

基于图像处理的玉米叶片含水率诊断方法研究

徐腾飞¹, 韩文霆^{2,3}, 孙 瑜¹

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院, 陕西 杨凌 712100;
3. 中国科学院水利部水土保持研究中心, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 研究了利用数字图像处理技术进行作物叶片含水率诊断的方法。以温室中培育的 90 株不同灌水量的盆栽玉米为研究对象, 使用佳能 IXUS110 的 1 210 万像素数码相机采集离体抽穗期玉米叶片的图像信息, 然后利用烘干法测量叶片样本的含水率; 利用叶片图像的灰度直方图提取叶片图像的均值、峰态、方差、歪斜度、能量、熵六组特征值。利用提取的 20 组玉米叶片样本的数据, 采用线性回归的方法建立均值与玉米叶片含水率之间的关系模型; 使用其余 20 组样本对模型进行验证, 其标准差为 0.021。结果表明, 利用作物叶片灰度直方图均值参数可以对玉米的叶片含水率进行预测。

关键词: 玉米; 叶片含水率; 诊断; 图像处理; 颜色特征提取; 线性回归

中图分类号: S513 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)01-0095-06

Research on methods of diagnosing crop water-deficiency based on image processing

XU Teng-fei¹, HAN Wen-ting^{2,3}, SUN Yu¹

(1. College of Mechanical and Electric Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Institute of Water Saving Agriculture in Area Regions of China, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
3. Institute of Soil and Water Conservation, China Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Digital image processing techniques were used to evaluate crop water stress, by cultivating 90 plants of corn with different irrigation amounts in a greenhouse. The Canon IXUS110 digital camera with 12.1 million pixels was used to capture the images of corn leaves after being picked from the plants during the heading stage, and then the moisture content of the leaves was detected by using drying method. The eigenvalues of mean, kurtosis, variance, skew degree, energy and entropy were calculated by using grey histogram of leaf images. The data extracted from the leaves of 20 samples were used to set up the linear regression model showing the relationship between the mean and the leaf moisture, and the other 20 samples were used to verify the model. The standard deviation of the validation results was 0.021. It was concluded that of the eigenvalue of mean of leaf images could be used to predict the moisture content in corn leaves.

Keywords: corn; leaf water deficiency; diagnosing; image processing; colour feature extraction; linear regression

在作物生长过程中, 常会出现作物缺水等状况, 水分亏缺会直接影响作物的生化过程和形态结构, 这种影响可以从作物叶片的颜色变化上表现出来^[1]。利用图像处理的方法可以发现作物表现出缺水症状的早期, 肉眼很难分辨出的一些细小差别, 及早对作物叶片含水率进行诊断, 降低缺水对作物生长造成的影响。

目前对作物叶片含水率进行诊断主要是以一些

传统方法为主, 利用图像处理技术来对作物叶片含水率诊断的相关研究较少。张伟和毛罕平等利用计算机图像处理技术对作物进行缺素判别的研究, 分析提取番茄缺氮、缺钾、缺铁和正常 4 种情况下叶片图像的特征参数, 取得了较好的效果^[2-3]。穗波信雄等利用提取苡荻缺钙、镁、铁 3 种元素叶片图片的颜色特征, 分析了 RGB 三体的直方图特征, 并利用阈值法分割出叶片的病态部分和正常部分, 提取了

收稿日期: 2012-05-15

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题(2011BAD29B08); 国家教育部、外专局 111 项目(B12007)

作者简介: 徐腾飞(1987—), 男, 山东临沂人, 硕士研究生, 主要研究方向为图象处理技术研究。E-mail: xutengfei - 1987@163.com。

通信作者: 韩文霆(1972—), 男, 内蒙古五原人, 副教授, 博士生导师, 主要从事智能控制精准灌溉技术研究。E-mail: hanwt2000@126.com。

病态面积百分比作为特征参数,其效果不是太明显,又由于其特征参数仅为一个,尚不足以进行模式识别^[4]。Blackmer 和 schepers 对他们的实验进行了改进,对数字化的航拍图像进行图像处理,把 8 位彩色航拍图分成红色(R)、绿色(G)、蓝色(B)三原色,并对其进行分别统计。结果显示红色(R)和绿色(G)的统计值与高氮水平的供应情况成正相关,红色(R)、绿色(G)比蓝色(B)的统计结果更能预测供氮水平^[5]。

本文以玉米为例,研究由于缺水对于玉米叶片图像的影响,对基于图像处理的作物缺水诊断方法进行了研究,利用灰度直方图的方法,提取玉米叶片颜色特征参数,对玉米叶片进行含水率诊断分析。

1 材料与方法

1.1 实验设计

实验中选择玉米作为研究对象,在温室培育试验样本,将玉米样本种植在直径 25 cm,高 30 cm 的塑料桶内,严格控制玉米的灌水量,以及浇水时间和次数,保证玉米生长所需要的各种营养元素。

实验方案设计见图 1。

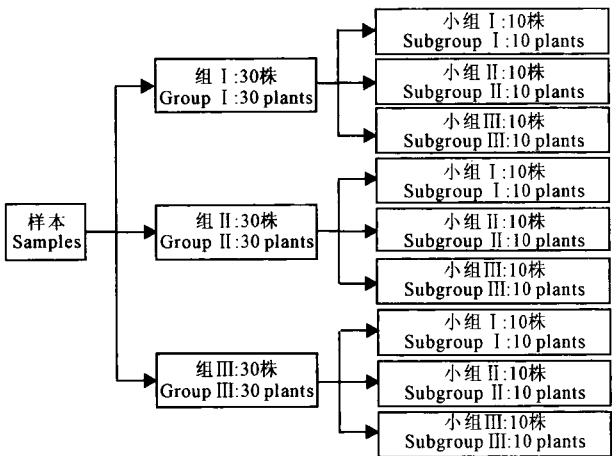


图 1 实验方案

Fig.1 Experimental design

浇水量:组 I 每次浇水量为 1 500 mL;组 II 每次浇水量为 1 200 mL;组 III 每次浇水量为 900 mL,在采集前每隔 5 d 浇水 1 次。

采集玉米拔节期植株顶部第五片叶片的图像信息,采集时间为北京时间 10:00~11:00,采集背景颜色为白色,日光灯为背景光源,镜头距离叶片 5 cm,采集叶片样本的图像。采用传统的方法测量叶片的含水率,采集叶片样本照片后立即将叶片样本称重,并立即利用烘干机对叶片进行烘干操作,得到叶片的干重,计算叶片的含水率。

1.2 样本图像采集

玉米叶片图像采集采用的是佳能 IXUS110 照相机,4 倍光学变焦,有效像素 1 210 万。采集时间为北京时间 10:00~11:00,采集背景颜色为白色,日光灯为背景光源,共采集了 90 组数据。不同含水率的样本叶片数量如图 2 所示。

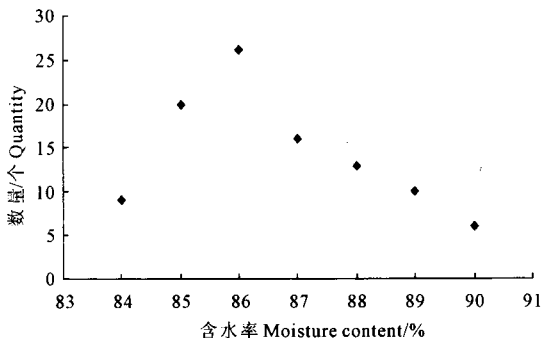


图 2 样本数量统计

Fig.2 Sample statistics

对比采集的 90 组数据,由于部分数据受到光照的影响,造成采集的样本数据颜色发生变化,选取其中 56 组样本数据作为实验的研究对象,并将其分为三部分,第一部分 16 组样本数据作为确定特征参数的对象,第二部分 20 组样本数据作为预测模型建立的研究对象,第三部分 20 组样本数据作为对模型进行验证的研究对象。

1.3 叶片含水率的测定

玉米叶片烘干条件为:烘干机温度 74℃,烘干时间为 4 h,对烘干叶片进行称重,记录结果;然后对叶片再次进行烘干 1 h,称量叶片重量。当两次测量烘干后的干重之差小于 0.002 g 时,测得的重量作为样本叶片的干重。

$$v = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\%$$

式中,v 为玉米叶片样本的含水率,w₁ 为玉米叶片鲜重,w₂ 为经烘干后玉米叶片鲜干重。

1.4 叶片图像预处理

由于缺水叶片图像在采集和传输过程中常受到各种噪声源的干扰而引起采集照片的质量下降,降低分析结果的准确性。所以,为了减少外部干扰噪声对处理结果的影响,需要在进行图像分析之前对图像进行滤波处理,以消除外部噪声的影响。

试验中采用线性空间滤波来对图像进行滤波处理。线性空间滤波过程是在图像 f 中逐点移动滤波掩模 w 中心。在每个点(x,y)处,滤波器在该点处的响应是滤波掩模所限定的相应邻域像素与滤波器系数的乘积结果的累加。这一过程可以使用 matlab

图像处理工具箱中的 `imfilter` 函数来实现线性空间滤波,滤波程序为:

```
g = imread('f.jpg');
w8 = [1 1 1; 1 -8 1; 1 1 1];
g8 = g - imfilter(g, w8, 'replicate');
imshow(g8);
```

其中: `w8` 为一个中心为 `-8`, 其它值均为 `1` 的 3×3 的拉普拉斯滤波器。

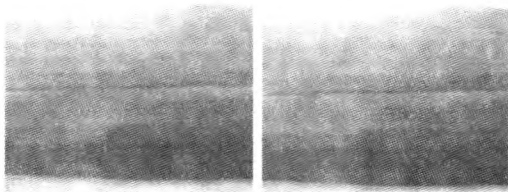


图 3 灰度叶片图像经线性滤波前后的对比

Fig. 3 Image filtering of corn leaf

可根据灰度直方图进行阈值处理求出背景与缺水叶片之间的最佳阈值点。分析图像 RGB 三个通道的灰度图像,由生成的直方图可以发现图像的背景和叶片在图像的灰度直方图上各自形成一个波峰,选择双峰间低谷处所对应的灰度值作为进行图像分割的阈值。确定图像分割的阈值后,利用阈值分割的方法将背景分割从玉米叶片的图像中去除,获得玉米叶片的图像信息。

1.5 叶片颜色特征的提取

由于获得的图像为 RGB 图像,每一个像素点是用 3 个数值来描述它的特征,图像处理的工作量比较大。所以利用图像处理提取有效信息时,通常将彩色的信息投影到灰度空间上。因此,与图像颜色特征相对应的是灰度特征。图像的灰度特征具有一定的稳定性,对大小、方向都不敏感,能表现出相当强的鲁棒性^[6]。

1.5.1 灰度直方图 灰度直方图(histogram)是灰度级的函数,它表示图像中具有每种灰度级的像素的个数,反映图像中每种灰度出现的频率^[6]。可以用下式来表示图像灰度直方图的定义:

$$H(i) = \frac{n_i}{N} \quad i = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

式中, i 表示灰度级, L 表示灰度级种类数, n_i 表示图像中具有灰度级 i 的像素个数, N 表示图像总的像素数。其横坐标是灰度级,纵坐标是该灰度出现的频率。

图像的灰度直方图提供了该图像外观的一个全局描述,根据直方图提取的特征具有 RST 不变性,

即图像的直方图具有比例、旋转和位移不变性,因此在图像分类识别中被广泛采用。传统的直方图方法仅仅是统计每个灰度等级像素点的个数,但是如果叶片形状大小发生变化以及外界因素的影响,提取的颜色特征参数也会随之发生变化。而采用百分率直方图法对叶片图像进行统计,可以消除叶片形状大小的影响。图 4 表示的是一幅作物叶片图像的直方图示例。

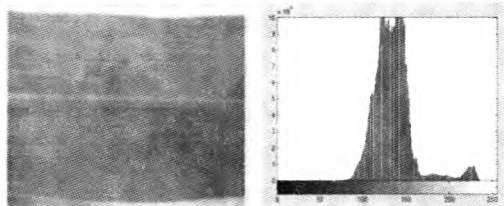


图 4 叶片灰度图及灰度直方图

Fig. 4 Gray histogram of corn leaf

1.5.2 基于灰度直方图的统计特征

(1) 均值(mean):均值反映的是一幅图像的平均灰度值。

$$\mu = \sum_{i=0}^{L-1} iH(i)$$

式中, i 表示图片灰度级, μ 表示图像的平均灰度值, $H(i)$ 表示灰度级为 i 的点出现的频率。

(2) 方差(variance):方差反映的是一幅图像的灰度在数值上的离散分布情况。

$$\sigma^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - \mu)^2 H(i)$$

式中, μ 表示图像的平均灰度值, σ^2 表示方差。

(3) 能量(energy):能量反映的是灰度分布的均匀程度,灰度分布较均匀时能量较大,反之,能量较小。

$$u_N = \sum_{i=0}^{L-1} H(i)^2$$

式中, u_N 表示能量。

(4) 熵(entropy):熵也反映了灰度直方图灰度分布的均匀性。

$$u_g = \sum_{i=0}^{L-1} H(i) \log_2 [H(i)]$$

式中, u_g 表示熵。

(5) 歪斜度(skewness):歪斜度反映的是灰度图像直方图分布的不对称度,歪斜度越大表示灰度直方图分布越不对称;反之,越对称。

$$u_z = \sum_{i=0}^{L-1} (i - \mu)^3 H(i)$$

(6) 峰态(kurtosis):峰态反映的是灰度图像的

灰度分布在接近均值时的大致状态,用以判断图像的灰度分布是否非常集中于平均灰度附近。峰态越小,表示越集中;反之,表示越分散。

$$u_k = \frac{1}{\sigma^4} \sum_{i=0}^{L-1} (i - u)^3 H(i) - 3$$

式中, σ^2 表示方差, u_k 表示图像的峰态。

1.6 预测模型建立方法

取第一部分 16 组叶片样本,即分别提取含水率区间在 84% ~ 85% 和 89% ~ 90% 的 8 组叶片样本作图像灰度直方图特征参数分析。图 5 中横坐标为样本叶片的序号,纵坐标为提取的样本叶片图像的均值特征值,不同的序号代表不同含水率的叶片。为分析含水率与均值之间的关系,采用一元线性回归的方法来建立模型。

一元线性回归是描述两个变量之间统计关系(相关关系)的回归模型。方法如下:

令现行回归方程为: $y = ax + b$ (1)

其中 a, b 为回归系数,需要用观测数据 $(x_1, x_2,$

$\cdots, x_n)$ 与 $(y_1, y_2, \cdots, y_n)$ 来确定。

2 结果与分析

2.1 特征参数提取

任意抽取不同含水率的玉米叶片样本,经过预处理以及相关变换,然后利用计算均值、方差、能量、熵、歪斜度和峰态的公式,对缺水样本的灰度直方图进行特征参数的计算。经过分析对比提取的 6 个特征参数,均值和峰态的区分效果比较理想,而其它 4 个特征参数(如能量、熵、歪斜度、方差)的区分效果不太明显。

图 5 是实验中提取的 6 个特征参数值。由图 5 可以看出,含水率高的叶片平均灰度值比含水率低的叶片平均灰度值大,两条曲线没有交叉,可以利用均值作为区分叶片含水率的特征值。因此,实验中将灰度直方图的均值特征参数作为对玉米叶片含水率进行预测的特征值。

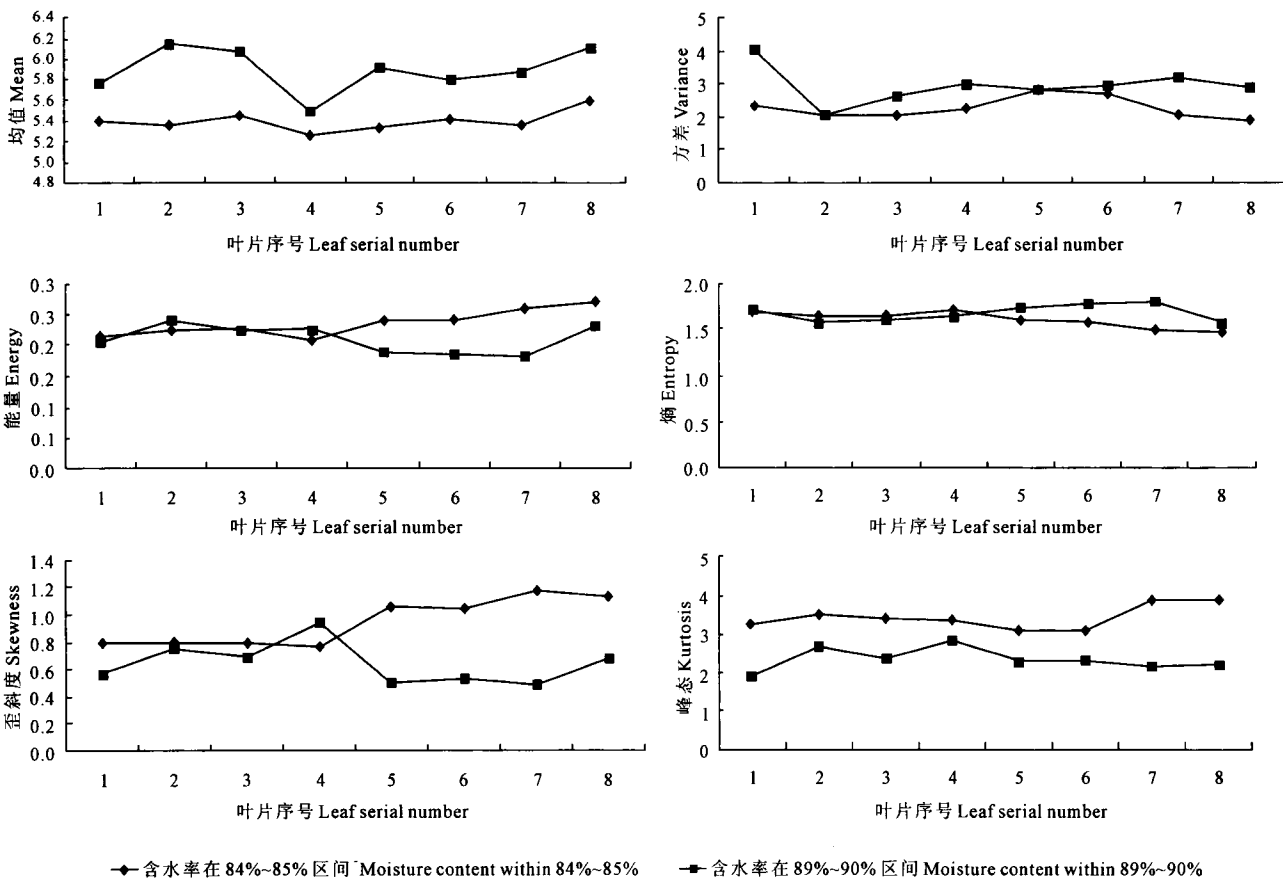


图 5 叶片特征参数对比

Fig.5 Comparison of the characteristic parameters of leaves

2.2 预测模型建立

取第二部分 20 组叶片样本数据建立预测模型。根据表 1,由于第 5、9、10 三组叶片图像信息的颜色

发生了色变,造成图像信息的噪声较大,在进行模型建立的时候将其排除,不做参考。根据其他 17 组数据,利用线性回归方法得到结果如图 6 所示。图中

横坐标为叶片样本特征值均值,纵坐标为提取的叶片样本含水率。利用一元线性回归的方法得叶片含水率与叶片特征值均值之间的关系为:

$$y = 0.0791x + 0.4235$$

其相关系数 $R^2 = 0.7017$ 。

式中, x 为提取的特征值, y 为根据特征值预测的含水率。

表 1 模型建立样本特征值
Table 1 Eigenvalues of the model

参数	叶片序号 Leaf serial number																			
Parameter	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
含水率/% Moisture content	84.99	84.23	85.35	85.70	85.07	85.27	86.25	86.49	86.31	86.34	87.89	87.06	87.19	87.62	88.07	88.16	89.65	89.80	89.34	89.05
均值 Mean	5.4524	5.4315	5.4785	5.7172	5.7759	5.4890	5.4816	5.5893	5.8700	5.9881	5.7446	5.5663	5.6315	5.6106	5.7954	5.6804	5.8537	5.7530	6.1052	5.9290

2.3 模型验证

取第三部分 20 组叶片样本对玉米叶片含水率的诊断模型进行验证。20 组样本叶片含水率实测值与估计值见表 2,比较结果见图 7。图 7 中实线表示理论预测的含水率,方程为:

$$y = 0.0791x + 0.4235$$

式中: x 为提取的叶片特征值, y 分别为预测与实际

叶片含水率。

由于光照强弱变化等因素影响,诊断结果会出现偏差。对 20 组玉米叶片利用图像处理的方法进行诊断,得到结果见图 7,叶片含水率的诊断结果在理想结果值左右浮动,叶片含水率平均值与标准值的误差维持在 $\pm 2\%$,标准差为 0.021,诊断结果相对理想。

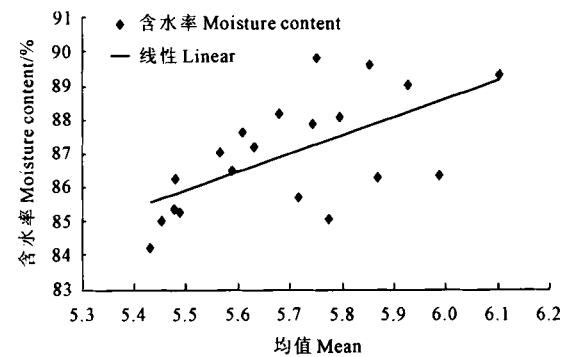


图 6 叶片含水率与叶片特征值均值之间的关系
Fig.6 The Linear relationship between eigenvalue of mean and moisture content of leaves

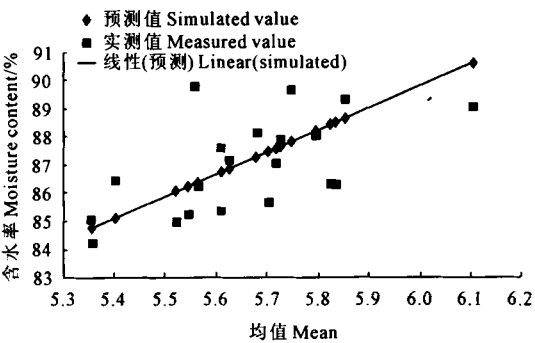


图 7 叶片含水率实测值与预测值的比较
Fig.7 Comparison of measured value with simulated value

表 2 模型验证结果
Table 2 The results of model verification

参数	叶片序号 Leaf serial number																			
Parameter	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
均值 Mean	5.5233	5.358	5.6093	5.7028	5.3556	5.5453	5.5651	5.4027	5.8346	5.8246	5.7264	5.7174	5.6260	5.6106	5.7953	5.6804	5.7469	5.5593	5.8537	6.1052
预测值/% Simulated value	86.07	84.79	86.74	87.47	84.77	86.24	86.40	85.13	88.49	88.42	87.65	87.58	86.87	86.75	88.19	87.29	87.81	86.35	88.64	90.60
实测值/% Measured value	84.99	84.23	85.35	85.70	85.07	85.27	86.25	86.49	86.31	86.34	87.89	87.06	87.19	87.62	88.07	88.16	89.65	89.80	89.34	89.05

3 结 论

本文研究了利用图像处理技术检测作物叶片含

水率的方法。结果表明,在作物叶片灰度直方图中的均值、方差、能量、熵、歪斜度和峰态等参数中,均值参数可以对玉米的叶片含水率进行预测。叶片图

像采集光照强弱、图像分辨率等对预测结果有影响。

参考文献:

- [1] 张寄阳,段爱旺,孙景生,等.作物水分状况自动监测与诊断的研究进展[J].农业工程学报,2006,1(1):174-175.
- [2] 张伟,毛罕平,李萍萍,等.基于计算机图像处理技术的作物缺素判别的研究[J].计算机应用与软件,2004,2(2):51.
- [3] 张伟,毛罕平,李萍萍,等.缺素叶片图像颜色和纹型特征参数提取的研究[J].农机化研究,2003,4(2):60-61.
- [4] 穗波信雄.根据图像提取植物的生长信息[R].日本:农业机械学会关西支部,1989.
- [5] Blackmer T M, Schepers J S, Varvel G E, et al. Analysis of aerial photography for nitrogen stress within corn fields[J]. Agronomy Journal, 1996, 88(5):729-733.
- [6] 刘益新,郭依正.灰度直方图特征提取的 Matlab 实现[J].电脑知识与技术,2009,5(32).
- [7] 黄红霞,李萍萍,张迎春,等.从生理变化诊断作物缺水的方法[J].农机化研究,2004,9(5):101.
- [8] 吴富宁,杨子彪,朱虹,等.基于颜色特征进行农作物图像分类识别的应用研究综述[J].中国农业科技导报,2003,5(2):76-77.
- [9] 薄华,马缚龙,焦李成.图像纹理的灰度共生矩阵计算问题的分析[J].电子学报,2006,1(1):155-156.
- [10] 曹敏,马旭,姚亚利.图像处理技术在农作物营养信息检测中的研究展望[J].农机化研究,2005,9(5):5-6.
- [11] 郑丽颖,张敬涛,王谦玉.基于计算机视觉的作物营养诊断系统的关键技术研究现状[J].黑龙江农业科学,2009,(2):137-140.
- [12] 张伟.基于计算机图像处理的黄瓜缺素判别的研究[D].镇江:江苏大学,2003:33-34.
- [13] 郭德军,宋蛰存.基于灰度共生矩阵的纹理图像分类研究[J].林业机械与木工设备,2005,33(7):33-34.
- [14] 冯建辉,杨玉静.基于灰度共生矩阵提取纹理特征图像的研究[J].北京测绘,2007,(3):19-20.
- [15] 白雪冰,王克奇,王辉.基于灰度共生矩阵的木材纹理分类方法的研究[J].哈尔滨工业大学学报,2005,37(12):1668-1669.
- [16] 戴之祥.水稻及玉米植株含水率的可见光图像检测[D].合肥:安徽农业大学,2006.
- [17] Liao K, Paulsen M R, Reid J F. Real-time detection of color and surface defects of maize kernels using machine vision[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1994, 59(4):263-271.
- [18] Seginer I, Elster R T, Goodrum Jw, et al. Plant wilt detection by computer-Vision trackin of leaf tips[J]. Trans actions of the ASAE, 1992, 35(5):1563-1567.
- [19] SUO Xing-mei, JIANG Ying-tao, YANG Mei, et al. Artificial neural network to predict leaf population chlorophyll cotton plant Image[J]. Science Direct, 2010, 9(1):38-45.

(上接第 94 页)

参考文献:

- [1] 山仓.节水农业的研究与实施[J].中国科学院院刊,1996,11(6):430-435.
- [2] Deng X P, Shan L, Inanaga S, et al. Improvement of wheat water use efficiency in semiarid area of china[J]. Agricultural Sciences in China, 2003,2(1):35-44.
- [3] 焦峰,吴金花,张兴梅,等.不同氮肥水平影响下的水稻根系吸氮率特性分析[J].土壤通报,2009,40(6):1353-1355.
- [4] 张玉芹,杨恒山,高聚林,等.超高产春玉米的根系特征[J].作物学报,2011,37(4):735-743.
- [5] 廖荣伟,刘晶森,安顺清,等.基于微根管技术的玉米根系生长监测[J].农业工程学报,2010,26(10):156-161.
- [6] 苗果园,高志强,张云亭,等.水肥对小麦根系整体影响及其与地上部相关的研究[J].作物学报,2002,28(4):445-450.
- [7] 刘庚山,郭安红,任三学,等.人工控制有限供水对冬小麦根系生长及土壤水分利用的影响[J].生态学报,2003,23(11):2342-2352.
- [8] 汪晓丽,陶玥玥,盛海君,等.硝态氮供应对小麦根系形态发育和氮吸收动力学的影响[J].麦类作物学报,2010,30(1):129-134.
- [9] Xue Q, Zhu Z, Musick J T, et al. Root growth and water uptake in winter wheat under deficit irrigation[J]. Plant and Soil, 2003, 257(1):151-161.
- [10] Hirel B, Gouis J L, Ney B, et al. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches[J]. J. Exp. Bot., 2007,58:2369-2387.
- [11] 李春俭,彭云峰,牛君仿.土壤中的玉米根系生长及其研究应注意的问题[J].植物营养与肥料学报,2010,16(1):225-231.
- [12] 宋海星,李生秀.水、氮供应和土壤空间所引起的根系生理特性变化[J].植物营养与肥料学报,2004,10(1):6-11.
- [13] 曹翠玲,李生秀.水分胁迫和氮素有限亏缺对小麦拔节期某些生理特性的影响[J].土壤通报,2003,34(6):505-509.
- [14] Sharne B R, Chaudhary T N. wheat root growth, gain yield and water uptake as influenced by soil water regime and depth of nitrogen placement in a loamy sand soil[J]. Agriculture water management, 1983,6:365-373.
- [15] 杜建军,田青鸿,王朝辉,等.根系吸收养分水分的作用以及以肥促根的效应[C]//汪德水.旱地农田肥水关系原理与调控技术.北京:中国农业科技出版社,1995:106-109.
- [16] Russel R S. Plant Root System: Their Functions and Interaction with the Soils[M]. London: Mc Craw - Hill Book Company (UK) Ltd., 1977,166.
- [17] 袁惠慧,邓西平.生物节水中的补偿效应与根系调控研究[J].中国农业科技导报,2003,5(6):24-28.