

基于广角摄影技术的柑橘树冠层叶面积指数检测系统*

吴伟斌¹ 冯灼峰² 洪添胜³ 张立俊² 杜俊毅² 黄双萍²

(1. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642;
2. 华南农业大学工程学院, 广州 510642; 3. 国家柑橘产业技术体系机械研究室, 广州 510642)

摘要: 提出一种基于广角摄像技术的柑橘树叶面积指数快速、简易检测方法。将广角摄像镜头拍摄的柑橘树图像导入计算机,进行灰度化、图像增强、滤波处理与二值化处理,计算出柑橘树冠层的孔隙率,据此推导柑橘树冠层叶面积指数。试验以扫描法检测结果作为真实值,并以加拿大 WinSCANOPY 型冠层分析仪与本系统作检测效果对比,结果表明在同等试验条件下,利用 WinSCANOPY 型冠层分析仪检测柑橘树叶面积指数的相对误差变化范围为 -30.39% ~ 43.53%,相对误差绝对值的平均值为 18.90%,本系统检测的相对误差变化范围为 -27.26% ~ 37.06%,相对误差绝对值的平均值为 19.91%,满足柑橘树冠层 LAI 检测试验要求。

关键词: 柑橘 叶面积指数 广角摄影技术 检测系统 图像处理

中图分类号: TP317.4; S314 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)08-0276-06

引言

叶面积指数(Leaf area index, LAI)反映了单位地表上植物叶片面积的多少,是分析冠层结构的最重要参数之一,与其它冠层结构参数联合决定柑橘树对光能、水分、肥料等利用和管理的能力,研究叶面积指数的无损检测方法具有重要的理论意义和应用价值^[1-3]。近年来,国外已经成功研制了一系列以半球图像为基础的数字植物冠层图像分析仪,如美国 CID 公司生产的 CI-110、加拿大 Regent Instrument 公司生产的 WinSCANOPY 和英国 Delta-T 公司生产的 HemiView 等,它们通常由鱼镜头、数码相机、冠层图像分析软件和数据处理器组成^[4-6],不仅实现了理想的全天空图像快速分析,而且可以在野外快速获得大量图像,分析出冠层与天空的比例并计算出 LAI 等植物冠层结构参数。

目前用于检测果树冠层 LAI 的设备成本普遍较高,且操作过程复杂,受检测环境的影响大,因此限制了其推广^[7]。随着图像处理技术迅速发展及数码照相技术和图像处理软件的不 断应用,使计算机系统采用简便方法检测叶面积指数成为可能,如有研究利用智能手机摄像头检测 LAI^[8-12]。为此,本文设计基于广角摄像技术的柑橘树叶面积指数快速、简易检测系统,并与 WinSCANOPY 型叶面积指

数分析系统进行检测对比。

1 系统整体检测方案

1.1 系统检测原理

柑橘树 LAI 检测系统先利用广角摄像头摄取目标图像,再利用 Matlab 软件对目标图像进行灰度变换、图像增强、滤波处理、二值化处理,系统程序通过对已被处理的目标图像进行分析,计算出柑橘树的叶面积、实际占地面积、孔隙率以及叶面积指数等参数。系统检测 LAI 原理框图如图 1 所示。

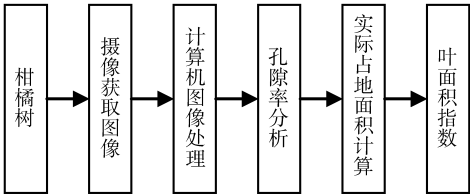


图 1 系统检测 LAI 原理框图

Fig.1 Block diagram of LAI detection principal

1.2 系统硬件构建

系统在利用广角摄像头拍摄柑橘树图像的基础上,采用图像处理方法对目标图像进行分析,从而实现柑橘树冠层结构参数的检测。摄像头为深圳市林柏视科技有限公司生产的 120°摄像头,该摄像头符合单角度反演的视场角要求。

系统所用摄像镜头为广角镜头,支持动态和静

收稿日期: 2014-03-03 修回日期: 2014-04-21

* 国家自然科学基金资助项目(30871450)、现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目(CARS-27)、公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(201203016)和惠州市产学研结合项目(2013B050013015)

作者简介: 吴伟斌,副教授,主要从事机电一体化技术在农业上的应用研究, E-mail: wuweibin@scau.edu.cn

通讯作者: 洪添胜,教授,博士生导师,主要从事机电一体化和信息技术在农业中的应用研究, E-mail: tshong@scau.edu.cn

态图像捕捉。镜头参数如下：图像速率为 30 帧/s，64 位真彩，插值像素大于 2 000 万，最大动态分辨率为 1 280 × 960；感光器件为 CMOS，格式为 VGA/CIF；扫描模式为逐行扫描或隔行扫描；影像处理包括自动曝光控制、自动增益控制、自动白平衡、伽玛校正；拍摄范围为 2 cm ~ ∞。

采用便携式计算机：CPU 主频为 2.5 GHz，内存为 2 GB，硬盘容量为 250 GB，操作系统为 Windows 7。计算机安装有 Matlab(R2011) 软件。系统采用铝合金方管搭建检测平台，可以实现摄像头在垂直维度上升降以及在水平面自由移动。系统试验现场如图 2 所示。

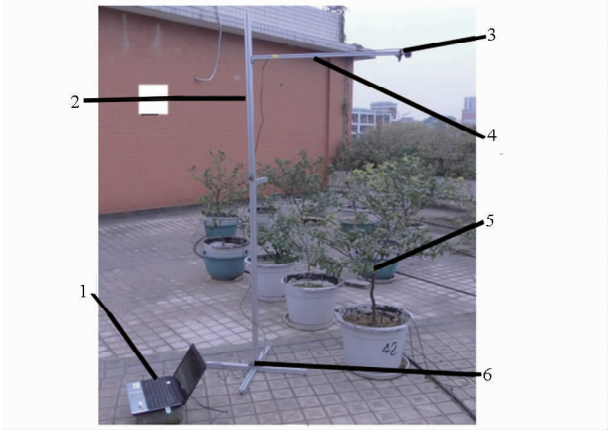


图 2 系统试验现场

Fig. 2 Experiment scene of system

1. 便携式计算机 2. 垂直升降杆 3. 广角摄像头 4. 水平滑动杆 5. 盆栽柑橘树 6. 系统支撑架

1.3 试验对象

试验地为华南农业大学工程学院柑橘园，地理位置为东经 113. 35°，北纬 23. 16°。试验柑橘园占地面积为 112 m²。所研究的柑橘树品种为广东砂糖柑，试验用柑橘数量为 30 株(共 45 株)；采用盆栽种植，盆内径为 43. 4 cm，外径为 49. 5 cm。树与树之间彼此孤立，没有遮挡，行间光照条件良好，树形为疏散分层形，满足试验环境要求。

2 LAI 检测程序设计

本研究建立了一个快速、简易的冠层特征参数提取系统，将数码相机拍摄得到的彩色数字图像转化为只含有“叶片”和“背景”两种像元的二值分割图像，然后提取二值分割后图像的特征参数。特征参数提取流程如图 3 所示。

2.1 灰度变换

摄像头采集到的目标图像是 24 位真彩色图像，为了得到二值化的图像，需要将彩色图像转换为灰度图像。本研究采用平均法进行灰度变换，令图像

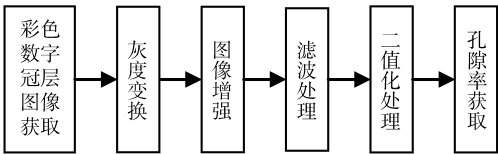


图 3 特征参数提取流程

Fig. 3 Extraction process of feature parameter

中每一个像素点的灰度值为原彩色图中 R、G、B 的平均值。灰度直方图表示图像中具有每个灰度级的像素个数，反映图像中每种灰度级别的像素出现的频率。柑橘树的原图像与灰度图像对比如图 4 所示。



图 4 柑橘树原图像与灰度图像对比

Fig. 4 Contrast of original image and gray image

(a) 柑橘树原彩色图像 (b) 柑橘树灰度图像

2.2 图像增强及滤波处理

由于柑橘树冠层背景元素复杂，处理过程很容易混入噪声，得到的二值图像中常常会有孤立像元的存在。此外，摄像头的光电信号转换过程中也会产生量化误差以及信道误差等^[13]。为消除上述可能出现的噪声，需要对原始图像进行滤波处理。为更有效地对原始图像进行滤波处理，本研究利用图像增强把冠层绿色部分从背景和噪声中突显出来以便于分割，同时对背景和噪声加以抑制。图像增强的方法主要有直方图灰度线性变换和直方图均值化，分别用这两种方法进行图像增强处理，处理效果对比如图 5 所示。



图 5 不同图像增强方式效果对比

Fig. 5 Contrast of different ways of image enhancement

(a) 直方图灰度线性变换 (b) 直方图均值化

从图 5 分析，直方图灰度线性变换增强的图像对比度最好。直方图均值化增加了部分噪声，使得叶片与背景的颜色更难区分。所以，采取直方图灰度线性变换对图像进行增强。

采用中值滤波法处理增强后的灰度图像。中值滤波法对噪声有良好的去除效果,不会使叶片边缘模糊,可以实现试验目标图像的光滑、锐化以及叶片边缘的检测。其原理为将数字图像像素或数字序列中一点的值,用该点一个邻域中各点值的中值代替,令邻域的各像素值逐步接近,从而消除孤立的噪声点,二维中值滤波输出为

$$g(x,y) = \text{med}\{f(x-k,y-l),(k,l \in W)\}$$

式中 $f(x,y)$ 、 $g(x,y)$ ——原始图像与处理后图像的灰度

W ——二维模板
 $\text{med}\{\}$ ——中值滤波函数

2.3 二值化处理

图像二值化的目的是将经过图像增强与滤波处理后的图像划分为包含“叶片”和“背景”两种像元的黑白图像。定义灰度值小于阈值的像元为背景像元,灰度值大于该阈值的像元为冠层叶片像元^[14]。

图像二值化是影响冠层结构参数反演精度的主要原因之一。采用自适应阈值法,结合 Otsu 算法把图像中的像素按灰度用某一阈值 t 处理分割成两类,第 1 类为由灰度在 $[0,t]$ 之间的像素组成,第 2 类为由灰度在 $[t+1,255]$ 之间的像素组成,其计算式为

$$\sigma(t)^2 = w_1(t)w_2(t)[u_1(t) - u_2(t)]^2 \tag{1}$$

式中 $w_1(t)$ ——第 1 类中包含的像素数
 $w_2(t)$ ——第 2 类中包含的像素数
 $u_1(t)$ ——第 1 类中像素的平均灰度值
 $u_2(t)$ ——第 2 类中像素的平均灰度值

$\sigma(t)^2$ 为两类的类间方差, $\sigma(t)^2$ 越大表明图像分割效果越好^[15-16]。

令 t 在 $[0,255]$ 范围依次取值,当 $\sigma(t)^2$ 为最大时,决定阈值。

2.4 孔隙率与 LAI 计算

获取冠层结构参数的基础是冠层内的辐射环境与冠层结构之间的定量化关系,通常借助 Beer - Lambert 定律来获取植被的冠层叶面积指数^[17]

$$L_{LAI} = \frac{-\ln T(\theta) \cos \theta}{G(\theta)} \tag{2}$$

其中
$$T(\theta) = \frac{P_0(\theta)}{P_0(\theta) + P_1(\theta)} \tag{3}$$

式中 θ ——视角
 $T(\theta)$ ——视角 θ 下冠层的孔隙率
 $G(\theta)$ ——平均投影函数,即 θ 方向上单位叶片的投影面积,它与冠层内叶片的叶倾角分布有关

P_0 ——天空像元数量
 P_1 ——叶片像元数量

当视角 θ 约等于 57.5° 时, G 约恒等于 0.5,且与叶倾角关系不大^[17]。即由式(2)得

$$L_{LAI} = \frac{-\ln T(57.5^\circ) \cos 57.5^\circ}{0.5} \tag{4}$$

将式(4)写入本系统 Matlab 程序中,即能通过图像分析得到孔隙率,并计算得出 LAI 值。

3 试验设计与结果分析

3.1 试验设计

以华南农业大学工程学院柑橘园的 30 株柑橘树为试验对象,在晴天无风条件下采集图像数据,每次图像采集的摄像头像素、拍照模式和曝光时间等设定相同,令相机对焦于目标柑橘树中部位置。具体步骤如下:

- (1)调整摄像头的焦距和光圈,令摄像头拍摄到的图像最为清晰。
- (2)将摄像头垂直置于柑橘树冠层正上方,保持水平。
- (3)启动软件系统,捕捉图像并进行拍摄。
- (4)对采集的图像进行处理并记录结果。
- (5)使用冠层分析仪在最佳组合参数下进行拍摄。
- (6)对冠层分析仪的图像进行处理。

3.2 试验结果分析

以直接法中的扫描法所得 LAI 值作为总体试验的 LAI 真实值,同时应用加拿大 Regent Instrument 公司生产的 WinSCANOPY 型冠层分析仪(18 M 像素,180°鱼镜头,带指北装置、遥控器和 8 GB 内存)对上述果树进行 LAI 检测,结果作为参照对比。

根据 LAI 的定义,首先计算柑橘树的占地面积 S_a ,如图 6 所示,将 A4 纸放置地面,使用数码相机垂直于地面拍摄果树,利用 PhotoShop 与 Matlab 软件对图像进行处理,计算柑橘树投影轮廓 N_a 和 A4 纸所包含的像素 N_A ,根据 A4 的实际面积 S_A ,求得柑



图 6 求冠层占地面积的图像处理结果
Fig. 6 Image processing for obtaining the area of canopy
(a) 垂直拍摄的冠层图像 (b) 二值化的占地面积

橘树的占地面积 S_d 。其次计算总叶面积 S_N ,如图 7 所示,对每株柑橘树按照东南西北 4 个方向采上中下 3 层的老嫩叶片,共 24 片叶片作为样本,在扫描仪上将样本平铺在 A4 纸上进行扫描,再将扫描到的图像利用 Matlab 软件进行处理,求得采样叶片的像素 N_B ,计算得 24 片叶片的总面积 S_B 与平均每片叶片的面积 S_a 。将 S_a 乘以每株树的总叶片数 N ,求得总叶面积 S_N 。最后求得 LAI 真实值^[18]。计算式为

$$S_d = \frac{S_A \cdot N_d}{N_A} \tag{5}$$

$$S_B = \frac{S_A \cdot N_B}{N_A} \tag{6}$$

$$S_a = \frac{S_B}{24} \tag{7}$$

$$S_N = S_a \cdot N \tag{8}$$

$$L_{LAI} = \frac{S_N}{S_d} \tag{9}$$

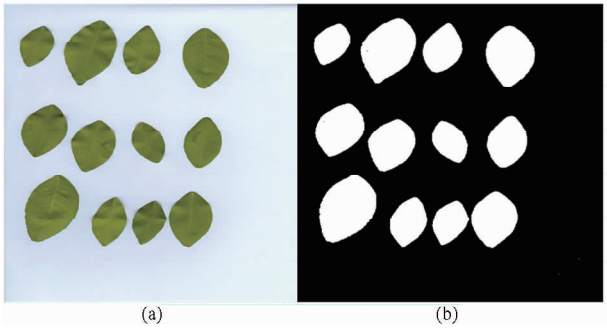


图 7 求叶片平均面积的图像处理结果

Fig. 7 Image processing for obtaining the average area of leaves
(a) 扫描后的叶片图像 (b) 二值化图像

试验拍摄方位为东方位,镜头距离柑橘树主干 25 cm,距离地面高度 89 cm,天顶角设为 60°,同时采用遮罩处理对与冠层无关的部分区域进行屏蔽^[19]。LAI 反演结果对比如表 1 所示。WinSCANOPY 型冠层分析仪检测的相对误差变化范围为 -30.39% ~ 43.53%,相对误差绝对值平均为 18.90%;本系统是基于 Matlab 提供的可视化的界面环境 Guide 开发的,系统操作界面如图 8 所示,本系统检测的相对误差变化范围为 -27.26% ~ 37.06%,最小相对误差的绝对值为 1.38%,相对误差绝对值平均为 19.91%。

3.3 系统误差分析

产生误差的主要原因:①测量过程中对象受光强度有细微变化,造成在图像获取过程中出现了噪声。②系统硬件、拍摄高度与偏移距离等因素导致了误差。③对图像增强处理用肉眼去判断其增强效

表 1 各反演方法试验结果对比
Tab.1 Contrast of test result by different inversion methods

编号	LAI 真实值	WinSCANOPY 型冠层分析仪检测			本系统检测		
		LAI	绝对	相对误	LAI	绝对	相对误
		检测值	误差	差/%	检测值	误差	差/%
1	1.39	1.23	-0.16	11.32	1.41	0.02	-1.38
2	3.06	2.76	-0.30	9.82	2.16	-0.89	29.21
3	1.51	1.97	0.46	-30.39	1.74	0.22	-14.83
4	1.82	1.69	-0.13	7.30	2.15	0.33	-17.91
5	3.07	2.40	-0.67	21.86	2.41	-0.65	21.24
6	1.75	1.48	-0.27	15.50	1.50	-0.26	14.62
7	1.10	0.94	-0.16	14.56	1.40	0.30	-27.26
8	3.04	2.79	-0.25	8.28	2.00	-1.04	34.14
9	3.95	2.23	-1.72	43.53	2.67	-1.28	32.39
10	2.59	1.94	-0.65	25.25	1.80	-0.80	30.70
11	2.32	1.62	-0.70	30.15	1.94	-0.38	16.20
12	3.38	3.13	-0.25	7.53	2.22	-1.16	34.30
13	2.59	2.02	-0.57	21.97	2.51	-0.08	3.01
14	4.00	3.17	-0.83	20.81	2.85	-1.15	28.75
15	1.97	2.11	0.14	-6.85	2.10	0.12	-6.29
16	2.21	1.65	-0.57	25.56	2.03	-0.19	8.41
17	3.88	3.21	-0.68	17.40	3.04	-0.84	21.63
18	2.63	2.48	-0.16	6.06	2.03	-0.60	22.88
19	1.98	1.44	-0.54	27.23	1.76	-0.22	11.00
20	2.76	2.34	-0.42	15.32	2.26	-0.50	18.02
21	2.78	2.44	-0.34	12.08	2.28	-0.49	17.76
22	2.62	2.16	-0.46	17.60	2.22	-0.41	15.47
23	2.73	2.03	-0.69	25.45	2.60	-0.12	4.54
24	3.32	2.33	-1.00	29.99	2.09	-1.23	37.06
25	3.09	2.68	-0.41	13.42	2.50	-0.59	19.08
26	2.37	1.74	-0.63	26.49	2.14	-0.24	9.92
27	2.79	1.87	-0.92	32.90	2.20	-0.59	21.16
28	1.69	1.46	-0.23	13.43	1.29	-0.40	23.79
29	2.33	1.72	-0.61	26.02	1.75	-0.57	24.54
30	2.45	2.10	-0.35	14.12	1.71	-0.74	30.07
绝对值的平均值			0.51	18.90		0.55	19.91



图 8 检测系统操作界面

Fig. 8 Detecting system interface for manufacture

果,影响了二值化处理效果进而使计算孔隙率时出现误差。

4 结 束 语

提出了一种基于广角摄影技术的柑橘树叶面积指数检测方法。由广角摄像镜头所拍摄柑橘树图像计算出柑橘树的孔隙率,并推导出柑橘树叶面积指数,以直接检测法检测结果作为真实值,同时使用加拿大 WinSCANOPY 型冠层分析仪检测进行效果对比。系统柑橘树冠层 LAI 检测值与真实值的绝对误差绝对值的平均值为 0.55,相对误差变化范围为

-27.26% ~ 37.06%,相对误差绝对值的平均值为 19.91%,而冠层分析仪柑橘树 LAI 检测值与真实值的绝对误差绝对值的平均值为 0.51,相对误差变化范围为 -30.39% ~ 43.53%,相对误差绝对值的平均值为 18.90%,结果表明本系统满足柑橘树冠层 LAI 检测试验要求。根据误差分析,今后的研究重点是提高广角摄影图像处理效果,寻求合适的 LAI 算法以提高测量精度。

参 考 文 献

1 姚青青,王斌,杨涛,等. 棉花冠层结构测定方法探讨[J]. 中国棉花,2011(7):18-21.
Yao Qingqing, Wang Bin, Yang Tao, et al. Discussion of cotton canopy measurement methods[J]. China Cotton, 2011(7): 18-21. (in Chinese)

2 姚延娟,范闻捷,刘强,等. 玉米全生长期叶面积指数收获测量法的改进[J]. 农业工程学报,2010,26(8):189-194.
Yao Yanjuan, Fan Wenjie, Liu Qiang, et al. Improved harvesting method for corn LAI measurement in corn whole growth stages[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(8): 189-194. (in Chinese)

3 吴伟斌,冯灼峰,洪添胜,等. 基于近红外反射的柑橘重叠叶片叶面积指数测量系统[J]. 农业机械学报,2013,44(1):179-184.
Wu Weibin, Feng Zhuofeng, Hong Tiansheng, et al. Measurement system for citrus LAI based on near-infrared reflection[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(1): 179-184. (in Chinese)

4 黄华国,阎广建,柳钦火,等. 扩展真实结构模型模拟植被冠层半球图像[J]. 系统仿真学报,2011,23(5):1045-1050.
Huang Huaguo, Yan Guangjian, Liu Qinhuo, et al. Extending realistic structural model to simulate hemispherical photography of vegetation canopies[J]. Journal of System Simulation, 2011, 23(5): 1045-1050. (in Chinese)

5 Demarez V, Duthoit S, Baret F, et al. Estimation of leaf area and clumping indexes of crops with hemispherical photographs[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2008, 148(4): 644-655.

6 Pueschel P, Buddenbaum H, Hill J. An efficient approach to standardizing the processing of hemispherical images for the estimation of forest structural attributes[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2012, 160: 1-13.

7 聂鹏程,杨燕,刘飞,等. 植物叶面积无损测量方法及仪器开发[J]. 农业工程学报,2010,26(9):198-202.
Nie Pengcheng, Yang Yan, Liu Fei, et al. Method of non-destructive measurement for plant leaf area and its instrument development[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(9): 198-202. (in Chinese)

8 Ryu Y, Verfaillie J, Macfarlane C, et al. Continuous observation of tree leaf area index at ecosystem scale using upward-pointing digital cameras[J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 126: 116-125.

9 Liu J, Pattey E. Retrieval of leaf area index from top-of-canopy digital photography over agricultural crops[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2010, 150(11): 1485-1490.

10 Confalonieri R, Foi M, Casa R, et al. Development of an app for estimating leaf area index using a smartphone. Trueness and precision determination and comparison with other indirect methods[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 96: 67-74.

11 郭文川,周超超,韩文霆. 基于 Android 手机的植物叶片面积快速无损测量系统[J]. 农业机械学报,2014,45(1):275-280.
Guo Wenchuan, Zhou Chaochao, Han Wenting. Rapid and non-destructive measurement system for plant leaf area based on android mobile phone[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(1): 275-280. (in Chinese)

12 龚爱平,吴武豪,袁正军,等. 基于 Android 系统手机的叶面积测量方法[J]. 农业机械学报,2013,44(9):203-208.
Gong Aiping, Wu Wuhao, Qiu Zhengjun, et al. Leaf area measurement using android OS mobile phone[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(9): 203-208. (in Chinese)

13 谭峰,高艳萍. 基于图像的植物叶面积无损测量方法研究[J]. 农业工程学报,2008,24(5):170-173.
Tan Feng, Gao Yanping. Investigation of the method for non-destructive measurement of leaf area based on image[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(5): 170-173. (in Chinese)

14 关海鸥,许少华,马晓丹. 植物叶面积无损测量预处理技术研究[J]. 农机化研究,2010(3):171-173.
Guan Haiou, Xu Shaohua, Ma Xiaodan. Study on the non-loss measurement pre-processing technology of plant leaf area[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010(3): 171-173. (in Chinese)

15 潘桂颖. 基于半球摄影法的水稻冠层结构参数测量与反演[D]. 杭州:浙江大学,2011.

16 李明,张长利,房俊龙. 基于图像处理技术的小麦叶面积指数的提取[J]. 农业工程学报,2010,26(1):205-209.
Li Ming, Zhang Changli, Fang Junlong. Extraction of leaf area index of wheat based on image processing technique[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(1): 205-209. (in Chinese)

17 Monsi M, Saeki T. The light factor in plant communities and its significance for dry matter production[J]. Japanese Journal of Botany, 1953, 14: 22 – 52.

18 Weiss M, Beret M, Smith G J, et al. Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination Part II. Estimation of LAI, errors and sampling[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2004, 121: 37 – 53.

19 Zhang L, Hong T, Wu W, et al. Detection of LAI for fruiter based on hemispherical photography[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(Supp. 2): 213 – 220.

Detecting System of Citrus Canopy LAI Based on Wide-angle Photographing Technology

Wu Weibin¹ Feng Zhuofeng² Hong Tiansheng³ Zhang Lijun² Du Junyi² Huang Shuangping²

(1. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China 2. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China 3. Division of Citrus Machinery, China Agriculture Research System, Guangzhou 510642, China)

Abstract: An innovative way was proposed to detect citrus canopy LAI fast and easily based on wide-angle photographing technology. The citrus canopy images obtained by wide-angle lens were first sent into computer. And then the images were grayed, enhanced, filtered and binarized. The system calculated the citrus canopy gap fraction and derived LAI. The citrus canopy LAI detected by scanning method was taken as true value in the whole experiment. The Canadian WinSCANOPY was used in comparison with the system in detecting effect. The result of data collection experiment showed that the variation range of relative error was $-30.39\% \sim 43.53\%$ and the average of absolute relative error was 18.90% by the Canadian WinSCANOPY. The variation range of relative error was $-27.26\% \sim 37.06\%$ and the average of absolute relative error was 19.91% by the system based on same test condition. This system meets test requirements of citrus canopy LAI detecting.

Key words: Citrus Leaf area index Wide-angle photographing technology Measurement system Image processing

(上接第 253 页)

Influence of Bionic Indenter on Food Texture Based on Electromyographic Signal

Chen Li¹ Sun Yonghai¹ Liu Jingjing² Xie Gaopeng¹

(1. College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China 2. School of Automation Engineering, Northeast Dianli University, Jilin 132012, China)

Abstract: Bionic indenter was developed and used for food texture testing, and the characteristics of the masseter EMG in chewing process was obtained. The research found that the measurement results of bionic indenter and characteristics of the masseter EMG were significantly correlated. The correlation coefficients between the total energy of the first time compression and masseter activity, and between the hardness and the peak of masseter signal were 0.866 and 0.934, and the datas were bigger than the coefficients between the results of universal indenter and characteristics of the masseter EMG (0.740, 0.907). The results showed that the average closeness between food texture measured by bionic indenter and the variation of masseter activity was 9.3% higher than universal indenter, and the bionic indenter was better in reflection of actual food texture.

Key words: Bionic indenter Food texture Electromyography