利用扫描仪测量作物叶面积的模式选择与实现技术

王晓彬[1] 张仁祖[1] 费松[2] 张利华[1] 葛淑芬[1]

（1 江苏省徐州市气象局，徐州 221002；2 江苏省气象探测中心，南京 210008）

摘要 根据低成本、高精度、方便快捷测量作物叶面积的实际需要，利用常见的计算机和扫描仪设备，通过选择不同的扫描模式，采用有底板与无底板、有压膜与无压膜以及不同叶状样本的测量方法比较得出，各种处理测量误差都很小，但以无底板、无压膜的 300 dpi 灰阶法最佳，测量误差仅为 0.4‰，并基于计算机图像处理技术研制了相应的扫描仪测量作物叶面积软件，实现了作物叶面积测量、参数选择、图像和数据显示存储调用、数据统计、叶面积指数计算等功能。

关键词 扫描仪；叶面积；测量方法；软件系统

引言

叶片是作物进行光合作用的主要器官，叶面积指数是作物群体结构的一种标志参数，也是衡量作物长势、生长状况，表征作物对光能吸收的一个重要的生物学指标，叶片的发育状况和叶面积指数对作物生长发育、抗逆性及产量形成有很大的影响[1-2]，及时、方便、准确地获得作物叶面积，可为农业气象情报服务提供有效、科学、适用的数据，对研究农田小气候、作物生理生化、遗传育种、作物栽培以及调控作物群体结构具有重要的意义[3-6]。

传统的坐标纸法、系数法、剪纸法、称重法等叶面积测定方法原理简单，但操作繁琐、效率低、误差大。器测法存在设备价格昂贵，维护复杂维修不便的问题。近年来，计算机图像处理技术在叶面积测量中得到广泛的应用，李万春等[7]（2004）以计算机和扫描仪的组合技术为基础，建立了植物叶面积计算系统，实现了植物叶面积测定，其测定的误差小于 1.5%；张仁祖等[8]（2008）对从扫描仪获得的含有参照边框和叶片影像的图像进行分析处理，应用于作物叶面积的测量；于守超等[9]（2012）利用扫描仪对广玉兰叶片进行数字化处理，利用图像软件提取叶面积；陈涛涛等[10]（2012）提出了一种基于矩形框几何校正多叶面积测量方法解决了逐片测量和图片倾斜失真问题；谭峰等[11]（2008）基于双线性映射的无损测量法，实现了对大豆叶片无损测量；苑克俊（2006）、肖强（2005）等[12-13]用数码相机获取叶片和刻度直尺的图像，利用图像处理软件计算得出叶片的面积。这些基于图像扫描或拍照技术的测量方法实现了叶面积的测量，但存在技术环节多，系统集成性差的不足，本研究建立了一种新的简便、快速、准确测量作物叶面积的方法，具有设备通用、投入小、测量精度高、操作过程简便、运维容易的特点。

1 测量原理

用扫描仪以一定的分辨率扫描植物叶片，得到的图像（BMP 格式）的每个像素点所占的面积是一个常数，因此，通过对组成叶片图像的像素点的计算，可以实现对叶片面积的准确测定。彩色图的色彩是通过红绿兰（R、G、B）3 基色合成，计算机把每种原色分为 0～255 共 256 个等级，对红色而言，0 表示不含红色，255 表示含有 100% 的红色，绿色和蓝色也按上述方法进行颜色标定；灰阶图像把有黑—灰—白连续变化的灰阶值量化为 256 个灰阶级，灰阶值的范围为 0～255，表示亮度从深到浅，对应图像中的颜色为从黑到白；黑白图像，图像的像素非黑即白。3 种扫描模式的图像误差主要来源于叶片的边际，边际像素的取舍是否得当决定了测量的精

作者简介：王晓彬，男，1982 年生，理学学士，工程师，主要从事气象装备保障和业务管理工作，Email：13395262082@189.cn
收稿日期：2015 年 7 月 23 日；定稿日期：2016 年 1 月 11 日

度。彩色模式,可以对细微的颜色进行处理,通过大量的对比测试优化像素3基色截取阈值,理论上使用此法测量更为精确,但如果处理方法不当,过矫反而造成数据失真;灰阶法,通过优化像素灰阶截取阈值,可以准确地计算出叶片不同色度的像素点个数;黑白法,利用扫描出来的图像,直接计算黑点的像素面积,程序处理比较简单。

2 测量方法与精度分析

2.1 取样

扫描仪采用CanoScan LiDE 700F型号,光学分辨率为1200 dpi×1200 dpi。软件采用自主研发的“扫描仪测量叶面积软件”。测试样本见图1(彩页),样本1为标准正方形梧桐树叶片,实际测量面积22575.1 mm^2;样本2为三角形梧桐树叶片,实际测量面积为10041.2 mm^2;样本3采用橡皮树叶片。为精确确定梧桐叶样本实际面积,样本1和样本2截取有规则的正方形和三角形。

2.2 测量精度分析

2.2.1 不同扫描模式误差分析

将样本1随机置于扫描仪的稿台上,采用彩色、灰阶与黑白法分别测量,彩色、灰阶法像素截取阈值为200,分别选取100、150、200、300、400、500、600 dpi的分辨率进行测量,结果见表1,可见彩色、灰阶与黑白法3种测量模式误差均很小,测量数值以彩色法最小,灰阶法次之,黑白法最大,其中彩色法和灰阶法较为接近,比实际值要略小,黑白法比实际值略大。同一种扫描方法,在分辨率100~200 dpi之间测量结果波动较大,稳定性差,300~600 dpi之间测量结果几乎没有变化,高于600 dpi,扫描时间过长,图像太大,且测量结果与600 dpi差异不大。300~600 dpi之间测量误差以灰阶法最小(300 dpi仅为−0.4‰),彩色法次之,黑白法最大。因此实际测量时选灰阶法,300 dpi分辨率的扫描模式既节省测量时间,也降低图片文件大小,能够满足业务测量精度的要求。

表1 不同扫描模式误差 mm^2

分辨率	彩色法		灰阶法		黑白法	
dpi	测量值	绝对误差	测量值	绝对误差	测量值	绝对误差
100	22503.2	−71.9	22515.9	−59.2	22568.4	−6.7
150	22541.8	−33.3	22552.8	−22.3	22584.1	9.0
200	22549.6	−25.5	22554.3	−20.8	22595.1	20.0
300	22560.2	−14.9	22565.2	−9.9	22593.4	18.3
400	22560.1	−15.0	22564.4	−10.7	22592.8	17.7
500	22560.1	−15.0	22564.6	−10.5	22593.9	18.8
600	22557.0	−18.1	22562.1	−13.0	22592.1	17.0
平均误差	22547.4	−27.7	22554.2	−20.9	22588.5	13.4

2.2.2 有底板与无底板测量误差分析

用亚克力板设计3种底板,底板1、底板2、底板3的厚度分别为1、2和3 mm,与无底板进行比较,样本直接置于底板上,彩色、灰阶法像素截取阈值为200,扫描分辨率取300 dpi,测量样本2的叶面积,结果见表2,可见底板3误差最大,底板2次之,无底板测量值与标准面积最为近似。分析认为,为了获得高清晰度的扫描图像,厂家一般将扫描仪的焦距锁定,加了底板后,物距增加,扫描图像清晰度变差,同时扫描光线通过不同的介质会发生折射,也增加了误差,亚克力板制作工艺粗糙,光学性质差,误差更大,因此实际使用时可把样本直接置于扫描仪稿台上。

表2 有底板与无底板误差 mm^2

处理	彩色法		灰阶法		黑白法	
	测量值	绝对误差	测量值	绝对误差	测量值	绝对误差
底板1	10058.0	16.8	10059.2	18.0	10087.8	46.6
底板2	10066.1	24.9	10067.2	26.0	10112.4	71.2
底板3	10115.4	74.2	10115.8	74.6	10214.7	173.5
无底板	10034.9	−6.3	10039.3	−1.9	10074.6	33.4

2.2.3 有压膜与无压膜测量误差分析

将样本 2 直接置于扫描仪的稿台上，在样本上覆盖不同厚度的 PET 薄膜，采用彩色、灰阶与黑白法分别测量，彩色、灰阶法像素截取阈值为 200，扫描分辨率取 300 dpi，结果见表 3，压膜对测量结果有一定的影响，无压膜误差较小，压膜厚度越大，误差越大。

表 3 有压膜与无压膜误差 mm^2

厚度/mm	彩色法		灰阶法		黑白法	
	测量值	绝对误差	测量值	绝对误差	测量值	绝对误差
无压膜	10034.9	−6.3	10039.3	−1.9	10074.6	33.4
0.075	10051.3	10.1	10055.3	14.1	10104.6	63.4
0.1	10055.3	14.1	10059.2	18.0	10110.4	69.2
0.15	10060.6	19.4	10063.8	22.6	10121.1	79.9
0.2	10073.6	32.4	10078.2	37.0	10137.4	96.2

2.2.4 不同叶状测量误差分析

扫描仪测量叶面积的精度误差主要来源于叶片边缘的像素，对这些像素的取舍决定了测量误差的大小，另制作一个和样本 1 类似的正方形梧桐树叶片，实际测量面积 22560.0 mm^2，将其先后剪成 4 份、16 份、64 份条状，模拟阔叶状、禾本科状、针叶状作物叶片，散开在扫描仪平板上立即测量，采用彩色、灰阶与黑白法分别测量，彩色、灰阶法像素截取阈值为 200，扫描分辨率取 300 dpi，分析不同形状的样本对测量精度的影响，结果见表 4。分割后的单体样本面积越小，对应周长面积比就越大，测量值也相应增加，采用彩色法、灰阶法、黑白法，针叶状样本比原样本测量值分别增加 111.1、69.2 和 205.1 mm^2。与原样本实际面积相比，彩色法、灰阶法、黑白法的测量误差分别为 4.5‰、2.7‰和 9.7‰，均能满足常规业务和研究的需要。

表 4 不同形状的样本误差 mm^2

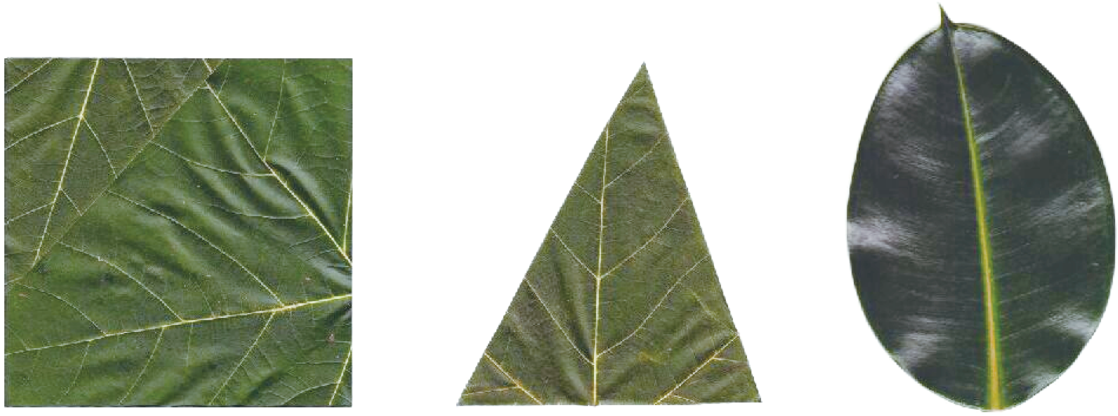
形状	周长面积比	彩色法		灰阶法		黑白法	
		测量值	绝对误差	测量值	绝对误差	测量值	绝对误差
原样本	0.03	22550.9	−9.1	22552.3	−7.7	22574.3	14.3
阔叶状	0.07	22565.3	5.3	22559.5	−0.5	22602.1	42.1
禾本科状	0.23	22594.5	34.5	22576.3	16.3	22658.4	98.4
针叶状	0.86	22662.0	102.0	22621.5	61.5	22779.4	219.4

3 软件功能与精度测试

3.1 软件功能简介

根据上述原理开发的“扫描仪测量叶面积软件”界面见图 2(彩页)：软件左半部为图片预览区，右半为操作区。软件具有台站人员信息设置、扫描测量、图片预览、数据统计、图片存储、历史图片调用等功能。软件第一次使用时，须先设置台站名和观测人员名单，设置完成后自动在 D 盘生成一个“叶面积测量”的文件夹，用以保存软件配置、日志及扫描产生的 BMP 格式图片，图片文件以扫描完成时间年月日时分秒 14 位字符命名。

软件启动后自动读取台站名，下拉选填观测员。叶面积测量可根据实时采集和历史图片选择 2 种方法。一种是直接利用扫描仪扫描叶片面积：点击扫描仪按钮下拉框选择当前连接电脑的扫描仪，然后配置扫描参数，点击“扫描”按钮即可测量出叶面积，并自动保存图片；另一种是选择历史图片：点击“图片”按钮选择图片文件，即可对历史图片进行测量。在扫描完毕或图片加载完成后，在图片预览区显示预览图片，双击图片可自动调用 Windows 画图工具消除污点，处理后即可测量出叶面积并保存图片。测量完毕后，叶面积将会在编辑框内显示，同时在下方的状态栏内显示精确到平方毫米的原始数据。点击“数据确认”按钮，数据将添加到下方数据统计区的表格内，自动合计。数据统计表中，可对最后一次



(a)　　　　　　(b)　　　　　　(c)

图 1　测试样本：(a)标准正方形梧桐叶，(b)标准三角形梧桐叶，(c)橡皮树叶片

图 2　扫描仪测量叶面积软件主界面

添加的数据进行撤回操作，也可以对所有数据进行清空操作。在“密度”输入栏输入所测量作物的发育期密度，点击“计算”按钮，系统自动计算并显示叶面积指数。

3.2　精度测试分析

测量精度是本系统的重要指标。在稿台上随机变换样本位置，采用彩色、灰阶和黑白法扫描模式连续测量样本 3 次，彩色、灰阶法像素截取阈值为 200，扫描分辨率取 300 dpi，测量结果见表 5。可见不同测量模式的组内误差极小，一致性非常好，彩色法和灰阶法结果基本一致，黑白法测量结果比彩色法和灰阶法平均偏大 0.94%，3 种方法首次测量值比后 4 次均略偏小，但差值不大，说明利用扫描仪测量作物叶面积的系统性能非常稳定。

表 5　系统精度测试　　　　mm^2

重复	彩色法	灰阶法	黑白法
1	15067.3	15067.3	15209.3
2	15067.5	15067.8	15209.7
3	15067.3	15067.9	15209.9
4	15067.2	15067.6	15209.5
5	15067.5	15067.6	15209.5
平均	15067.4	15067.6	15209.6

4　结论

利用扫描仪测量叶面积具有设备通用、投入小、测量精度高、操作过程简便、运维容易等特点。通过测试分析，得出以下结论：

(1)彩色法、灰阶法和黑白法扫描方式测量不同大小和形状样本的结果均满足业务测量的精度要求，但以灰阶法、分辨率 300 dpi 效果最佳。

(2) 测量前要做好扫描仪稿台和盖板的清洁工作，利用软件提供的清除图片污点功能可有效提高测量精度。

(3)多次重复测量对提高精度意义不大，但正式测量前先预热测量 1～2 次，可提高测量精度。

(4)底板和压膜对测量结果有较大影响，不建议使用。

(5)测量期间要压紧扫描仪上盖，尽量使叶片与扫描仪稿台贴合。

参考文献

[1] 国家气象局.农业气象观测规范(上卷)[M].北京:气象出版社.1993.28-30.

[2] 张雪芬,王秀芳,李翠娜,等.农作物主要生长参数自动观测技术综述[J].气象科技,2013,41(6):1122-1127.

[3] 任三学,赵花荣,姜朝阳,等.土壤水分胁迫对冬小麦旗叶光合特性的影响[J].气象科技,2010,38(1):114-119.

[4] 张婷华,杨再强,李叶萌,等.相对湿度对黄瓜叶片光合特性的影响[J].气象科技,2013,41(6):1128-1133.

[5] 李华昭,刘强,李春光,等.济宁冬季天气条件及其对冬后小麦生长的影响[J].气象科技,2007,35(2):240-244.

[6] 彭晓丹,杨再强,柳笛,等.温室黄瓜低温气象灾害指标[J].气象科技,2013,41(2):394-400.

[7] 李万春,田燕,王鹏云.基于常规扫描仪的植物叶面积计算系统[J].气象,2004,30(8):39-41.

[8] 张仁祖,徐为根,黄文杰.一种新的基于图像处理的作物叶面积测量方法[J].江西农业学报,2008, 20(4):117-119.

[9] 于守超,张秀省,冀芦.基于 Photoshop CS5 的植物叶面积测定方法[J].湖北农业科学,2012,51(15):3340-3342.

[10] 陈涛涛,迟道才,梁茜.基于矩形框几何校正的多叶面积测量方法[J].农业工程学报,2012,28(8):206-213.

[11] 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.

[12] 苑克俊,刘庆忠,李圣龙,等.利用数码相机测定果树叶面积的新方法[J].园艺学报,2006,33(4):829-832.

[13] 肖强,叶文景,朱珠,等.利用数码相机和 Photoshop 软件非破坏性测定叶面积的简便方法[J].生态学杂志,2005,24(6):711-714.

Mode Selection and Implementation Technique of Crop Leaf Area Measuring by a Scanner

Wang Xiaobin[1] Zhang Renzu[1] Fei Song[2] Zhang Lihua[1] Ge Shufen[1]

(1 Xuzhou Meteorological Service, Jiangsu, Xuzhou 221002; 2 Jiangsu Province Meteorological Observation Center, Nanjing 210008)

Abstract: Considering the needs of low-cost, high precision, and convenient in measuring crop leaf area, using a computer and a scanner, choosing different scan modes, by means of the measurement methods of with and without Baseplate, with and without PET FILM, and different shaped samples, it is concluded that the measurement methods of without baseplate and without PET FILM 300 dpi gray scale are better than others, with the measurement error is 0.4‰. Based on computer image processing technology, the software of measuring crop leaf area is developed by scanner, which achieves such functions as parameter selection, displaying, storing and invoking image and data, data processing, leaf area index calculation and so on.

Keywords: scanner; leaf area; measuring methods; software system