

基于冠层温度的夏玉米旱情指数 理论模型和经验模型的比较

俞 龙¹, 王卫星¹, 崔 晓², 孙道宗¹

(1 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 51064;

2 广东白云学院, 广东 广州 510450)

摘要:对水分胁迫指数(CWSI)的经验模型和理论模型在华北平原夏玉米中的应用进行了对比,分析了2种模型与土壤含水量以及叶水势之间的关系,对比了2种模型得到的CWSI的日际变化.结果表明,经验模型经常性地溢出0~1的范围,理论模型则很少出现溢出0~1的范围,经验模型的日际变化较理论模型大,理论模型1 d中得到的CWSI变化很小;2种CWSI模型与土壤含水量均显著相关,可用于指导作物灌溉时间;CWSI理论模型与夏玉米叶水势的相关性较好,更能反映作物本身的水分状况.

关键词:夏玉米;作物水分胁迫指数;经验模型;理论模型

中图分类号:S275

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2007)03-0110-03

Comparisons Between the Empirical and Theoretical Models Based on Canopy Temperature for Monitoring Water Stress of Summer Maize

YU Long¹, WANG Wei-xing¹, CUI Xiao², SUN Dao-zong¹

(1 College of Engineering, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China;

2 Guangdong Baiyun Institute, Guangzhou 510450, China)

Abstract: By analyzing crop water stress index (CWSI) for monitoring water stress with both Idso's empirical model and Jackson's theoretical model applied in summer maize in North China Plain, the CWSI variations and relationship between soil water content, leaf water potential and the empirical & theoretical CWSI models were studied. The results showed that the values of empirical CWSI model were below the range of 0-1 frequently while the values of theoretical mode seldom behave so, and the daytime variation of the empirical CWSI model based on canopy temperature was bigger than that of the theoretical model. The CWSI models could be used for guiding irrigation schedule while the theoretical model was more reasonable due to its more interrelations with summer maize leaf water potential.

Key words: summer maize; crop water stress index (CWSI); empirical model; theoretical model

通过冠层温度来反映作物水分胁迫的技术在国内外的研究已经相当成熟^[1]. 作物水分胁迫指数(crop water stress index, CWSI)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^[2]. CWSI模型包括Idso等^[3]提出的经验模型和Jackson等^[4-5]提出的理论模型. 目前对于

将2种模型同时应用到同一种作物的研究还很少,袁国富等^[2]曾经把这2种模型同时用来预测冬小麦的水分胁迫情况. 在开展华北平原夏玉米水分胁迫指数经验模型和理论模型研究的基础上^[6-7],本文对2种模型与土壤含水量和叶水势的关系进行比较,分析了2种CWSI模型的效果.

收稿日期:2006-11-13

作者简介:俞 龙(1975—),男,博士研究生;通讯作者:王卫星(1963—),男,教授,E-mail: weixing@scau.edu.cn

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

由表1可以看出,在图4中出现误差的 A_6 、 A_7 区域,其相对误差分别为0.32%和0.28%。

用图像法计算的叶面积与称重法得到的叶面积相比均相对较小,相对误差绝对值的平均值为2.36%。对采用2种方法所得的叶面积进行回归分析,二者有极显著的关系($R^2=0.9996$),因此本文所采用的算法可以应用于实际叶面积的测定。

4 结论

利用图像目标识别算法及在MATLAB平台下开发的程序,实现了对包含多片植物叶片的扫描图像中各独立叶片的识别并同步计算独立叶面积。将所得的叶面积与称重法得到的面积进行对比,两者间相对误差的平均值为2.43%,相关性的决定系数为0.9996。

通过对多幅扫描图像(共38幅)进行目标识别,结果表明,在叶片间不出现重叠的条件下算法的区域识别准确率达到100%;出现叶片间重叠时,算法会将重叠的叶片误判为一个连通区域。

虽然算法是针对扫描仪成像的图像进行设计,但是其基本理论可以应用于CCD照相机成像的图像中,实现对植物叶面积的非破坏性测量。

算法在试验平台上处理单幅扫描图像(平均包含8片叶片)的时间约为48s,可以满足大量叶片处理要求;与称重法相比大大缩短了测量时间并消除了人为因素的影响。

试验中的叶片均来自同一棵植物,颜色比较均匀,没有明显的斑点或破损。在今后的研究中,要增加试验的植物种类以及叶片之间的差异,进一步完善算法。

参考文献:

[1] 庞红喜,宋哲民,阎东红.不同穗型小麦品种叶重与叶面积关系的研究[J].麦类作物,1998,18(1):39-40.

- [2] 杨劲峰,陈清,韩晓日,等.数字图像处理技术在蔬菜叶面积测量中的应用[J].农业工程学报,2002,18(4):155-159.
- [3] 王家保,林秋金.5种测量热带果树单叶面积的方法研究[J].热带农业科学,2003,23(1):11-14.
- [4] 鲍雅静,李政海,张颖.羊草叶面积测定方法的比较[J].内蒙古大学学报:自然科学版,2002,33(1):62-64.
- [5] BRYAN W, BEN M. Comparing six methods of various complexity for calculating leaf area from measurement of leaf width and length[J]. *Toc Sci*, 1992(36):40-42.
- [6] 冯冬霞.便携式叶面积仪的研制[D].北京:中国农业大学资源与环境学院,2005.
- [7] KEBOE A, PARKER G A. Image processing for industrial radiograph inspection: Image enhancement[J]. *British Journal of NDT*, 1990, 32(4):183-190.
- [8] 刘关君,王大海,郭晓瑞,等.植物叶面积的快速精确测定方法[J].东北林业大学学报,2004,32(5):82-83.
- [9] VAN HENTEN E J. Non-destructive crop measurement by image processing for crop growth control[J]. *J of Agriculture Engineering Research*, 1995(61):97-105.
- [10] 武聪玲,滕光辉,李长缨.黄瓜幼苗生长信息的无损监测系统的应用与验证[J].农业工程学报,2005,21(4):109-112.
- [11] MATTHEW E O, DOUGLAS A L, RUFUS I. An expensive, accurate method for measuring leaf area and defoliation through digital image analysis[J]. *Field and Forage Crops*, 2002,95(6):1190-1194.
- [12] 柏军华,王克如,初振东,等.叶面积测定方法的比较研究[J].石河子大学学报:自然科学版,2005,23(2):216-218.
- [13] 李宝光,陶秀花,倪国平,等.扫描像素法测定植物叶面积的研究[J].江西农业学报,2006,18(3):78-81.
- [14] 孙建成,曾培峰,禹素萍,等.二值图像的区域标识与噪声去除[J].天津工业大学学报,2006,25(1):45-47.

【责任编辑 周志红】

有了数据矩阵 L , 可以利用其包含的不同整数值以区分输入图像中的不同对象。

对图 4~7 分别进行区域标识, 得到数据矩阵 L_{11} 、 L_{21} 、 L_{12} 、 L_{22} , 连通区域数量分别记为: N_{11} 、 N_{21} 、 N_{12} 、 N_{22} , 得到的连通区域数量分别为: $N_{11} = 7$ 、 $N_{21} = 142$ 、 $N_{12} = 7$ 、 $N_{22} = 10$ 。可以看出, 由 Photoshop 制作的图像由于没有噪声, 腐蚀前后连通区域数量一致; 扫描图像在未进行腐蚀操作前, 由于噪声的存在, 连通区域的数量远大于目标区域的数量; 而进行了腐蚀操作后, 连通区域的数量与目标区域的数量相等。

2.4 目标识别与面积计算

以腐蚀操作前后的叶片扫描二值图像(图 4、7)为例, 经过标识后得到的数据矩阵分别为 L_{21} 、 L_{22} , 连通区域数量分别为: $N_{21} = 142$ 和 $N_{22} = 10$, 即在图 4 中共有 142 个连通区域, 而在图 7 中共有 10 个连通区域。在矩阵 L_{22} 中, 目标区域经过腐蚀操作后剩余的部分分别被标识为 1~10, 而在矩阵 L_{21} 中, 由于噪声的存在, 目标区域的标识号是未知的。通过 L_{22} 识别 L_{21} 中目标元素并计算叶面积的步骤如下:

(1) 在矩阵 L_{22} 中任意搜索一个标识号为 1, 属于连通区域 1 的元素并记录其在矩阵 L_{22} 中的位置 $A(x, y)$, 由于 L_{22} 的源图像(图 7)是由 L_{21} 的源图像(图 5)经过腐蚀操作后得到的, 即 L_{22} 中连通区域 1 内的某点必然属于 L_{21} 中的 1 号目标区域。因此, 矩阵 L_{21} 中点 $A(x, y)$ 所对应的标识号 $k(1 \leq k \leq 142)$ 即为 1 号目标区域的标识号;

(2) 在 L_{21} 中搜索所有标识号为 k 的元素, 得到 1

号目标区域;

(3) 记录 1 号目标区域元素的数量, 该数量等于源图像(图 4)中 1 号目标所占有的像素数量 T ;

(4) 重复以上步骤, 直到识别所有目标并且计算相对应的像素数量。

3 叶面积计算与结果分析

利用以上算法识别图 4、5 中的连通区域并计算各连通区域所占有的像素数量, 其中, 区域 A_1 、 A_2 为参照物面积区域, 其所代表的面积为 1 cm^2 , 其余区域面积按照式(1)计算得到。

为了验证本算法对叶面积测量的准确性, 研究中将计算结果与称重法结果进行对比分析。虽然目前对于叶面积的测量未有十分精确的方法, 但是称重法是已有方法中比较常用且精确度较高的方法之一, 且其测量原理与本文中方法类似。称重法须将打印或复印所得的位于标准纸张中的叶片图像按其轮廓进行剪裁, 手工操作时容易引入误差且耗时较长。将图 1、2 用激光打印机、A4 纸打印, 沿轮廓剪裁图 1 中 2 个 $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ 的参照物区域和图 2 中的 10 个目标区域并用精度为 0.001 g 的血式分析天秤(HF-300)分别称质量, 按下式(6)计算叶面积:

$$S_n = 1 \times \frac{m_n}{m_0}, (n = 1, 2 \cdots 10) \tag{6}$$

其中, S_n 为第 n 片叶的叶面积, m_n 为剪裁的第 n 片打印叶片质量, m_0 为 2 个剪裁的 $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ 参照物区域平均质量。本算法区域面积测量结果及称重法叶面积测量结果如表 1。

表 1 图像法区域面积测量及称重法叶面积测量结果
Tab. 1 Leaf area measuring results of current algorithm and the weighing method

图像法 algorithm method						称重法叶面积 leaf area of weighing method/ cm^2	相对误差 relative error/%
区域编号 no. of area	像素数量 number of pixel/个	区域面积 area/ cm^2	区域编号 no. of area	像素数量 number of pixel/个	区域面积 area/ cm^2		
A_1	13 924	1	B_1	540 842	38.84	39.85	-2.53
A_2	13 924	1	B_2	295 452	21.22	22.02	-3.63
A_3	55 696	4	B_3	184 189	13.23	13.47	-1.78
A_4	125 316	9	B_4	397 391	28.54	29.14	-2.05
A_5	222 784	16	B_5	446 152	32.04	32.98	-2.85
A_6	349 281	25.08	B_6	318 706	22.89	23.38	-2.10
A_7	502 681	36.10	B_7	346 422	24.88	25.46	-2.28
			B_8	420 202	30.18	30.98	-2.58
			B_9	498 885	35.83	36.32	-1.35
			B_{10}	225 724	16.21	16.63	-2.53

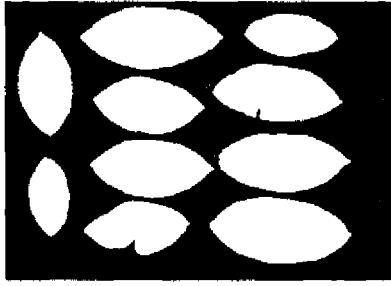


图5 扫描图像二值图像

Fig. 5 Binary image of scanned image

2.2 噪声消除

虽然扫描仪成像能在很大程度上克服外界的干扰,但是扫描所得到的图像中仍然存在一定的噪声,这些噪声在图像中常常表现为一些孤立的像素点或者较小的连通区域。这种干扰如果不消除,会给以后的目标识别和面积计算带来影响。

通过观察发现,噪声区域相对于待识别的目标区域,其所包含的像素数量相差较大,一般在 $10^4 \sim 10^5$ 数量级,可以采用形态学基本运算中腐蚀的方法消除噪声。腐蚀的运算符为 $\ominus$, A 用 B 来腐蚀写作 $A \ominus B$ 。其定义为:

$$A \ominus B = \{x | (B)_x \subseteq A\}, \quad (2)$$

式中, A 为原图像中的非零元素(包括目标和噪声), B 为腐蚀所采用的结构矩阵, x 为腐蚀后图像中剩余的非零元素。本算法中, B 采用 7×7 的全1矩阵,如式(3)。

$$B = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 1 \\ \vdots & & \vdots \\ 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

为了保证完全消除所有的噪声,算法中对图像进行多次腐蚀操作,腐蚀次数为10。图4、5经过腐蚀操作后得到的图像如图6、7所示。反复试验表明,腐蚀后的图像能够较彻底地消除噪声,对于待计算面积的目标区域,虽然其形态和面积都有所改变,但是区域的主体及位置信息得到了保留,可以作为计算图4、5中目标面积时的生长区域。



图6 腐蚀后的标准区域二值图像

Fig. 6 Eroded binary image of standard area

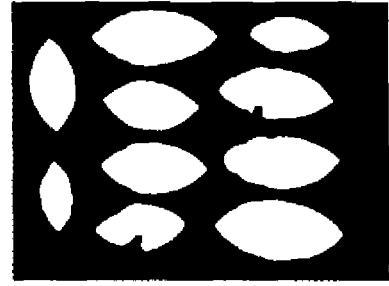


图7 腐蚀后的叶片二值图像

Fig. 7 Eroded binary image of leaves

2.3 基于4连通区域标识图像

对二值图像进行区域标识是图像区域识别中的一个非常重要的环节,区域标识最常用的一种方法是给每一个目标物体的所有像素一个唯一的正整数来标记,这种标识法又叫标记、着色或连通区域标识^[14]。连通区域标记的方法很多,常用的有4连通区域法和8连通区域法。

本算法采用的是4连通区域法,逐行扫描图像,如发现像素的颜色值为1,则认为这是一个新的区域的开始,以该像素为起始点,对该像素的4连通区域行递归搜寻;对于有同类性质的像素点进行标识处理,直到属于该区域的所有像素都被标识。经过对所有像素点的一遍扫描后,像素的区域就被标识出来。假设区域标识的函数形式为:

$$[L, N] = \text{bwlabel}(I, n).$$

其中 I 为待标识的二进制矩阵, n 可取4或8,分别代表采用4连通或8连通区域法,标识的结果是返回一个与输入图像相同大小的数据矩阵 L 和区域数量 N 。假设二进制图像矩阵 I 如式(4),则经4连通区域法标识后得到的矩阵如式(5)。

$$I = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$L = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 3 & 3 & 3 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 3 & 3 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

破坏性采集,但是其成像受采集距离、角度、光照条件及叶片间的相互重叠情况等因素影响较大,叶面积测量的准确度较低。平台扫描仪法虽然是对植物的破坏性采集,但是该方法受人为因素影响较小,具有严密的科学性,叶片形状、大小、颜色、厚度等对测量结果均无显著影响,具有方法简单、快速、结果准确、适用范围广等优点^[13]。上述各种叶面积测量方法均只能完成单叶片叶面积或区域内叶面积总量的测量,如果待测量的叶片数量较大且需实现各叶片叶面积测量时要花费比较多的时间。本试验基于MATLAB 数学分析软件开发出一种能够同时从多叶片扫描图像中准确识别出各独立叶片并同步计算图像中各独立叶片叶面积的数字图像处理算法。

1 测量原理与设备

1.1 测量原理

数字图像由许多像素点组成,每个像素点代表一定的实际面积值,而其所代表的实际面积值可以由已知参照物面积求得:

$$S_1 = S_2 \times \frac{T_1}{T_2}, \quad (1)$$

式中, S_1 为叶片面积, S_2 为参照物面积(本文中 S_2 定为 1 cm^2), T_1 为叶片图像所包含的像素总数, T_2 为参照物图像所包含的像素总数。

1.2 测量设备

本测量的硬件设备主要包括平台扫描仪和计算机。其中平台扫描仪为 Microtek 公司的 ScanMaker 4850 II,主要参数为:4 800 × 2 400 DPI CCD,48-BIT Color;实验平台主要配置为:Intel Petium4 3.60 GHz,1 G DDR2 内存;叶片扫描图像的主要参数为:300 DPI,2 481 × 3 508 Pixels,JPEG 格式存储;程序开发软件为 Mathworks 公司的数学分析软件 MATLAB 7.1。

2 图像处理算法设计

算法设计过程中所采用的参照物图像和待处理的叶片图像分别如图1、2所示。其中图1使用

Photoshop 软件制作,包括2个 $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ 的参照物区域、 $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ 、 $3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ 、 $4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ 、 $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ 、 $6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$ 区域各1个;图2为番石榴叶片扫描图像,共10片待计算叶面积的叶片,扫描前已通过人工摆放,避免了叶片间的重叠。

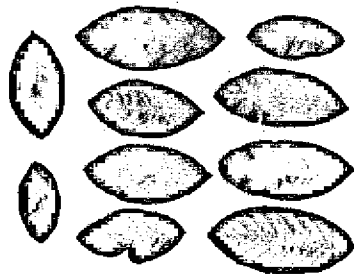


图2 叶片扫描图像

Fig. 2 Sanned image of leaves

2.1 阈值的确定

从图像中分割出叶片并计算叶面积时使用的是二值图像,而扫描仪成像为灰度图像。因此,有必要先对图像进行阈值分割。从图1可以看出,由扫描仪直接成像可以有效地克服光照、成像角度等外界因素的影响,待分割的图像目标和背景之间的灰度值有比较明显的差异,因此可以直接用直方图阈值分割法进行图像分割。图2的直方图如图3所示。

由图3可以看出,叶片扫描图像的直方图已经具有很好的双峰特性,可以根据峰谷的阈值进行图像分割。在此选取的阈值为160,以此阈值对图1、2中图像进行分割,结果如图4、5所示。

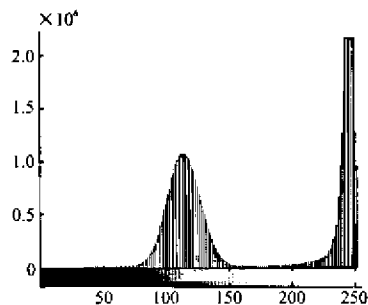


图3 叶片扫描图像直方图

Fig. 3 Histogram of scanned image



图1 标准区域图像

Fig. 1 Image of standard area



图4 标准区域二值图像

Fig. 4 Binary image of standard area