |
| 4  | 60                               | 70        | 60        |
| 5  | 60                               | 80        | 60        |
| 6  | 60                               | 70        | 50        |

水量占田间持水量的百分比)作为灌溉控制指标. 蒸渗仪试验设6个处理, 试验处理设计见表1.

1.2 试验结果与分析

1.2.1 调亏灌溉对烤烟株高的影响

调亏灌溉对烤烟株高的影响结果见表2. 由表2可见, 烟草移栽后23~67 d, 处理4的株高高于其他各处理, 处理1的较低, 其他各处理的差异不明显. 移栽后67~82 d, 烤烟生长处于上部叶圆顶期, 处理5的株高高于其他处理, 而处理4较差, 这可能是由于处理4在旺长期采取70%的水分控制下限所产生的对株高的负效应在该期有所体现, 而旺长期同为70%水分控制下限的处理6未表现出与处理4相同的现象, 可能是个体差异所致. 从以上分析结果可以看出, 在烤烟的生育期根据不同的指标控制水分, 对烤烟株高的影响并不十分明显.

1.2.2 调亏灌溉对烤烟叶面积指数增长动态的影响

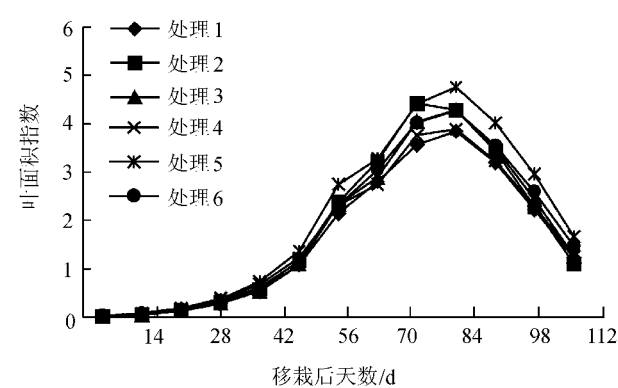


图1 调亏灌溉下烤烟叶面积指数的变化动态  
Fig.1 Change of leaf area index of  
flue-cured tobacco under regulated deficit irrigation

与移栽后天数( $t$ )的模型, 即  $I_{LAI} = \exp(a + bt + ct^2)$ . 如表3所示, 各处理模型的相关系数均达到极显著相关水平, 因此, 该模型可预测烤烟叶面积指数的变化动态.

1.2.3 调亏灌溉条件下烤烟的耗水规律

烟草耗水量  $E_T$  受许多因素的影响, 其中最主要的是气象因素、土壤湿度和烟草生长状况, 而烟草生长状况又直接受到土壤供水条件、肥力水平及气象因素等的影响. 烟田耗水量采用简化农田水分平衡方程计算<sup>[7-8]</sup>:

蒸渗仪由水泥、砖块砌成, 无底, 共6格, 每格表面积为  $8.0\text{ m}^2$ , 深  $1.2\text{ m}$ , 填土  $1.0\text{ m}$ . 蒸渗仪中土壤为原地按自然层次(测密度)回填的土壤, 在  $10\text{ cm}$ ,  $30\text{ cm}$ ,  $50\text{ cm}$  处安有张力计, 以监控土壤水分. 蒸渗仪上装防雨棚, 以隔绝雨水.

1.1.2 测定项目

土壤含水量、土壤张力、细胞液浓度、光和特性、农艺性状、成熟期干物质重、矿质养分、耗水量等项目以  $7\text{ d}$  为周期进行测定, 测定方法见文献[6].

将烤烟的生育期分为3个阶段, 即伸根期(还苗—团棵)、旺长期(团棵—现蕾)和成熟期(现蕾—采毕). 以土壤水分控制下限(即土壤含

表2 调亏灌溉对烤烟株高的影响  
Table 2 Effect of regulated deficit irrigation  
on flue-cured tobacco height

| 移栽后<br>天数/d | 株高/cm |       |       |       |       |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 处理1   | 处理2   | 处理3   | 处理4   | 处理5   | 处理6   |
| 23          | 5.2   | 5.0   | 5.1   | 5.6   | 5.6   | 6.8   |
| 31          | 9.0   | 10.0  | 8.9   | 10.7  | 9.3   | 9.6   |
| 37          | 16.0  | 15.8  | 15.5  | 21.3  | 18.2  | 18.1  |
| 44          | 26.1  | 28.5  | 27.8  | 39.1  | 49.4  | 33.2  |
| 52          | 42.1  | 45.5  | 43.9  | 53.7  | 35.7  | 47.4  |
| 61          | 77.0  | 81.7  | 79.3  | 87.0  | 81.7  | 81.5  |
| 67          | 97.5  | 110.0 | 99.7  | 108.5 | 106.0 | 102.0 |
| 74          | 116.2 | 120.0 | 117.2 | 113.7 | 124.5 | 118.2 |
| 82          | 118.5 | 123.0 | 121.5 | 118.5 | 127.2 | 121.2 |

图1为调亏灌溉下烤烟叶面积指数增长动态曲线. 由图1可知, 不同水分处理下烤烟叶面积指数均呈“S”型变化趋势, 且不同生育阶段各处理的叶面积指数变化不尽相同. 烤烟移栽后至44 d, 为烤烟的伸根期, 各处理的叶面积指数增长缓慢, 基本无差异. 移栽后44~74 d, 为烤烟的旺长期, 各处理的叶面积指数增长迅速, 且处理2的增长速率高于其他处理, 但各处理间的差异不很明显. 移栽后74~81 d, 为烤烟的上部叶圆顶期, 各处理叶面积指数增长速率较旺长期有所下降, 但差异不大; 移栽81 d以后, 烤烟处于成熟采收期, 各处理叶面积指数骤降, 处理3略低于其他各处理, 而其他各处理无大的差别.

运用数学回归的方法建立了烤烟叶面积指数( $I_{LAI}$ )

$$E_T = 0.1 \sum_{i=1}^n h_i d_i (W_t - W_0) + I$$

式中： $E_T$ ——一定时段内的实际蒸散量，mm； $n$ ——取土层次； $h_i$ ——第  $i$  层土层厚度，cm； $d_i$ ——第  $i$  层土土壤密度，g/cm<sup>3</sup>； $W_0$ ， $W_t$ ——时段开始和结束时第  $i$  层土壤湿度，%； $I$ ——同时段内灌水量，mm。由于蒸渗仪试验在装有雨棚的大棚内进行，区内地下水埋深为 10 m，因此本文略去降雨量，地下水补给、渗漏量和地表径流量。试验计算结果见表 4。

表 4  调亏灌溉条件下烤烟的耗水规律

Table 4  Water consumption of flue-cured tobacco under regulated deficit irrigation

| 处理 | 伸根期        |              |                                | 旺长期        |              |                                | 成熟期        |              |                                | 全生育期       |                                |
|----|------------|--------------|--------------------------------|------------|--------------|--------------------------------|------------|--------------|--------------------------------|------------|--------------------------------|
|    | 耗水量/<br>mm | 耗水模比<br>系数/% | 耗水强度/<br>(mm·d <sup>-1</sup> ) | 耗水量/<br>mm | 耗水模比<br>系数/% | 耗水强度/<br>(mm·d <sup>-1</sup> ) | 耗水量/<br>mm | 耗水模比<br>系数/% | 耗水强度/<br>(mm·d <sup>-1</sup> ) | 耗水量/<br>mm | 耗水强度/<br>(mm·d <sup>-1</sup> ) |
| 1  | 51.0       | 19.43        | 2.04                           | 140.64     | 53.51        | 4.54                           | 71.14      | 27.07        | 2.29                           | 262.83     | 3.02                           |
| 2  | 46.4       | 17.51        | 1.86                           | 136.37     | 51.40        | 4.40                           | 82.48      | 31.09        | 2.66                           | 265.30     | 3.05                           |
| 3  | 43.4       | 15.97        | 1.74                           | 140.92     | 51.82        | 4.55                           | 87.61      | 32.21        | 2.83                           | 271.96     | 3.13                           |
| 4  | 40.7       | 15.45        | 1.63                           | 134.83     | 51.07        | 4.35                           | 88.39      | 33.48        | 2.85                           | 264.00     | 3.03                           |
| 5  | 50.9       | 17.24        | 2.04                           | 144.67     | 48.91        | 4.67                           | 100.14     | 33.85        | 3.23                           | 295.81     | 3.40                           |
| 6  | 38.3       | 14.83        | 1.53                           | 154.23     | 59.68        | 4.98                           | 65.85      | 25.48        | 2.12                           | 258.41     | 2.97                           |

表 4 结果表明，在烤烟生长的各阶段，提高土壤控制水分下限可以加速蒸发蒸腾。因此，若从节水的角度来考虑，各时期可以采取较小的水分控制下限，提高调亏灌溉的节水效率。但如果从生理、生化角度来考虑，减小水分控制下限未必利于烤烟的生长发育以及产量品质的提高，所以，很有必要从其他方面探求烤烟生长各阶段适宜的水分控制下限，做到既节水，又增效<sup>[9]</sup>。

1.2.4  调亏灌溉对烤烟产量的影响

表 5 为调亏灌溉对烤烟产量的影响。从表 5 可以看出，处理 4（60%—70%—60%）的产量明显低于其他处理，为 2 056.22 kg/hm<sup>2</sup>。除处理 4 外，虽然处理 2（60%—80%—70%）的产量略高于其他处理，达 2 303.62 kg/hm<sup>2</sup>，处理 5（60%—80%—60%）的产量为 2 300.18 kg/hm<sup>2</sup>，仅次于处理 2，但各处理间产量相差不大。因此，处理 4（60%—70%—60%）的水分组合由于亏水度较大可能造成烟叶减产，而处理 6（60%—70%—50%）的水分组合可能由于个体差异虽然产量不是最低，但却低于除处理 4 外的其他各处理，充分说明在旺长期采取 70% 的水分下限可能降低烟叶产量。

2  结    语

本文对烟草调亏灌溉的研究结果表明，适度的亏水条件对烤烟的株高、叶面积指数和产量的影响并不明显。调亏处理 2（60%—80%—70%）可提高烟叶产量。研究调亏灌溉对烟草的生长发育影响和耗水特性，有助于确定烤烟的调亏灌溉制度，以达到节约用水、提高烤烟的产量和品质的目的。

参考文献：

[1] 李远华. 节水灌溉理论与技术[M]. 武汉: 武汉水利电力大学出版社, 1999: 1-13.  
[2] 汪志农, 冯浩. 节水灌溉理论决策专家系统[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2001: 2-21.  
[3] 康绍忠, 蔡焕杰. 农业水管理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 11-29.

表 3  调亏灌溉下烤烟叶面积指数增长的指数模型

Table 3  Exponential models of leaf area index of flue-cured tobacco under regulated deficit irrigation

| 处理 | 模型                                               | 相关系数     |
|----|--------------------------------------------------|----------|
| 1  | $I_{LAI} = \exp(-7.1820 + 0.2083t - 0.00129t^2)$ | 0.9973** |
| 2  | $I_{LAI} = \exp(-7.2563 + 0.2168t - 0.00137t^2)$ | 0.9972** |
| 3  | $I_{LAI} = \exp(-7.2892 + 0.2131t - 0.00133t^2)$ | 0.9976** |
| 4  | $I_{LAI} = \exp(-6.7469 + 0.2024t - 0.00128t^2)$ | 0.9991** |
| 5  | $I_{LAI} = \exp(-6.6916 + 0.2017t - 0.00125t^2)$ | 0.9990** |
| 6  | $I_{LAI} = \exp(-6.6068 + 0.1951t - 0.00121t^2)$ | 0.9978** |

注：\* \* 表示在 0.01 概率水平下模型关系达到极显著水平。

[4] 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,2001:1-5.  
[5] 王和洲,张晓萍.调亏灌溉条件下的作物水分生态生理研究进展[J].灌溉排水,2001,12(4):73-75.  
[6] 刘国顺,王彦亭,汪耀富,等.烟草栽培学[M].北京:中国农业出版社,2003:1-30.  
[7] 韩锦峰,汪耀富,钱晓刚,等.烟草栽培生理[M].北京:中国农业出版社,2003:1-22.  
[8] 谢贤群,于沪宁.作物与水分关系研究[M].北京:中国科学技术出版社,1992:21-35.  
[9] 饶梓云,王安柱.陕西省旱区烤烟农田土壤水分动态水分平衡水分利用效率研究[J].烟草科技,1993(1):36-39.

Regulated deficit irrigation and its effects on growth of tobacco

HAJIAKBAR<sup>1</sup>, SHAO Xiao-hou<sup>1</sup>, ZHONG Hua<sup>1</sup>, GAO Hua-jun<sup>2</sup>, WANG Yao-fu<sup>2</sup>

(1. Department of Modern Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ;  
2. National Research Center for Tobacco Cultivation & Physiology & Biochemistry,  
Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract** :The lysimeter experiment was performed for study of effect of regulated deficit irrigation on the growth and water consumption of flue-cured tobacco. The results show that the appropriate water deficit condition does not have obvious effects on the height, leaf area index, and yield of tobacco, while regulated deficit irrigation with the lower limit of water content set to be 60%, 80% and 70% at root extending stage, strongly growing stage, and mature stage, respectively, can greatly improve the yield of tobacco, and it is an effective water deficit treatment method.

**Key words** :regulated deficit irrigation ; flue-cured tobacco ; water saving irrigation ; growth and development ; regularity of water consumption

《河海大学学报(自然科学版)》征订启事

《河海大学学报(自然科学版)》是以水资源开发、利用与保护为重点的综合性学术期刊,主要刊登本校在水资源、水文、地质、测量、水利工程、水电工程、水运工程、海洋及海岸工程、水工结构、工程力学、水力学及河流动力学、岩土工程、计算机科学、电力工程、电子技术及自动化工程、工业与民用建筑、管理工程、水利经济、环境工程、机械工程等学科方面的科研成果、学术论文、学术讨论、研究动态等学术性文章,可供上述有关专业的科技工作者及大专院校师生阅读和参考。

本刊创办于 1957 年,是我国中文核心期刊,在国内工程技术界和学术界有较大影响.刊载的文章中,有不少国家科技攻关(重点)项目和各种科学基金资助项目的研究成果,部分达到了国内领先和国际先进水平,为我国水利、水电、水运工程及其他有关工程建设的规划、设计、施工和管理提供了科学理论、方法和具体建议,发挥了较大的社会效益和经济效益,深受工程界和科技界赞许,并获得全国高校科技期刊优秀编辑出版质量奖以及中国期刊方阵“双效期刊”、江苏省优秀期刊、全国水利系统优秀期刊称号。

本刊每逢单月出版,国内外公开发行.邮发代号 28-63,每期定价 12.00 元,全年 6 期共 72 元.欢迎广大读者在全国各地邮局订阅或直接与编辑部联系.联系地址 南京市西康路 1 号《河海大学学报(自然科学版)》编辑部,邮政编码 210098.联系电话 025-83786343.