

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2009.06.005

微喷条件下灌水量对烤烟生长发育和水分利用效率的影响

邱慧慧¹, 史宏志¹, 王太运², 刘国顺¹, 范艺宽³, 谢德平², 王广胜²

(1. 河南农业大学烟草学院, 河南 郑州 450002 ;

2. 平顶山市烟草公司, 河南 平顶山 467000 ; 3. 河南省烟草公司, 河南 郑州 450002)

摘要 : 介绍 2008 年在豫中烟区采用大田试验比较微喷灌溉不同灌水量及传统沟灌条件下烟株生长发育、产量、产值和水分利用效率的差异情况。试验结果表明, 在伸根期干旱情况下灌溉处理可显著促进烟株生长发育, 表现为株高增加, 茎围增大, 有效叶数增多, 叶面积扩大, 以总微喷量为 72 mm 的效果最好; 烟叶产量、产值以总微喷量 72 mm 的最高, 分别比不灌水对照增加 65.64% 和 103.35%。水分生产率和水分产值率以总微喷量 48 mm 的最高, 分别比传统沟灌提高 23.24% 和 48.29%。微喷各处理水分生产率和灌溉效率均显著高于传统沟灌, 灌水生产率、灌水产值率和灌水增产率以总微喷量 24 mm 的最高, 灌水增值率以总微喷量 48 mm 的最高。豫中烟区在正常气候条件下, 以总灌水量 48 ~ 72 mm 为宜。

关键词 : 微喷灌溉; 沟灌; 烟株长势; 经济性状

中图分类号 : S275.5 S572

文献标识码 : A

文章编号 : 1006-7647(2009)06-0017-04

Influence of micro-spraying amount on growth and water use efficiency of flue-cured tobacco // QIU Hui-hui¹, SHI Hong-zhi¹, WANG Tai-yun², LIU Guo-shun¹, FAN Yi-kuan³, XIE De-ping², WANG Guang-sheng² (1. National Tobacco Cultivation and Physiology and Biochemistry Research Center of Henan Agricultural University, Zhengzhou, 450002; 2. Pingdingshan Tobacco Company of Henan, Pingdingshan; 3. Henan Tobacco Company, Zhengzhou 450002)

Abstract : A field experiment was conducted in the tobacco-growing area in central Henan in 2008 to compare the difference in growth, yield, yield value and water use efficiency of flue-cured tobacco when different micro-spraying amounts are used and traditional furrow irrigation is adopted. The results indicate that, under drought conditions and in the root-spreading stage, irrigation treatment may significantly promote tobacco growth, as manifested by an increase in tobacco height, stem girth, effective leaf quantity and leaf area. The effect of this treatment is best when the irrigation amount is 36 mm and total micro-spraying amount is 72 mm. The yield and yield value of tobacco in the experiments were highest when the total micro-spraying amount was 72 mm, increasing by 65.64% and 103.35%, respectively, over the non-irrigated control group. The water production rate and water value rate were highest when the total micro-spraying amount was 48 mm, increasing by 23.24% and 48.29%, respectively, compared to traditional furrow irrigation. All micro-spraying treatments have a higher irrigation production rate, irrigation value rate, irrigation yield increase rate, and irrigation value increase rate, compared to traditional furrow irrigation. The irrigation production rate and irrigation value rate were highest when the total micro-spraying amount was 24 mm. The irrigation yield increase rate was the highest when the total micro-spraying amount was 24 mm or 48 mm. The irrigation value increase rate was highest when the total micro-spraying amount was 48 mm. Under normal climatic conditions, the recommended irrigation quota per time is 24-36 mm and the total irrigation amount is 48-72 mm.

Key words : micro-spraying irrigation; furrow irrigation; tobacco-growing conditions; economic character

土壤水分状况是影响烤烟产量和品质^[1]的关键因素之一。在烤烟生长发育过程中, 由于降雨量及其地域分布极不均匀, 阶段性的干旱时常发生, 对烟株的个体营养生长有明显影响^[2-4]。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^[5-7]。目前我国烟草灌溉手段和技术还比较落后, 主要采取大水漫灌的方式^[8], 不仅造成水资源浪费, 还使土壤理化性质遭到破坏, 养分大量淋失^[9], 对烤烟生长造成不利影响^[10], 特别是在北方烟区伸

基金项目 : 河南省烟草公司技术改进项目(HYKJ200701)

作者简介 : 邱慧慧(1984—), 女, 内蒙古呼伦贝尔人, 硕士研究生, 从事烟草栽培及其生理研究。E-mail : qihuihui99@163.com

通讯作者 : 史宏志(1963—), 男, 河南滑县人, 教授, 博士, 从事烟草栽培及其生理研究。E-mail : shihongzhi88@163.com

水利水电科技进展 2009 29(6) Tel : 025-83786335 E-mail : jz@hhu.edu.cn http://hkb.hhu.edu.cn

根期灌水会造成土壤温度下降,引发花叶病^[1],此外,早期灌水过多与烟株的需水规律不相符,不利于根系的建成和发育^[12-13]。因此发展烟草节水优化灌溉具有十分重要的意义。2008年在河南省平顶山市首先将微喷技术应用与烟草灌溉并取得显著的节水、省工效果^[14]。笔者探讨在微喷条件下不同灌水量对烟株生长发育、烟叶产量、质量及水分利用效率的影响,为烟田优化灌溉、提高烟叶的产量和品质提供理论依据和技术措施。

1 材料与方 法

1.1 地点与材料

试验于2008年在河南省平顶山市宝丰县石桥镇进行,供试品种选用当地主栽品种中烟100,漂浮育苗,由宝丰烟草公司提供。试验地土壤质地为壤土,地势平坦,地力水平中等偏上^[15]。烟苗于4月15日移栽,7月10日打顶,9月4日采收结束;基肥施用:每公顷条施复合肥225 kg、高效钾375 kg、饼肥300 kg、重钙225 kg;移栽时每公顷穴施复合肥75 kg。其他田间管理与当地大田水平一致。

1.2 试验设计

试验以全生育期不灌水和传统沟灌为对照,以不同灌水量为处理。各处理灌水方法、灌水定额、灌水次数及灌水量见表1。该区30年烟叶生长季节4~8月各月降雨量分别为44.2 mm、70.1 mm、12.8 mm、171.2 mm和153.1 mm,相应各月在2008年生长季节降雨量分别为45.6 mm、67.6 mm、8.3 mm、199.8 mm和168.1 mm,由此可见,2008年降雨量比较具有代表性,表现为旺长期之前土壤持续干旱。该试验灌水处理的2次灌水时间分别为6月1日、6月11日。试验采用单因素随机区组设计,3次重复,小区面积50 m×4.8 m,行距1.2 m,株距0.5 m。

表1 不同灌水量试验设计

处理	灌水方式	灌水定额/ mm	灌水次数/ 次	灌水量/ mm
1	微喷	12	2	24
2	微喷	24	2	48
3	微喷	36	2	72
4	沟灌	60	2	120

注:灌水量采用水表测量。

1.3 取样与方 法

每个小区选取长势均匀的10株烟株挂牌定株观察,分别在灌水后10 d、旺长期及成熟期测量农艺性状。测定指标为:株高、茎围、最大叶面积、有效叶片数。采收时每小区的烟株按部位分5次采收,利用密集烤房烘烤。记录各小区的产值、产量及均价。烟田耗水量用农田水分平衡法^[16-17]计算。水

分平衡方程式为

$$E_{T_a} = P + I - \Delta W$$

式中: E_{T_a} 为烟草生育期耗水量,mm,包括烟株蒸腾量与烟株间地表蒸发量; P 为烟草生育期的时段降水量,mm; I 为灌溉量,mm; ΔW 为作物不同生育时期的土壤储水变化量,即土壤储水消耗量。

土壤储水量公式为

$$W = 0.1r\rho_s h$$

式中: W 为不同深度的土壤储水量,mm; r 为土壤相对含水量,%; ρ_s 为土壤平均密度,g/cm³; h 为土层深度,cm,0.1为换算系数。

微喷灌溉条件下烤烟产量、产值和水分利用效率等的计算公式如同水分生产率^[18]的计算公式:

$$W_P = \frac{y}{e} \quad W_V = \frac{m}{e}$$

$$I_P = \frac{y}{i} \quad I_V = \frac{m}{i}$$

$$\Delta W_P = \frac{y - y_c}{i} \quad \Delta I_V = \frac{m - m_c}{i}$$

式中: W_P 为水分生产率,kg/(hm²·mm); y 为每公顷烟叶产量,kg; e 为生育期耗水量,mm; W_V 为水分产值率,元/(hm²·mm); m 为每公顷烟叶产值,元; I_P 为灌水生产率,kg/(hm²·mm); i 为生育期灌水量,mm; I_V 为灌水产值率,元/(hm²·mm); ΔW_P 为灌水增生产率,kg/(hm²·mm); y_c 为对照每公顷烟叶产量,kg; ΔI_V 为灌水增值率,元/(hm²·mm); m_c 为对照每公顷烟叶产值,元。

2 结果与分析

2.1 灌水量对烟株生长发育的影响

2.1.1 对烟株株高的影响

在烟叶伸根期,烟叶出现干旱情况时进行灌水对烟株生长具有显著的促进作用。由表2可知,第1次灌水后10 d(6月11日),灌水处理的烟株均高于未灌水对照的,且随着灌水量的增加,烟株生长加快,传统沟灌60 mm与每次微喷36 mm处理分别比对照株高增加45.5%和37.6%。第2次灌水后10 d(6月21日),灌水处理的烟株株高与未灌水对照差异进一步加大,其中沟灌60 mm处理与每次微喷36 mm处理的株高基本相同,都显著高于对照;旺长期后期,微灌36 mm处理的烟株株高超过沟灌的株高;烟株打顶后进入成熟期,由于自然降雨补充土壤水分,未灌水的对照烟株生长量相对较大,但株高仍然最低,各灌水处理的烟株株高增加量相对较小,以微喷36 mm处理的最高,其次为沟灌60 mm和微喷24 mm处理。

表 2 灌水量对不同生长时期烟株株高的影响

调查日期	株高/cm				
	$i = 0\text{ mm}$	$i = 12\text{ mm}$	$i = 24\text{ mm}$	$i = 36\text{ mm}$	$i = 60\text{ mm}$
06-11	45.2	50.5	53.3	62.2	65.8
06-21	60.4	71.6	80.6	92.2	94.3
07-08	95.0	102.6	112.4	122.4	118.6
07-29	101.2	104.6	118.6	125.8	121.2

注: i 表示每次灌水量,下同。

2.1.2 对烟株茎围的影响

从表 3 可以看出,第 1 次灌水后 10 d,灌水处理的烟株随着灌水量的增加其茎围加粗,但当灌水量达到 36 mm 时随着灌水量的增加烟株茎围反而减小,微喷 36 mm 处理与微喷 24 mm 处理的烟株茎围相同,沟灌 60 mm 处理的烟株茎围小于微喷 36 mm 处理的烟株茎围,两者分别比对照茎围增粗 7.69% 和 15.38%;第 2 次灌水后 10 d,灌水处理的烟株茎围与未灌水对照的烟株茎围差距进一步拉大,微喷 36 mm 处理的烟株茎围最大,沟灌 60 mm 处理的烟株茎围为除对照外最细的,旺长后期,灌水处理的烟株茎围差异明显,微喷 36 mm 处理的烟株茎围最粗,微喷 12 mm 处理的烟株茎围与未灌水对照的基本相同,沟灌 60 mm 处理的烟株茎围与微喷 24 mm 处理的烟株茎围基本相同,烟株打顶后进入成熟期,各处理烟株的茎围基本无变化。

表 3 灌水量对不同生长时期烟株茎围的影响

调查日期	茎围/cm				
	$i = 0\text{ mm}$	$i = 12\text{ mm}$	$i = 24\text{ mm}$	$i = 36\text{ mm}$	$i = 60\text{ mm}$
06-11	6.5	7.0	7.5	7.5	7.0
06-21	7.8	8.3	8.8	9.1	8.2
07-08	8.8	9.0	10.4	10.9	10.3
07-29	8.8	9.0	10.4	10.9	10.3

2.1.3 对烟株叶片数的影响

与对照相比,灌水可显著促进叶片的出生和生长。由表 4 可知,第 1 次灌水后 10 d,灌水各处理有效叶片数均显著多于未灌水对照,且随着灌水量的增加,有效叶片数有增加的趋势,除微喷 12 mm 外,其他处理间的差异较小,第 2 次灌水后 10 d,烟株有效叶片数随着灌水量的增加也随之增加,与未灌水对照相比,灌水 12 mm,24 mm,36 mm 和 60 mm 各处理的烟株有效叶片数分别增加 10.93%,17.18%,22.92%,17.18%,旺长后期,烟株有效叶片数以微喷 36 mm 处理的最多,较沟灌 60 mm 处理的多

表 4 灌水量对不同生长时期烟株有效叶数的影响

调查日期	有效叶片数/片				
	$i = 0\text{ mm}$	$i = 12\text{ mm}$	$i = 24\text{ mm}$	$i = 36\text{ mm}$	$i = 60\text{ mm}$
06-11	16.1	17.6	18.6	18.8	18.7
06-21	17.8	19.8	20.4	22.2	22.8
07-08	19.2	21.3	22.5	23.6	23.1
07-29	19.2	21.3	22.5	23.6	23.1

2.61%,烟株打顶后进入成熟期,各处理烟株的有效叶片数无变化。

2.1.4 对烟株最大叶面积的影响

从表 5 可知,第 1 次灌水后 10 d,灌水各处理随着灌水量的增加最大叶面积逐渐增大,但当每次灌水量大于 36 mm 时最大叶面积反而减小,微喷 36 mm 处理和沟灌处理与未灌水对照相比,最大叶面积分别增加 61.08% 和 51.4%;第 2 次灌水后 10 d(6 月 21 日),不同灌水量间烟株最大叶面积差异十分明显,微喷 12 mm,36 mm 及沟灌 60 mm 处理分别较未灌水对照增加 9.59%,60.46%,58.15%,旺长后期,微喷 12 mm 处理的最大叶面积与对照相比,烟株最大叶面积的差异明显增大,烟株打顶后,灌水处理的烟株最大叶面积均迅速增加,沟灌 60 mm 处理的烟株最大叶面积超过微喷 36 mm 处理的烟株最大叶面积,由于自然降雨补充了土壤水分,未灌水的对照烟株最大叶面积增加量最大。

表 5 灌水量对不同生长时期烟株最大叶面积的影响

调查日期	最大叶面积/cm ²				
	$i = 0\text{ mm}$	$i = 12\text{ mm}$	$i = 24\text{ mm}$	$i = 36\text{ mm}$	$i = 60\text{ mm}$
06-11	885.5	1167.5	1300.5	1426.3	1340.6
06-21	1209.1	1325.3	1758.2	1940.1	1912.2
07-08	1422.2	1750.1	2119.4	2248.2	2191.6
07-29	2516.5	2738.3	2775.7	2886.1	2964.4

2.2 灌水量对烟叶经济性状的影响

试验表明,在烟叶旺长前干旱情况下进行灌水可显著促进烟叶产量、产值的增加(表 6)。灌水定额 12 mm,24 mm,36 mm,60 mm 的烟株与未灌水对照相比,产量分别增加 33.82%,62.65%,65.64%,51.22%;产值分别增加 42.08%,95.69%,103.35%,89.29%,均价分别增加 6.14%,18.09%,24.97%,18.01%。烟叶产量、产值、均价均以总微喷量 72 mm 的最高,但与总微喷量 48 mm 的相比无显著差异。传统沟灌方法灌水量大,该试验中灌水量达 120 mm,其增产幅度反而低于采用总微喷量 72 mm 和总微喷量 48 mm 的处理,表明节水灌溉具有更大的增产潜力。

表 6 不同灌水量对烟叶经济性状的影响

灌水定额/ mm	灌水 方式	总灌水量/ mm	产量/ (kg·hm ⁻²)	产值/ (元·hm ⁻²)	均价/ (元·kg ⁻¹)
0		0	1654.5	20193.9	12.21
12	微喷	24	2214.0	28693.4	12.90
24	微喷	48	2691.0	39518.0	14.40
36	微喷	72	2740.5	41064.6	15.30
60	沟灌	120	2502.0	38226.9	14.41

2.3 灌水量对烟叶水分生产率和灌溉效率的影响

2.3.1 对水分生产率的影响

水分生产率反映烟叶对水分的利用效率。由表 7 可以看出,随着灌水量的增加耗水量也逐渐增加。采用微喷方法进行节水灌溉可显著提高烟叶的水分

生产率:总微喷量 48 mm 处理的水分生产率最高,为 $5.52 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$,比不灌水对照的增加 23.48%;随着耗水量的进一步增加,水分生产率增加幅度反而下降,总微喷量 72 mm 处理的水分生产率为 $5.35 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$,比不灌水对照的增加 19.71%;传统沟灌 120 mm 处理的水分生产率为 $4.77 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$,仅比对照的增加 6.73%。水分产值率与水分生产率表现出相同的变化趋势,以总微喷量 48 mm 的最高,其次为总微喷量 72 mm 的。

表 7 不同灌水量对烟叶水分生产率的影响

总灌水量/ mm	灌水方式	降雨量/ mm	耗水量/ mm	水分生产率/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$)	水分产值率/ ($\text{元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$)
0		443.8	369.59	4.47	54.64
24	微喷	443.8	475.82	4.65	60.30
48	微喷	443.8	487.74	5.52	81.02
72	微喷	443.8	511.43	5.35	80.29
120	沟灌	443.8	523.67	4.77	72.99

2.3.2 对烟叶灌水生产率的影响

灌水生产率直接反映灌水的利用效率。由表 8 可以看出,传统沟灌方式的灌水量大,灌水生产率最低,微喷节水灌溉可以显著提高灌水生产率,提高水分的利用率。随着灌水量的增加灌水生产率呈下降趋势,总微喷量 24 mm 处理的灌水生产率较高,表明在干旱情况下,较小的灌水量可以充分发挥灌溉水的作用,提高灌溉水的利用率。同样地,灌水产值率也以总微喷量 24 mm 的最高,其次为总微喷量 48 mm 和总微喷量 72 mm 的,均显著高于传统沟灌,其中总微喷量 24 mm 和总微喷量 48 mm 处理的产值率分别比沟灌 120 mm 的产值率高 275.31% 和 158.44%。各灌水处理与不灌水对照相比均有显著的增产增值作用,但每单位灌水量每单位面积的增产量(灌水增产率)和增值量(灌水增值率)不尽相同,微喷节水灌溉处理的显著高于传统沟灌方式的,其中灌水增产率以总微喷量 24 mm 和总微喷量 48 mm 的较高,灌水增值率以总微喷量 48 mm 的最高。

表 8 不同灌水量对烟叶灌水生产率的影响

总灌水量/ mm	灌水方式	灌水生产率/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$)	灌水产值率/ ($\text{元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$)	灌水增产率/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$)	灌水增值率/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$)
24	微喷	92.250	1195.56	23.31	354.14
48	微喷	56.062	823.29	21.59	402.58
72	微喷	28.545	427.75	11.31	217.40
120	沟灌	20.850	318.56	7.06	150.27

3 结 语

豫中烟区属于半丰水易旱区,在烟叶移栽后至旺长期干旱频率较高,对烟叶生长发育造成直接影

响。该试验表明,在伸根期干旱情况下灌溉处理与不灌水的对照相比烟株生长得到显著促进,表现为株高增加、茎围增大、有效叶片数增多、叶面积扩大。微喷节水灌溉与传统沟灌相比具有很多优点,不仅节水、省时,还可及时、定量、均匀地供应烟株生长所需要的水分。该试验中以灌水总量 72 mm 处理对促进烟叶生长发育效果最好,优于传统沟灌(总灌水量 120 mm)或无显著差异,灌水总量 48 mm 处理的烟株生长发育与传统沟灌差异较小,特别是在烟株生长后期,节水灌溉优势明显。传统沟灌处理的烟株生育前期的株高最高、有效叶片数最多,但生育后期株高、茎围、有效叶片数均低于总灌水量 72 mm 处理的烟株。

灌水可显著促进烟叶产量、产值的增加,烟叶产量、产值以总微喷量 72 mm 的最高,且与总微喷量 48 mm 的无显著差异,两者结果均高于传统沟灌方法,表明节水灌溉具有更大的增产、增值潜力。微喷节水灌溉对提高烟叶水分利用率和灌水利用率效果十分显著。水分生产率和水分产值率以总微喷量 48 mm 处理的最高,总微喷量 72 mm 处理的次之。传统沟灌方式的灌水量大,灌水生产率低,采取微喷节水灌溉方式可以显著提高灌水生产率,提高水分的利用率。总微喷量 24 mm 处理的灌水生产率和灌水产值率最高,灌水增产率以总微喷量 24 mm 和 48 mm 处理的较高,灌水增值率以总微喷量 48 mm 处理的最高。在宝丰地区正常气候条件下,综合考虑灌水量对产量、产值和水分利用效率的影响,以每次灌水定额 24~36 mm 为宜。

微喷灌溉的增产增值作用与其有利于增加土壤耕层有效养分含量、减少养分淋失、提高肥料利用率、保持土壤结构良好、烟株根系发育较好有关。传统沟灌的灌水量过大,对养分的吸收和利用会产生负面影响:一是土壤中的硝态氮和微量元素产生淋洗损失,直接导致养分流失,降低肥料的利用率^[1];二是会使土壤透气性变差,造成土壤缺氧,引起反硝化作用,造成脱氮损失^[20];三是水分过多,抑制根系向纵深发展,致使根系分布浅^[5]、根量减少,抗倒性、抗旱性下降,不利于根系对养分特别是深层养分的吸收利用。因此,微喷灌溉在烟草生产中具有较大的推广利用价值。

参考文献:

- [1] 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.

(下转第 24 页)

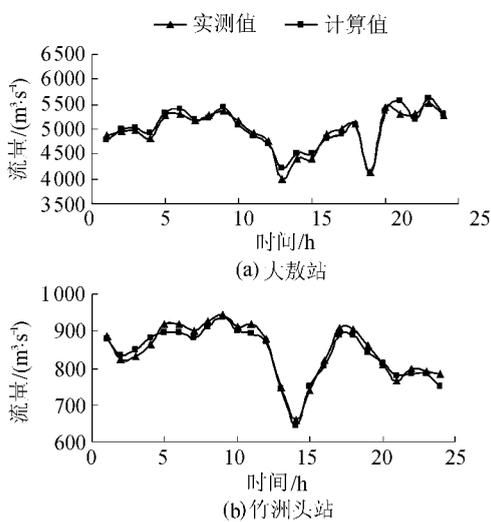


图4 部分验证断面的流量计算值与实测值比较

智能调参代替人工调参成为可能,既充分利用了实测的数据资源,也节省了人力物力。从计算结果看,计算值和实测值的吻合程度较好,说明本文的智能调参模型能较准确地率定河网各河段的糙率。

参考文献:

[1] 顾元,王尚毅,郭传镇.具有岔道支流的明渠不恒定计算[J].天津大学学报,1985(1):55-64.

[2] 杨世孝,肖子良.一维不恒定流方程组的一种隐式特征差分格式[J].中山大学学报:自然科学版,1992,31(4):26-32.

[3] 李岳生,杨世孝,肖子良.河网不恒定流隐式方程组的稀疏矩阵解法[J].中山大学学报:自然科学版,1977(3):27-37.

[4] DRONKERS J J. Tidal computations of rivers, coastal areas and sea[J]. Journal of Hydraulic Division, ASCE, 1969, 95(1):29-37.

[5] 张二俊,张东生,李挺,等.河网非恒定流三级联合算法[J].华东水利学院学报,1982(1):1-13.

[6] 吴寿红.河网非恒定流四级解算法[J].水利学报,1985(8):42-50.

[7] 李义天.河网非恒定流隐式方程组的汉点分组解法[J].水利学报,1997(3):49-57.

[8] FREAD D L, SMITH G F. Calibration techniques for 1-D unsteady flow models[J]. Journal of Hydraulic Division, ASCE, 1978, 104(7):1027-1043.

[9] 金忠青,韩龙喜,张建.复杂河网的水力计算及参数反问题[J].水动力学研究与进展,1998,13(3):280-285.

[10] 韩龙喜,金忠青.三角联解法水力水质模型的糙率反演及面污染源计算[J].水利学报,1998(7):30-34.

[11] ATANOV G A, EVSEVA E G, MESELHE E A. Estimation of roughness profile in trapezoidal open channel[J]. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 1999, 125(3):309-312.

[12] 李光焯,周晶晏,张贵寿.用卡尔曼滤波求解河道糙率参数反问题[J].河海大学学报:自然科学版,2003,31(5):490-493.

[13] DING Y, JIA Y, WANG S S Y. Identification of manning's roughness coefficient in shallow water flows[J]. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 2004, 130(6):501-510.

[14] 程伟平,刘国华.基于广义逆理论的河网糙率反演研究[J].浙江大学学报,2005,39(10):1063-1068.

[15] 刘志贤.基于遗传算法的河网糙率反演分析研究[D].杭州:浙江大学,2008.

[16] 钟娜.复式河道一维数值模拟[D].南京:河海大学,2007. (收稿日期:2008-11-24 编辑:马敏峰)

(上接第20页)

[2] 孙梅霞,汪耀富,张全民.烟草生理指标与土壤含水量的关系[J].中国烟草科学,2000,21(2):30-33.

[3] 伍贤进.土壤水分对烤烟某些生理特性影响的研究[J].吉林农业大学学报,1998,20(2):22-25.

[4] 汪耀富,阎栓年,于建军,等.土壤干旱对烤烟生长的影响及机理研究[J].河南农业大学学报,1994(3):250-256.

[5] 刘国顺.烟草栽培学[M].北京:中国农业出版社,2003:212-224.

[6] 史宏志,刘国顺,刘建利,等.烟田灌溉现代化创新模式的探索与实践[J].中国烟草学报,2008,14(2):44-49.

[7] 阿吉艾克·拜尔,邵孝侯,钟华,等.调亏灌溉及其对烟草生长发育的影响研究[J].河海大学学报:自然科学版,2006,34(2):171-174.

[8] 汪耀富,蔡寒玉,张晓海,等.我国烟草优化灌溉技术发展的策略与措施[J].中国烟草科学,2007,28(1):6-9.

[9] 谷秋荣,杨占平,王秋杰,等.不同灌水量对土壤氮磷钾养分移动的影响[J].干旱地区农业研究,2002,20(4):13-17.

[10] 袁有波,李继新,苏贤坤,等.节水灌溉条件下水氮耦合对烤烟生长发育及生理性状的影响[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(6):781-785.

[11] 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.

[12] 李进平,陈振国,杨艳华,等.水分条件对烤烟生理指标的影响及适宜土壤水分指标研究[J].灌溉排水学报,2007,26(1):93-96.

[13] 蔡寒玉,汪耀富,李进平,等.土壤水分对烤烟形态和耗水特征的影响[J].灌溉排水学报,2005,24(3):38-41.

[14] 钟华,邵孝侯,阿吉艾克·拜尔,等.我国烟草节水优化灌溉和水肥耦合技术综述[J].水利水电科技进展,2005,25(3):68-70.

[15] 陈海生,魏跃伟,刘国顺,等.基于GIS的平顶山烟区土壤肥力适宜性研究[J].河南农业大学学报,2008,42(5):546-549.

[16] 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.

[17] 汪耀富,李广安,张新堂.不同灌水条件下烤烟耗水特征和用水效率的研究[J].中国烟草,1995,(1):4-8.

[18] 彭世彰,边立明,朱成立.作物水分生产函数的研究与发展[J].水利水电科技进展,2000,20(1):17-20.

[19] 苏贤坤,张晓海.水肥交互作用对烤烟生长发育和烟叶品质的影响[J].烟草农业科学,2005,(1):42-46.

[20] 张永丽,于振文.灌水量对不同小麦品种籽粒品质、产量及土壤硝态氮含量的影响[J].水土保持学报,2007,21(5):650-654.

(收稿日期:2009-02-17 编辑:高建群)