

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2012.04.015

不同供水条件下烟田的水分利用效率

谈晶晶^{1,2} 邵孝侯^{1,2} 陈立华^{1,2} 汪耀富³ 彭宇³

(1. 河海大学南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室,江苏 南京 210098;
2. 河海大学水利水电学院,江苏 南京 210098;3. 湖南中烟工业有限责任公司,湖南 长沙 410014)

摘要:在蒸渗仪中模拟烤烟全生育期 1000 mm、800 mm、600 mm 共 3 种降雨量,研究烟田的水分平衡状况,探讨不同降雨量条件下烤烟各生育期的蒸散量、蒸腾量、棵间蒸发量和烟株水分利用效率的变化。结果表明,当模拟降雨量为 800 mm 时烟田水分处于动态平衡,既满足烤烟各生育时期生长所需要的有效水分,又提高了水分的利用效率,烟叶产量较高。

关键词:模拟降雨量 蒸散量 水分利用效率 植物蒸腾 棵间蒸发 烟田

中图分类号 S274.1 文献标志码 A 文章编号 1000-1980(2012)04-0446-05

Study of water use efficiency in tobacco fields through simulation of different rainfall conditions

TAN Jingjing^{1,2}, SHAO Xiaohou^{1,2}, CHEN Lihua^{1,2}, WANG Yaofu³, PENG Yu³

(1. Key Laboratory of Efficient Irrigation-Drainage and Agricultural Soil-Water Environment in Southern China, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
3. China Tobacco Hunan Industrial Co., Ltd., Changsha 410014, China)

Abstract: The water balance in tobacco fields was studied by simulating rainfall of 1 000 mm, 800 mm, and 600 mm in a lysimeter over the whole growth period of tobacco plants. The variations of evapotranspiration, transpiration, ground evaporation between plants, and water use efficiency of tobacco plants were analyzed under different rainfall conditions during various growth stages of tobacco plants. The results show that rainfall of 800 mm could keep a dynamic equilibrium of water in the tobacco fields, and it could meet the needs of effective water of tobacco during various growth stages improve the water use efficiency, and thus increase the yield of tobacco.

Key words: simulated rainfall; evapotranspiration; water use efficiency; plant transpiration; ground evaporation between plants; tobacco field

烟草是我国的主要经济作物之一,烟叶生产在我国国民经济中占有重要位置^[1]。水分直接影响着烟叶的产量、质量和效益,是烟草生长发育必不可少的重要物质资源^[2-5]。我国各烟区降雨资源时空分布不均,对烤烟的生长发育影响较大。北方烟区在烤烟生长前期干旱严重,植株生长缓慢;后期雨水偏多,土壤中肥料得到重新利用,叶片成熟推迟,难以落黄。南方烟区雨量充沛,能满足烤烟前中期正常的生长需求,但成熟期伴有阶段性干旱发生,不利于烤烟正常成熟落黄和优质烟叶的生产^[6]。同时南方各烟区降雨量在季节和年际间变异也较大,在烟草生长期间时常发生不同程度的干旱,造成烟叶产量和质量很不稳定。

适宜的水分供应,能促进烟草生长发育的顺利进行,水分过多过少,都会使烟草的生命活动受抑^[7]。烟草在其各个生长过程中都在不断地进行着吸水和失水的水分代谢,当吸水和失水达到动态平衡时,烟株生长

收稿日期:2011-07-25

基金项目:湖南中烟工业有限责任公司科技计划项目(20100823);江苏高校优势学科建设工程资助项目(水利工程)

作者简介:谈晶晶(1987—),女,江苏宜兴人,硕士研究生,主要从事节水灌溉和水肥耦合理论与技术研究。E-mail: tianshuiyuan77@163.com

通讯作者:邵孝侯(1963—),男,浙江余姚人,教授,博士,主要从事水肥耦合理论与技术研究。E-mail: shaoxiaohou@163.com

正常,有利于烤烟产量和品质的形成^[8]。当烟株散失的水分超过吸收的水分时,就会造成植株组织内水分亏缺,叶片萎蔫,缺水时间较长以及水分过多等都会严重影响烟株的生长发育和产量品质^[9-12]。因此,科学调控烟田水分供应是提高烤烟水分和肥料利用效率、实现烟叶优质稳产的必由之路,对进一步提高烟叶产量和品质具有重要意义。

本文通过在蒸渗仪中模拟湖南典型烟区烤烟全生育期不同降雨量条件,研究烟田的水分盈亏状况,探讨不同降雨量条件对烟株蒸散量的影响,进而为调控烟田土壤水分供应,促进烟叶优质适产,保持烟叶的产量和质量的相对稳定提供指导。

1 材料与方法

1.1 试验场地

试验于 2010 年在南京市蔬菜花卉科学研究所内的蒸渗仪中进行。当地年平均降雨量 1 106.5 mm,每年 6 月下旬至 7 月为梅雨季节,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。

蒸渗仪由水泥、砖块砌成,每个蒸渗仪面积均为(4×2)m²,蒸渗仪中的土壤是原地按自然层次(测容重)回填的黄棕壤,质地黏重,有机质质量比为 14.209 g/kg,全氮质量比为 1.303 g/kg,碱解氮质量比为 129.9 mg/kg,全磷质量比为 0.363 g/kg,速效磷质量比为 27.2 mg/kg,pH 值 5.87,当土壤厚度为 0~60 cm 时土壤密度为 1.35 g/cm³,其土壤田间持水量 28.0%(质量含水率),地下水埋深 10 m。蒸渗仪上面安装防雨棚,以隔绝自然降水。

1.2 试验设计

试验模拟湖南地区 3 个不同生态烟区烤烟生育期的降雨量(1 000 mm,800 mm,600 mm),考虑烤烟不同生育期的降雨分布(伸根期占 30%,旺长期占 40%,成熟期占 30%),用灌溉模拟降雨(按降雨量的 50%被烟株吸收,50%为地表径流和土壤深层渗漏等损失折算,此处的实际田间灌溉量为烟株可吸收利用的量)。在烤烟生育期(5 月 11 日移栽,8 月 17 日收获)按降雨分布(减去地表径流和土壤深层渗漏)在不同生育期进行分配,移栽以后每隔 7 d 模拟降雨(灌水)1 次,试验过程中,灌水方法采用水管浇灌,通过秒表控制灌水时间,以实现精确灌水量,灌水时间在 11:00 左右。把各生育期的降水量按照灌水次数折算后平均灌至蒸渗仪中。烤烟总施氮量为 90 kg/hm²,施肥品种为烟草专用无机肥(含氮量 8%,总有效养分 32%),施肥按 7:3 的比例(基肥:追肥)施用肥料,基肥在移栽前一次性穴施,追肥时间为旺长前期(移栽后 26 d)。共设 3 个模拟降雨量处理,各处理做 3 次重复,具体见表 1。

表 1 模拟降雨量试验处理

Table 1 Experimental processing in rainfall simulation

处理	模拟降雨量/mm	实际供水量/mm	基肥施氮量/(kg·hm ⁻²)	追氮量/(kg·hm ⁻²)	总施氮量/(kg·hm ⁻²)
T1	1 000	500	63	27	90
T2	800	400	63	27	90
T3	600	300	63	27	90

1.3 试验测定项目和方法

1.3.1 土壤含水率测定

烤烟移栽后,采用烘干法每 7 d 测 1 次土壤厚度分别为 0~10 cm,10~30 cm,30~50 cm 的土壤含水量(质量含水率)。用土钻取土,在实验室称得土样原始重量,再将土样烘干后再次称重,通过 2 次所得结果计算出土壤含水量。

1.3.2 棵间蒸发量测定

采用口径 9 cm,长 35 cm 的 PVC 管制作的微型土壤蒸发仪。内装与蒸渗仪中质地相同的土壤,底部用细纱网封牢,用于防止操作过程中土体损失。微型蒸发仪还需放入直径稍大且预先埋入行间的 PVC 套桶中,将其埋入蒸渗仪中,并使微型蒸发仪内土柱顶面与田面齐平。每个蒸渗仪重复中布置 3 个微型蒸发仪。每次灌水前后各称量 1 次,计算棵间蒸发量。

1.3.3 土壤水分日变化测定

进入旺长期后,采用 TDR(时域反射仪)在灌水后第 2 d 每隔 2 h 测定 1 次土壤水分的日变化情况。

1.3.4 干物质量

采用烘干称重法,烟叶成熟时,将植株按根、茎、叶分开,75℃烘干后称重。

1.3.5 烤烟蒸散量

采用水量平衡法来进行计算,水量平衡方程如下:

$$\Delta S = P + I + E_g - ET - R_g - D$$

式中 ΔS ——烤烟生育期内根层土壤水分盈亏变化,mm; P,I ——烤烟生育期内的降水量和灌水量,mm; E_g ——潜水蒸发量,mm; ET ——蒸散量,mm(烟株蒸腾量和棵间蒸发量之和); R_g,D ——地表径流量和土层下边界渗漏量,mm。

由于采用蒸渗仪控制试验,蒸渗仪上有防雨棚,用来隔绝降雨,因此降雨量和径流量可以忽略;试验区地下水埋深为10m,因此可以忽略潜水蒸发量;灌水的上限为田间持水量,且计划湿润深度不超过1m,因此渗漏量可以忽略。所以,烤烟蒸散量计算公式可以简化为:

$$ET = \Delta S + I$$

2 结果与分析

2.1 模拟不同降雨量条件下烤烟蒸散量与水分利用状况

烤烟的全生育期分为4个生长阶段:伸根期(还苗—团棵)、旺长(团棵—现蕾)前期、旺长(团棵—现蕾)后期、成熟期(现蕾—采毕)。整个生育时期模拟降雨共14次,伸根期为5次,旺长期为6次(旺长前期3次,旺长后期3次),成熟期为3次。模拟不同的降雨量条件下蒸散量、烟株对降水的利用效率和产量结果,如表2所示。

表2 模拟不同降雨量条件下烟田的灌水量、蒸散量、水分利用效率和产量

Table 2 Irrigation amount, evapotranspiration, water use efficiency, and tobacco yield in tobacco fields with different amounts of rainfall

处理	模拟降雨量/mm	实际蒸散量/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	烟株水分利用效率/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
T1	1000	3 575.46	0.694	2 481.70
T2	800	3 357.71	0.939	3 155.62
T3	600	3 114.55	0.866	2 698.37

从表2可以看出,T1和T2处理的烟田实际蒸散量均小于实际灌水量,T3处理的实际蒸散量略大于有效降水量,这说明扣除地表径流和深层渗漏损失后,3种不同降雨量条件均基本满足烟株整个生育期的需水量。同时可以发现,随着模拟降水量的增加,烟株的蒸散量也随之增大。T1处理的实际蒸散量为最大,为 $3\,575.4\text{ m}^3/\text{hm}^2$,蒸散量为有效降雨量的71.15%,而T2处理的蒸散量为有效降水量的83.52%,当T3处理时,蒸散量则为有效降水量的103.30%,说明有效降水不足,土壤水分出现亏缺。

水分利用效率是烤烟产量和蒸散量的综合反映。在一定蒸散量范围内,烟叶产量一般会随着蒸散量的增加而增加。研究表明,作物的产量都随蒸散量的增加而快速增加,但当蒸散量达到一定程度时,产量增加缓慢^[3]。烟株的水分利用效率(WUE)定义为烟株每消耗 1 m^3 水量所能生产的烟叶产量,即: $WUE = Y/ET$,其中, Y 为产量, ET 为烟田蒸散量。

从表2的数据可以得到,T1、T2、T3处理的烟株对水分的利用效率分别为 0.694 kg/m^3 、 0.939 kg/m^3 和 0.866 kg/m^3 ,模拟降雨量为1000mm的T1处理烟株水分利用效率最低。综合考虑烤烟产量、水分利用效率与蒸散量情况,可以看出T3处理较为理想,在满足烤烟生长需要的同时也提高了水分的利用效率,既保证了较高的烟叶产量又不造成水分大量浪费。

2.2 不同生育期烟株蒸散量与土壤水分盈亏

从表3可以看出,随着模拟降雨量的变化,烤烟蒸散量也随之有较明显变化。伸根期各批次处理的蒸散量相差不大,均为总蒸散量的23%左右,此生育期各批次处理的土壤水分均有盈余。旺长期烤烟蒸散量有了较大增加,这是由于旺长期是烟株生长最快的时期,这一时期烤烟叶面积迅速增大,干物质累积量大,所以蒸散量也大。从表3可以看出,旺长期T1处理的土壤水分仍有大量盈余,而T3的处理则土壤水分严重亏缺,T2处理土壤水分略有盈余,说明该处理既满足烤烟需水量,同时也不造成土壤水分因棵间蒸发而浪费。

烤烟进入成熟期后,由于生理代谢活动减弱,蒸散量相对旺长期明显下降。T1 处理的土壤水分大量盈余,T3 处理的土壤水分有少许亏缺,说明该处理在成熟期不能满足烤烟需水量,需要通过进一步灌水来消除土壤水分亏缺。纵观整个生育期烤烟的蒸散量,可以看出 T1 处理在整个生育期都处于土壤水分大量盈余的状况,而 T3 处理在旺长期存在土壤水分严重亏缺,会影响烟叶的最终产量,而 T2 处理较为理想。

表 3 各生育期烤烟蒸散量及土壤水分盈亏状况

Table 3 Evapotranspiration and soil water surplus and deficit at different growth stages of tobacco							
处理	模拟降雨量/ mm	伸根期		旺长期		成熟期	
		蒸散量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	盈亏/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	蒸散量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	盈亏/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	蒸散量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	盈亏/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)
T1	1000	847.55	+ 652.45	1 637.02	+ 362.98	1 090.88	+ 409.12
T2	800	796.87	+ 403.13	1 550.27	+ 49.73	1 010.57	+ 189.43
T3	600	728.75	+ 171.25	1 427.02	- 227.02	958.77	- 58.77

注:“-”表示水分亏缺;“+”表示水分过剩。

2.3 不同模拟降雨量条件下烟株不同生育期的棵间蒸发量及蒸腾量变化

从表 4 可以看出,在伸根期,各批次处理的日蒸腾量均为 $9.70 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 左右,T1 处理的每日棵间蒸发最大,为 $14.46 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,T2 处理次之,T3 处理最小,仅为 T1 处理的 76.90%。这主要是由于伸根期烟株叶面积较小,蒸腾量也较小。此时期的烤烟耗水主要表现在棵间蒸发上。模拟降雨量越大,棵间蒸发也越大。

表 4 各生育期烤烟日蒸散量、蒸腾量和棵间蒸发量

Table 4 Daily evapotranspiration, transpiration, and ground evaporation between plants at different growth stages of tobacco													m^3/hm^2
模拟降雨量/ mm	伸根期			旺长前期			旺长后期			成熟期			
	蒸散量	棵间蒸发	植物蒸腾	蒸散量	棵间蒸发	植物蒸腾	蒸散量	棵间蒸发	植物蒸腾	蒸散量	棵间蒸发	植物蒸腾	
1000	24.22	14.46	9.76	49.03	17.26	31.77	47.27	15.78	31.49	36.36	13.05	23.31	
800	22.77	13.00	9.77	46.48	13.43	33.05	44.72	15.66	29.06	33.69	12.33	21.36	
600	20.82	11.12	9.70	42.67	11.31	31.36	41.27	15.25	26.02	31.96	11.32	20.64	

进入旺长期,由于烟叶面积迅速增大,覆盖了大面积土壤,所以此时期的烤烟蒸散量主要是以植物蒸腾为主,各种处理烤烟蒸散量的差异主要是烟株蒸腾的差异。在旺长前期,T2 处理的日蒸腾量为最大,达到 $33.05 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,其次是 T1 处理的,T3 处理的日蒸腾量最小。这主要是由于 T1 处理在伸根期土壤水分盈余最大,不利于烤烟的根系发育生长,使得烤烟进入旺长期后,根系不能较好地吸收水分,因此植物蒸腾低于 T2 处理。而 T3 处理由于土壤水分亏缺,影响了植株的生长,因此蒸腾量也较低。到了旺长后期,由于烤烟生长速度逐渐减缓,烟株蒸腾量有所下降,但随着气温升高,棵间蒸发量较旺长前期有所增大,总的蒸散量仅略有降低。

进入成熟期后,由于温度较高,棵间蒸发也随着模拟降雨量的增大而增大。T1 处理的棵间蒸发量最大,T3 处理的最小,为蒸散量的 35.4%。而此时期由于烤烟生理代谢活动减弱,各种处理的蒸腾量也随之下降。

3 结 论

根据试验结果,可以得出以下结论:

- a. 从烤烟的蒸散量和烟株对降雨的利用效率来看,3 种不同降雨量条件均基本满足烟株整个生育期的需水量,模拟降雨量越大,降雨的利用率和单位降雨烟叶的产量越小。
- b. T1 处理在整个生育期土壤水分都处于大量盈余的状况,而 T3 处理在旺长期土壤水分亏缺,严重影响烟叶的最终产量,T2 处理时的烟田水分平衡状况最为理想。
- c. 伸根期不同降雨处理批次间蒸腾量并无明显差距,棵间蒸发量随着模拟降雨量的增加而增加。在旺长前期,T2 处理的日蒸腾量为最大,达到 $33.05 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,T1 处理次之,T3 处理的日蒸腾量最小。旺长后期,各处理批次的烟株日蒸腾量较旺长前期有所下降,但随着气温升高,棵间蒸发量较旺长前期有所增大,总的蒸散量略有降低。成熟期烤烟蒸散量较旺长期有所减少。T2 处理较符合烤烟在各生育时期生长所需要的水分。

参考文献:

- [1] 高华军,汪耀富,邵孝侯. 烤烟节水灌溉的研究进展[J]. 节水灌溉, 2005(5):33-35.(GAO Huajun, WANG Yaofu, SHAO Xiaohou. Status quo and prospect of water saving irrigation for tobacco[J]. Water Saving Irrigation, 2005(5) 33-35.(in chinese))
- [2] 詹金华, 陈志良. 烟草栽培[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1998.
- [3] 何健. 河南中壤烟区烤烟需水指标与需水模型研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2004.
- [4] 金文华, 刘金海, 鲁家鑫. 烤烟节水灌溉技术与示范[J]. 烟草科技, 2002(1):139-142.(JIN Wenhua, LIU Jinhai, LU Jiaxin. Water saving irrigation technology and demonstration for tobacco[J]. Tobacco Science & Technology, 2002(1) 139-142. (in chinese))
- [5] 李继新, 袁有波, 苏贤坤, 等. 土壤水分对烤烟耗水特征及烟叶产量和品质的影响[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2008, 36(4):520-524. (LI Jixin, YUAN Youbo, SU Xiankun, et al. Effects of soil moisture on water consumption, yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Journal of Hohai University: Natural Science, 2008, 36(4) 520-524. (in chinese))
- [6] 刘贞琦, 伍贤进, 刘振业. 土壤水分对烟草光合生理特性影响的研究[J]. 中国烟草学报, 1995, 2(3):44-49.(LIU Zhenqi, WU Xianjin, LIU Zhenye. The effects of soil water content on photosynthetic characteristics of tobacco[J]. Acta Tabacaria Sinica, 1995, 2(3) 44-49. (in chinese))
- [7] 伍贤进. 土壤水分对烤烟产量和品质的影响[J]. 农业与技术, 1998(2):3-6.(WU Xianjin. The effects of soil moisture on yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Agriculture & Technology, 1998(2) 3-6. (in chinese))
- [8] 肖金香, 许晓利, 冯敏玉, 等. 土壤水分对烤烟农艺性状、产量和叶绿素的影响[J]. 气象与减灾研究, 2007, 30(1):48-52. (XIAO Jinxiang, XU Xiaoli, FENG Minyu, et al. Effect of soil moisture to agronomical characteristics, yield and chlorophyll of flue-cured tobacco[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 2007, 30(1) 48-52. (in chinese))
- [9] STEKAUEROVA NAGY KOTOROVA D. Soil water regime of agricultural field and forest ecosystem[J]. Biologia, 2006, 61(19):300-304.
- [10] ARYA L M, LEIJ F J. Scaling parameter to predict the soil water characteristic from particle-size distribution data[J]. Soil Science Society of America Journal, 1999, 63:510-519.
- [11] 陈佳勃, 钱晓刚, 李许滨, 等. 烟田土壤水分动态变化特征[J]. 贵州农业科学, 2006, 34(4):44-46.(CHEN Jiabo, QIAN Xiaogang, LI Xubin, et al. Dynamic characteristics of soil moisture in tobacco field[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2006, 34(4):44-46. (in chinese))
- [12] 汪耀富, 高华军, 邵孝侯. 蒸渗仪控制下烤烟土壤水分的时空动态研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3):152-155.(WANG Yaofu, GAO Huajun, SHAO Xiaohou. Study on temporal and spatial dynamics of soil moisture in flue-cured tobacco under control of lysimete[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(3):152-155. (in chinese))