

贵州省植烟土壤干旱预测模型初步研究

胡家敏¹ ,李继新² ,陈中云¹ ,代丽丹³ ,王 宇³

(1. 贵州省山地气候与资源重点实验室 ,贵州 贵阳 550002 ; 2. 贵州省烟草科学研究所 ,贵州 贵阳 550002 ;
3. 河海大学水利水电学院 ,江苏 南京 210098)

摘要 :采用 FAO—56 推荐的方法 ,计算贵州省的参考作物每日蒸散量。根据烤烟不同生育期的需水特性及土壤水平衡原理 ,建立了适合贵州省烤烟生产的烟地水分预测模型 ,并用实际观测数据对模拟值进行验证 ,效果较好。

关键词 :烤烟种植 ;需水特性 ;土壤干旱预测 ;数学模型 ;贵州省

中图分类号 :S274.1 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2010)05-0045-03

Preliminary study on drought prediction model for tobacco planting soils in Guizhou Province//HU Jia-min¹ , LI Ji-xin² , CHEN Zhong-yun¹ , DAI Li-dan³ , WANG Yu³ (1. Guizhou Key Laboratory of Mountainous Climate and Resources , Guiyang 550002 , China ; 2. Guizhuo Tobacco Research Institute , Guiyang 550002 , China ; 3. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : By use of the method recommended by FAO-56 , the daily evaporation of reference crop in Guizhou Province was calculated. Based on the water requirement characteristics of tobacco during different growth phases and the principle of soil water balance , a drought prediction model for tobacco planting soils in Guizhou Province was established. The model results were validated by the observed data , and satisfactory agreement was achieved.

Key words : tobacco planting ; water requirement characteristic ; soil drought prediction ; mathematical model ; Guizhou Province

烟草是我国重要的经济作物和嗜好性作物 ,也是贵州省主要的经济作物及财政收入来源。贵州省由于特有的地理环境 ,造成了复杂多样的气候类型 ,降水充沛 ,但时间和空间分布严重不均 ,容易出现季节性的干旱(春旱、夏旱)^[1]。据研究 ,干旱是影响贵州省烤烟产量和品质的最主要的气象灾害之一^[2-5]。因此 ,研究烟地水分预测模型 ,对烟草的水分管理和提高产量及品质具有重要意义。

国内外对干旱的研究和业务应用多集中在干旱的监测和监测预警上 ,而且多采用单一的指标进行监测 ,例如降水量、连续无雨日数、降水距平百分数、SPI 指数、帕墨尔干旱指数指标、土壤相对湿度指标等等^[6-7] ,而客观上生产部门对土壤水分未来的发展结果以及何时需要灌溉是最为关心的。近年来 ,国内也陆续开展了干旱预测预警的研究和业务 ,如刘荣花等^[8]利用中长期预报结果对常年平均气象要素的修正、水量平衡原理等实现对未来时段的土壤相对湿度的预测 ,马晓群等^[9]利用累积湿润度指数 M_i 进行旱涝的预测预警。然而笔者认为这些研究仍然

没有完全将作物放在一个系统内进行综合考虑 ,对土壤也只是考虑了其水文物理特性 ,没有考虑到天气、土壤对作物水分利用的影响。针对此 ,笔者不但考虑了气候条件对烤烟作物需水的影响 ,同时也考虑了土壤对烤烟的影响。

1 资料与方法

气象资料由贵州省气候中心提供 ,包括逐日的日最高气温、日最低气温、空气平均水汽压、日照时数、风速等。

1.1 参考作物蒸散量的计算方法

参考作物蒸散量的计算模型是作物需水量研究中最重要内容^[10] ,也是土壤水分预测模型中的重点 ,参考作物蒸散量从热力学和动力学角度考虑了各种气候因子对作物需水量的影响 ,其本质是一种气候因子的函数 ,表明了大气蒸发能力的大小 ,彭曼-蒙特斯公式是目前公认的主要用于计算参考作物蒸散量的公式^[11] :

基金项目 :贵州省烟草专卖局(公司)科学研究与技术开发项目(2007) ;贵州省 2008 年生态与农业气象创新团队基金(2008-IP02)

作者简介 :胡家敏(1971 —) ,女 ,安徽肥西人 ,工程师 ,硕士 ,从事山地气象研究。 E-mail :hujiamin71@126.com

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

$$\text{其中} \quad R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (2)$$

$$R_{ns} = (1 - 0.23) \left(0.248 + 0.752 \frac{n}{N} \right) R_{s0} \quad (3)$$

$$R_{nl} = \sigma \left(\frac{T_{\max,k}^4 + T_{\min,k}^4}{2} \right) (0.56 - 0.08 \sqrt{e_a}) \cdot \left(0.1 + 0.9 \frac{n}{N} \right) \quad (4)$$

式中: R_n 为净辐射; R_{ns} 为净短波辐射; R_{nl} 为净长波辐射; G 为土壤热通量, 相对净辐射而言很小, 本研究以日为步长, 根据 FAO—56 的规定取 $G \approx 0$; γ 为干湿常数; T 为日平均气温; U_2 为离地面 2 m 高的风速; e_s 为饱和水汽压; e_a 为实际水汽压; Δ 为饱和水汽压曲线斜率; R_{s0} 为晴天辐射; σ 为波尔兹曼常数 $\sigma = 4.903 \times 10^{-9} \text{ MJ} \cdot ^{-4} \text{ m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; $T_{\max,k}$ 为日最高气温; $T_{\min,k}$ 为日最低气温; n 为日照时数; N 为可照时数。

净辐射的计算关键是确定经验系数, 笔者采用王懿贤的经验系数来计算短波辐射和长波辐射, 其结果符合我国实际状况, 应用较为广泛^[12-13]。

1.2 烤烟实际蒸散量的计算方法

实际蒸散量是烤烟需水量研究中最重要研究内容, 其值与潜在蒸散及不同的作物有关, 也是土壤水分预测模型中的重点。在土壤能够完全供水的条件下, 单作物的实际蒸散量计算公式如下:

$$ET_c = K_c ET_0 \quad (5)$$

K_c 的取值随着作物生育期的变化而不同, 其仅仅与作物及生育期有关^[11]。FAO—56 推荐采用分段单值平均法确定作物系数, 即把全生育期的作物系数变化过程概化为 4 个阶段, 并分别采用 3 个作物系数值 $K_{c_{ini}}$, $K_{c_{mid}}$ 和 $K_{c_{end}}$ 表示。河南农业大学的何建^[14]利用实验方法测出烤烟 3 个不同生育期的作物系数分别为 0.93, 1.13, 0.54。

当土壤不能完全供水时, 作物实际蒸散量的计算是通过式(5)再耦合土壤水分修正系数 K_s 进行修正。 K_s 反映土壤的供水能力, 其计算公式为

$$ET_c = K_s K_c ET_0 \quad (6)$$

2 植烟土壤水分的预测模型

2.1 土壤有效水分及烤烟根区有效水分

土壤有效水分 (W_{TAW}) 指作物可以利用的土壤水分, 可以用下式来计算:

$$W_{TAW} = 0.1 (\theta_{FC} - \theta_{WP}) Z_R \quad (7)$$

式中: W_{TAW} 为根区土壤有效含水量, mm; ρ 为根层土

壤平均密度, g/cm^3 ; θ_{FC} 为田间持水量, %; θ_{WP} 为凋萎含水率, %; Z_R 为作物根区深度, cm。

烟田中土壤的有效水分并不是完全都能被烟株利用, 当土壤水分足够的时候, 能够满足烟株的需求, 作物吸收的水分就等于 ET_c 。随着土壤水分的下降, 下降到某个阈值时烟株吸收水分开始变得越来越困难。烟株不受水分胁迫作用时所消耗的水分定义为烟株的适宜水分 (W_{RAW}), 其大小可用下式表示:

$$W_{RAW} = P W_{TAW} \quad P \in (0, 1) \quad (8)$$

P 值的大小可以反映烟株对土壤有效水分的吸收能力, 即反映烟株的生物学特性, 而且 P 值也随着大气蒸发力的增大而减小, 即土壤蒸发能力增大时用于烟株生长发育的适宜水分减少。

2.2 植烟土壤水分的预测模型

根区的土壤水分被作物消耗的部分定义为根区耗水 (D_r), 假定在土壤水分处于田间持水量的时候 D_r 记为 0, 随着烟株蒸散消耗 D_r 增大。烤烟根系的耗水与根区的土壤供水能力有关, 土壤的供水能力反映了土壤在 2 种不同状态下可用土壤水分的比值大小, 分子是实际的土壤可用水分 (土壤有效水分与根区耗水之差), 分母是烟株根系不受水分胁迫时的土壤可用水分 (土壤有效水分与烟株适宜水分之差)。当 $D_r \leq W_{RAW}$ 则 K_s 记为 1; 当 $D_r > W_{RAW}$ 时就会产生水分胁迫作用, 此时 K_s 就会小于 1。 K_s 的表达式为

$$K_s = \begin{cases} \frac{W_{TAW} - D_r}{(1 - P) W_{TAW}} & D_r > W_{RAW} \\ 1 & 0 < D_r \leq W_{RAW} \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{其中} \quad W_{TAW} = 0.1 (\theta_{FC} - \theta_{WP}) Z_R \quad (10)$$

计算 D_r 需要用到烟株根区的土壤水量平衡法:

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P_i - q_{RO_i}) - I_i - q_{CR_i} + ET_{c,i} + q_{DP_i} \quad (11)$$

式中: $D_{r,i}$ 为计算日根区土壤耗水量; $D_{r,i-1}$ 为计算日前一天的根区土壤耗水量; P_i 为日降雨量; q_{RO_i} 为径流量; I_i 为日灌溉量; q_{CR_i} 为毛管上升水量; $ET_{c,i}$ 为烟株每日蒸散量; q_{DP_i} 为作物根区渗漏量, 在地下水位的深度大于 1 m 时, $q_{CR_i} = 0$, 当根区土壤水分在田间持水量以下时 $q_{DP_i} = 0$ 。

如果没有降水, 也没有灌溉的情况下, 则可以把 D_r 的计算公式简化为

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} + ET_c K_s \quad (12)$$

根据烟株根区水量平衡原理可得出简化的土壤相对湿度的预测模型如下:

$$r_{RM_i} = \left[1 - \frac{D_r}{0.1(\theta_{FC} - \theta_{WP})Z_R} \right] \times 100\% \quad (13)$$

式中： r_{RM_i} 为预测的土壤相对湿度。

3 预测模型的验证结果

贵州省烤烟大县思南县几乎每年都有伏旱,烤烟试验点思南站 2007 年 8 月 8 日所测的土壤相对湿度为 70%,且接下来的 10 d 无有效降水。已知 $P = 0.40$, $K_e = 0.85$, $\theta_{FC} = 0.37$, $\theta_{WP} = 0.14$, $Z_R = 0.04\text{ m}$, $\rho = 1.415\text{ g/cm}^3$, 初始相对湿度 $R_M = 70\%$, $W_{RAW} = 53.4\text{ mm}$, $W_{TAW} = 133.3\text{ mm}$, $D_r = 40.0\text{ mm}$, 参考作物蒸散量等数据为利用 2007 年的实际观测的气象数据通过彭曼-蒙特斯计算而得(气象要素值见表 1)根据预测模型(式 12 及 13)进行 10 次迭代获得未来 10 d 的逐日土壤根区耗水(D_r)、土壤水分修正系数 K_s 以及土壤相对湿度,见表 2。

表 1 2007 年 8 月 9—18 日各气象要素值

日最高气温/ ℃	日最低气温/ ℃	日照 时数/ h	日平均 风速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	日平均 水汽压/ hPa	ET_0 计算值/ ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$)
35.0	25.0	8.0	0.8	28.9	2.25
35.4	25.3	8.9	0.7	28.5	2.24
30.6	25.7	0.9	1.2	28.3	1.87
31.1	24.0	5.1	1.8	24.6	2.51
33.9	23.2	8.5	0.9	24.0	2.31
35.6	23.7	10.6	1.0	22.8	2.53
34.6	21.4	8.8	1.1	22.5	2.48
33.1	21.5	7.4	1.2	22.0	2.42
28.9	22.7	0	0.7	23.1	1.60
34.3	22.8	7.6	0.8	24.9	2.13

从表 1 中可知在无有效降水以及烤烟成熟期 P 值取 0.40 的情况下,土壤相对湿度实际观测值的变化趋势与模型预测值的变化趋势是一致的,而且预测值与观测值比较吻合,且能反映出在未来第 7 天结束时 $D_{r,i\text{终}}$ (53.9 mm) > W_{RAW} , 土壤供水系数 K_s 从第 8 天开始小于 1,土壤出现了轻微的干旱,此时的土壤相对湿度计算值为 57%,与用此指标来判断烟地的旱情结果是一致的^[15]。

4 结 语

在充分考虑烤烟、土壤以及大气相互影响的条件下,根据水分平衡原理构建了适合贵州烤烟种植区土壤水分的简化预测模型。该模型简单,预测效果较好,可以在实际应用中推广使用。烤烟干旱预测模型的研究将会对贵州省烤烟实时灌溉预报与决策专家系统^[16]提供数据支撑作用,从而对减轻贵州省烤烟干旱气象灾害影响、提高烟叶的产量和品质起到较好促进作用。

表 2 利用水量平衡预测未来 10 d 烤烟根区土壤水分

时间/ d	ET_0 / ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$)	K_e	ET_c / ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$)	$D_{r,i\text{始}}$ / mm
1	2.25	0.85	1.91	40.0
2	2.24	0.85	1.90	41.9
3	1.87	0.85	1.59	43.5
4	2.51	0.85	2.13	45.6
5	2.31	0.85	1.96	47.6
6	2.53	0.85	2.15	49.7
7	2.48	0.85	2.11	51.8
8	2.42	0.85	2.06	53.9
9	1.6	0.85	1.36	55.3
10	2.13	0.85	1.81	57.0

时间/ d	K_s	$D_{r,i\text{终}}$ / mm	$r_{RM\text{预测}}$ / %	$r_{RM\text{观测}}$ / %
1	1.00	41.9	67	—
2	1.00	43.5	66	—
3	1.00	45.6	64	—
4	1.00	47.6	63	—
5	1.00	49.7	61	65
6	1.00	51.8	60	—
7	1.00	53.9	59	—
8	0.99	55.3	57	—
9	0.98	57.0	56	—
10	0.95	59.0	54	53

参考文献：

[1] 李良骥,杨恕良,黄肇玉,等.贵州省农业气候区划[M].贵阳:贵州人民出版社,1989:8-13.

[2] 王小东,李志勇,付国占,等.不同水分管理条件烤烟的生长及品质研究[J].河南农业大学学报:农学版,2003,23(2):14-16.

[3] 卢兆民,姜冬梅,夏福华,等.烤烟生产与气象条件分析[J].现代农业科技,2007(10):128.

[4] 张家智.云烟优质适产的气候条件分析[J].中国农业气象,2000,21(2):17-21.

[5] 林敬凡,熊杰伟,鲁心正,等.气候因子对烤烟质量的影响[J].河南气象,1994(1):29-31.

[6] 徐祥德,王馥棠,萧永生,等.农业气象灾害防灾调控工程与技术系统[M].北京:气象出版社,2002:24-30.

[7] 王春乙.重大农业气象灾害研究进展[M].北京:气象出版社,2007:28-36.

[8] 马晓群,吴文玉,张辉,等.利用累积湿润指数分析江淮地区农业旱涝时空变化[J].资源科学,2008,30(3):371-377.

[9] 刘荣花,朱子玺,邓天宏,等.河南省墒情预报业务服务系统[J].气象,2005,31(8):77-80.

[10] 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,1999:45-50.

[11] RICHARD G, ALLEN, LUIS S, MARTIN S. FAO irrigation and drainage paper No. 56[R]. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2000:18-40.

[12] 左大康,王懿贤,陈建绥.中国地区太阳总辐射的空间分布特征[M].北京:科学出版社,1993:168-185.

(下转第 89 页)

[C]//吴有生,刘桦,许唯临,等.第九届全国水动力学学术会议暨第二十二届全国水动力学研讨会论文集.北京:海洋出版社,2009.924-931.

[28]彭建,王仰麟.我国沿海滩涂景观生态初步研究[J].地理研究,2000,19(3):249-256.

[29]杨竞寸.沿海滩涂生态工程构造及其做法[J].农业环境保护,1996,15(2):94-96.

[30]刘青松,李杨帆,朱晓东.江苏盐城自然保护区滨海湿地生态系统的特征与健康设计[J].海洋学报:中文版,2003,25(3):143-148.

[31]丁涛,郑君,韩曾萃,钱塘江河口滩涂开发经济效益评估[J].水利经济,2009,27(3):25-29.

[32]王灵敏,曾金年.浙江省滩涂围垦与区域经济的可持续发展[J].海洋学研究,2006,24(S1):13-19.

[33]冯利华,鲍毅新.滩涂围垦区的 PRED 关系:以慈溪市为例[J].海洋科学,2006,30(4):88-91.

[34]吴维登,张长宽.厦门市滩涂价值的模糊测算[J].水利经济,2009,27(2):9-11.

[35]杨竞寸.沿海滩涂开发与小城镇建设[J].海洋开发与管理,1995,15(2):5-7.

[36]丁金海,尹金来,洪立洲,等.沿海滩涂大面积养鱼的经济效益分析[J].农业科技通讯,2003(6):99-100.

[37]于文金,邹欣庆,朱大奎.江苏沿海滩涂地区农户经济行为研究[J].中国人口·资源与环境,2006,16(3):124-129.

[38]郑培迎.开发滩涂切莫“贪图”浅海滩涂开发中存在的问题与对策[J].海洋开发与管理,1996(3):76-80.

[39]杨宝国,王颖,朱大奎.中国的海洋海涂资源[J].自然资源学报,1997,12(4):307-316.

[40]全国政协人口资源环境委员会.江苏海涂资源利用分析[J].中国土地,2000(9):10-11.

[41]ROBERT G D, CHEN R J, BROWDER A E. Full scale monitoring study of a submerged breakwater, Palm Beach, Florida, USA[J]. Coastal Engineering, 1997, 29(3/4): 291-315.

[42]SAMUEL M, CHRISTEL P, CLAUDE D, et al. Numerical study of sedimentary impact of a storm on a sand beach simulated by hydrodynamic and sedimentary models[J]. Oceanologica Acta, 2001, 24(5):417-424.

[43]RAKHA K A, KAMPHUIS J W. Numerical and hydraulic model study of wave decay on a shelf beach[J]. Coastal Engineering, 1995, 24(3/4): 275-296.

[44]MD A H, TOSHIYUKI A. Numerical study on wave-induced filtration flow across the beach face and its effects on swash zone sediment transport[J]. Ocean Engineering, 2007, 34(14/15):2033-2044.

[45]HOLLAD K T, SUSANA B V, LAURO J C. A field study of coastal dynamics on a muddy coast offshore of Cassino beach, Brazil[J]. Continental Shelf Research, 2009, 29(3):503-514.

[46]ROSHANKA R, GRAHAM S, KERRY B, et al. Morphodynamics of intermediate beaches: a video imaging and numerical modelling study[J]. Coastal Engineering, 2004, 51(7):629-655.

[47]RATHBONE P A, LIVINGSTONE D J, CALDER M M. Surveys monitoring the sea and beaches in the vicinity of Durban, South Africa: a case study[J]. Water Science and Technology, 1998, 38(12):163-170.

[48]MICHA K, DOV Z. The environmental impact of marina development on adjacent beaches: a case study of the Herzliya marina, Israel[J]. Applied Geography, 2001, 21(2):145-156.

[49]CARTEE C P, WILLIAMS D C. Factors affecting the use of an artificial beach: a case study on Mississippi Gulf Coast[R]. Hattiesburg: University of Southern Mississippi Hattiesburg, 1978.

[50]张永战,王颖.面向 21 世纪的海岸海洋科学[J].南京大学学报:自然科学,2000,36(6):702-711.

[51]ELISABET R, MIRIAM V, ORTEGO M I. Assessing public perceptions on beach quality according to beach users' profile: a case study in the Costa Brava(Spain) [J]. Tourism Management, 2009, 30(4):598-607.

[52]PHILLIPS M R, HOUSE C. An evaluation of priorities for beach tourism: case studies from South Wales, UK[J]. Tourism Management, 2009, 30(2):176-183.

[53]邱辉煌.国外海洋自然保护区管窥[J].海洋开发与管理,1996(1):21-25.

[54]彭建,王仰麟.我国沿海滩涂的研究[J].北京大学学报:自然科学版,2000,36(6):832-839.

(收稿日期:2010-04-01 编辑:高建群)

+++++

(上接第 47 页)

[13]吴绍洪,尹云鹤,郝度,等.近 30 年中国陆地表层干湿状况研究[J].中国科学 D 辑:地球科学,2005,35(3):276-283.

[14]何建.河南省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.

[15]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(5):36-39.

[16]王宇,邵孝侯,莫建国,等.烤烟实时灌溉预报与决策专家系统[J].河海大学学报:自然科学版,2010,38(1):58-61.

(收稿日期:2009-09-24 编辑:高建群)