

基于冠层温度的夏玉米水分胁迫指数模型的试验研究

崔 晓¹, 许利霞², 袁国富³, 王卫星², 罗 毅³

(1. 广东白云学院电子信息工程系, 广州 510450; 2. 华南农业大学工程学院, 广州 510642; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 探讨并建立了适合于中国华北地区夏玉米水分状况监测的作物水分胁迫指数 ($CWSI$) 模型。通过不同的田间试验处理和观测, 得到了适合夏玉米的 $CWSI$ 经验模型中的经验关系, 且表现明显。该研究建立了不同生育阶段的经验模型, 经过初步的检验和分析, 认为这一模型是合理的, 可以应用于田间的基于冠层温度信息的夏玉米水分状况监测。

关键词: 冠层温度; 作物水分胁迫指数 ($CWSI$); 夏玉米

中图分类号: S275

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)08-0022-03

崔 晓, 许利霞, 袁国富, 等. 基于冠层温度的夏玉米水分胁迫指数模型的试验研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 22- 24
Cui Xiao, Xu Lixia, Yuan Guofu, et al. Crop water stress index model for monitoring summer maize water stress based on canopy surface temperature[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(8): 22- 24 (in Chinese with English abstract)

0 引 言

作物水分胁迫指数 $CWSI$ (Crop Water Stress Index) 是通过作物冠层表面温度信息来监测作物是否遭受水分胁迫的一个非常有效的指标^[1]。通过冠层温度来诊断作物是否遭受水分胁迫的技术在国外已经相当成熟^[2]。在国内已经有学者研究了冠层温度或冠气温差 (冠层温度和空气温度之差) 在反映作物水分亏缺的表现^[3-6], 有关利用 $CWSI$ 诊断作物缺水状况的研究也在逐步开展^[1,7-9], 其中利用 $CWSI$ 监测冬小麦水分状况的研究已经得到了比较好的结论和结果^[1,10]。但是利用这一指数监测中国北方地区主要粮食作物之一的夏玉米的有关研究工作还相对薄弱, 张振华等^[9] 在新疆地区的试验初步分析了薄膜覆盖下的玉米的缺水指数下基线方程 (即 $CWSI$ 的下限方程), 其结论有待进一步的试验验证, 特别是在中国玉米主要产区的华北地区加以验证。本研究的主要目的在于通过严密的、先进的试验观测, 科学地分析并建立夏玉米的 $CWSI$ 模型, 为基于冠层温度信息监测夏玉米水分状况的相关节水技术提供基础。

1 方法和试验

作物水分胁迫指数 $CWSI$ 可以定义为^[11]

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a) - (T_c - T_a)_{ul}}{(T_c - T_a)_{ul} - (T_c - T_a)_{ll}} \quad (1)$$

式中 T_c ——作物冠层温度, $^{\circ}\text{C}$; T_a ——空气温度, $^{\circ}\text{C}$; $(T_c - T_a)_{ll}$ ——作物处于充分供水状态下的冠气温差, $^{\circ}\text{C}$, 是冠气温差的下限; $(T_c - T_a)_{ul}$ ——作物处于

严重缺水状态下的冠气温差, $^{\circ}\text{C}$, 是冠气温差的上限。其中:

$$(T_c - T_a)_{ll} = A + B \times VPD \quad (2)$$

$$(T_c - T_a)_{ul} = A + B \times VPG \quad (3)$$

式中 A 、 B ——经验系数; VPD ——空气的饱和水汽压差, hPa; VPG ——温度为 T_a 时的空气饱和水汽压和温度为 $T_a + A$ 时的空气饱和水汽压之间的差, hPa。

式 (1), (2), (3) 即为 Idso 提出的经验模型, T_c 、 T_a 、 VPD 都可以通过仪器观测得到, 如果得到了经验模型的下限方程, 就可以得到 VPG , 从而得到水分胁迫指数 $CWSI$ 。

在理想情况下, $CWSI$ 的值应该在 0~1 之间, 当作物处于充分供水状态下, $CWSI$ 的值应该为 0, 而在严重缺水状态下, $CWSI$ 的值应该为 1。

本研究主要探讨充分供水条件下, 用于构建夏玉米的 $CWSI$ 经验模型的经验关系式是否存在, 表现如何, 从而确定其经验模型下限方程的经验系数 A 、 B 值, 并初步分析 $CWSI$ 在反映夏玉米水分状况的表现。

试验于 2004 年 7 月至 9 月在中国科学院禹城综合试验站进行, 试验地土壤为壤土, 试验的玉米品种为农大 108, 试验在 2 个水分试验水泥池 (池 1 和池 2) 中进行, 水泥池通过 0.25 m 厚 1 m 深水泥墙隔离, 面积为 5 m × 10 m。其中, 试验池 1 的土壤水分分为雨养处理, 池 2 中的土壤水分始终保持为田间持水量的 80% 以上, 这样可以近似的认为作物始终处于完全供水状态。土壤水分由 CNC (503)DR 型中子水分仪测定 0~120 cm 土层的土壤单位体积含水率, 每层间隔 10 cm, 5 d 观测一次, 灌水或者雨后加测; 冠层温度用 RTSP 型红外温度自动传感器从观测之日起进行不间断自动采集 (为避免雷击仪器, 雷雨天不观测), 比辐射率设置为 0.98。为消除不同因素对观测到的冠层温度准确度的影响, 设定每 10 min 取一个平均值作为“正时”冠层温度, 如 12:00, 12:10, 12:20 等时间的冠层温度。拔节前的玉米叶面积指数较小, 通过自动红外温度探头很难准确

收稿日期: 2004-12-27 修订日期: 2005-07-25

基金项目: 国家 863 计划节水农业专项 (2002AA2Z4071-02); 广东省自然科学基金项目 (032272)

作者简介: 崔 晓 (1979-), 女, 河北晋州人, 硕士, 研究方向为电子信息及自动化技术应用。广州市白云区 广东白云学院电子信息工程系, 510450。Email: xiao_cui79@163.com

采集到单纯的冠层温度, 因此试验观测从玉米拔节后开始。空气温、湿度采用架设于试验地附近玉米田上方的涡度相关设备中的观测数据, 和冠层温度同一频度, 亦为不间断自动采集数据。随着玉米长高, 红外探头随之抬高, 保持探头观测的温度尽量为冠层温度, 排除土壤温度的干扰。

试验期间出现了几次大的降雨过程, 试验地土壤水分始终保持为田间持水量的 80% 以上, 因此池 1 和池 2 没有灌过水。但是由于在上季冬小麦试验中, 池 1 为雨养处理, 没有灌过水, 池 2 田间持水量为 40% 处理, 曾经灌水几次, 池 2 的底墒比池 1 高。故二者的土壤水分含量仍然存在明显差异。

2 结果与分析

图 1 显示了 3 个不同生育阶段的冠气温差 ($T_c - T_a$) 与 VPD 之间的线性关系, 表 1 给出了不同生育期的 ($T_c - T_a$) 与 VPD 的线性关系的分析结果。可以看出在

充分供水条件下, 玉米的 ($T_c - T_a$) 与 VPD 之间的线性关系非常良好, 而不同生育期之间的线性关系则显示有一些差异。因此在建立夏玉米的 $CWSI$ 经验模型时, 以分生育阶段建立不同模型为宜。此外, 在拔节至抽雄期和抽雄至乳熟期这两个阶段所建立的经验关系差异较小, 而这两个阶段与乳熟至成熟阶段的经验关系的差异十分明显, 这与夏玉米进入乳熟期后作物的生理特征, 包括光合、蒸腾等作用过程发生了明显变化有关。

表 1 夏玉米不同生育期的下限方程

Table 1 Baselines at different developmental stages of summer maize

| 生育期 | A / | B / $\cdot \text{hPa}^{-1}$ | 样本数 | 相关系数 R |
|-------|--------|-----------------------------|-----|---------|
| 拔节至抽雄 | 6 0312 | - 0 3463 | 19 | 0 9059* |
| 抽雄至乳熟 | 4 7636 | - 0 3246 | 38 | 0 8023* |
| 乳熟至成熟 | 2 9355 | - 0 1851 | 48 | 0 8487* |

注: * 0.01 水平显著。

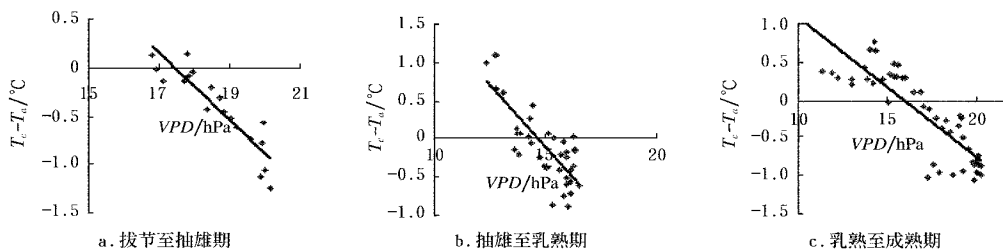


图 1 充足水分条件下夏玉米不同生育期冠气温差与空气饱和差之间的关系

Fig. 1 Relationships between ($T_c - T_a$) and VPD at different developmental stages of summer maize without water stress

图 2 为夏玉米全生育期的两个水池的 $CWSI$ 值变化情况, 池 1 的 $CWSI$ 值(水分胁迫)总体上比池 2 的高。池 2 的 $CWSI$ 值基本上在 0 附近波动。7 月 28 日~8 月 4 日这几天之间连续降雨且为阴天, 土壤含水率升高, 故 $CWSI$ 值减小; 9 月 5 日之后, 夏玉米已经进入乳熟至成熟期, 各项生理活动显著减弱, 包括光合与蒸腾作用, 导致作物冠层表面温度明显提高, $CWSI$ 值明显升高, 但这并不能代表作物正在遭受严重的水分胁迫。类似这种现象在冬小麦监测中也有^[1]。

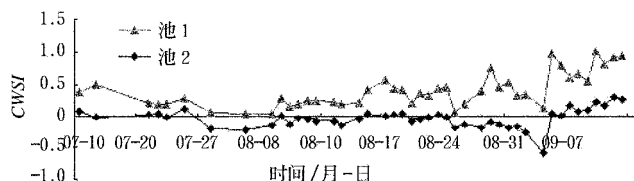


图 2 夏玉米全生育期的 12 点 $CWSI$ 值

Fig. 2 $CWSI$ of summer maize at different developmental stages

图 3 为池 1 和池 2 在整个生育期得到的 12 点的 $CWSI$ 值和 0~90 cm 土壤平均体积含水率的关系, 可以看出, 总体上 $CWSI$ 随土壤含水率的增加呈现减小的趋势。通过 F 检验, 其结果极为显著, 相关系数 R 为

0.37, 略大于 $r_{0.10}(19) = 0.369$, 显著性检验结果为显著。图 3 中的两个较大值分别为 9 月 8 日和 8 月 29 日的数值, 这段时间夏玉米处于乳熟至成熟期, 生理上的光合作用减弱, 可能导致出现误差; 图中两个较小值分别为 9 月 3 日和 8 月 2 日的数值, 这两天前后基本上是阴天, 故 $CWSI$ 值较小。试验期间雨水很大, 无法对试验进行很理想的土壤水分梯度设置, 土壤水分与 $CWSI$ 的相关关系不能很好地表达出来, 但从图 3 的趋势以及分析的结果可以看出, 所建立的 $CWSI$ 经验模型在反应作物水分胁迫和土壤含水率方面是可行的。

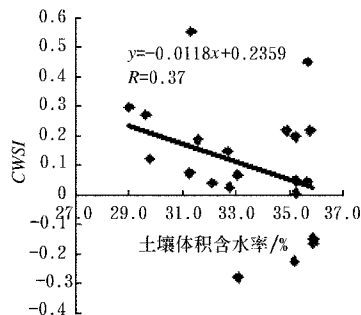


图 3 水分胁迫指数与土壤水分的关系

Fig. 3 Relationship between $CWSI$ and soil water content

3 结论与讨论

本研究通过田间试验,对相关参数进行连续的自动观测,获得了用于计算夏玉米的 $CW S I$ 经验模型的下限方程,从试验观测结果看,夏玉米的冠气温差与空气饱和差之间的线性关系表现比较理想,这种线性关系应该分不同生育期设置更为合理。

试验初步分析了所建立的 $CW S I$ 经验模型在反映作物水分胁迫状况上的特点,通过对 2 个不同水分池之间的差异以及 $CW S I$ 与土壤水分之间的关系进行分析,认为所建立的经验模型是合理可行的。但是由于试验期间降雨比较多,没能在试验处理中形成比较好的作物水分胁迫梯度,在分析 $CW S I$ 模型监测作物缺水状况的表现时,数据显得尚不够充分。进一步的研究需要对这一模型进行不同水分条件下的检验。

[参 考 文 献]

- [1] 袁国富, 罗毅, 孙晓敏, 等. 作物冠层表面温度诊断冬小麦水分胁迫的试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 13- 17.
- [2] 袁国富, 唐登银, 罗毅, 等. 基于冠层温度的作物缺水研究进展[J]. 地球科学进展, 2001, 16(1): 49- 54.
- [3] 梁银丽, 张成娥. 冠层温度—气温差与作物水分亏缺关系

- 的研究[J]. 生态农业研究, 2000, 8(1): 24- 26.
- [4] 刘云, 宇振荣, 孙丹峰. 冬小麦冠气温差及其相关影响因素关系研究[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(1): 30- 35.
- [5] 石培华, 梅旭荣, 冷石林, 等. 冠层温度与冬小麦农田生态系统水分状况的关系[J]. 应用生态学报, 1997, 8(3): 332- 334.
- [6] 刘恩民, 于强, 谢贤群. 水分亏缺对冬小麦冠层温度影响的研究[J]. 生态农业研究, 2000, 8(1): 21- 23.
- [7] 张振华, 蔡焕杰, 柴红敏. 不同生育时期对作物缺水指标的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1): 77- 80.
- [8] 刘学著, 张连根, 周守华. 基于冠层温度的冬小麦水分胁迫指数的试验研究[J]. 应用气象学报, 1995, 6(4): 449- 453.
- [9] 王卫星, 罗锡文, 区颖刚, 等. 基于冠层温度的菜心缺水指数模型初步试验研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(5): 47- 50.
- [10] Guofu Yuan, Yi Luo, Xiaomin Sun, et al. Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in winter wheat in the North China Plain [J]. Agriculture Water Management, 2004, 64: 29- 40.
- [11] Idso S B, Jackson R D, Pinter P J Jr, et al. Normalizing the stress degree day for environmental variability [J]. Agricultural Meteorology, 1981, 24: 45- 55.

Crop water stress index model for monitoring summer maize water stress based on canopy surface temperature

Cui Xiao¹, Xu Lixia², Yuan Guofu³, Wang Weixing², Luo Yi³

(1. Department of Electronic and Information Engineering, Guangdong Baiyun Institute, Guangzhou 510450, China;

2. Engineering College, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3. Institute of

Geographical Sciences and Natural Resource Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: The crop water stress index ($CW S I$) model for monitoring summer maize water stress in North China Plain (NCP) was set up in this paper. Through diverse experiments and precise scientific observation, test results showed that the non-water-stress-baselines for summer maize in NCP were proved to be credible during different growth periods. Primary analysis and validation showed that the model was reasonable, and it could be applied to monitor summer maize water stress.

Key words: canopy temperature; crop water stress index ($CW S I$); summer maize