

基于图像处理技术的番茄部分株型信息的获取

冯 辉*, 张 婷, 王维佳, 王五宏, 石运涛

沈阳农业大学园艺学院, 沈阳 110161)

摘 要: 将作者设计的番茄株型测量软件 ToPM-1 用于测量番茄叶片的基角、开张角、垂角、开张度、垂度、叶长、叶宽、株高、株幅、节间长和茎粗等。软件测量和手工测量结果比较分析表明, 两种测量方法的数据间差异不显著。软件测量具有快速、方便、准确、低成本、不破坏植株等优点, 可用于高效采集番茄株型信息。

关键词: 番茄; 株型; 图像技术

中图分类号: S 641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2009) 06-0923-06

Some Plant-type Parameters Measurement Based on Image Technology in Tomato

FENG Hui*, ZHANG Ting, WANG Wei-jia, WANG Wu-hong, and SHI Yun-tao

(College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: A measurement software "ToPM-1" was designed and used to measure the plant-type indexes of tomato, including base angle, opening angle, drooping angle, opening length, drooping length, leaf length, leaf width, plant height, plant range, node length and stem diameter. It was indicated in the comparative analysis that the difference in the data collected from the manual and the software measurements was not significant. The software measurement is characterized by high efficiency, facility and accuracy, low cost, and non-destruction to plants. It is an efficient tool in the research on tomato plant-type.

Key words: tomato; plant-type; image technology

株型是指植物综合生物学性状的组配模式及其整体表达, 包括植物的形态特征、茎叶空间排列方式等几何性状, 也包括与群体光能利用相关的生理性状。株型信息采集是株型研究的前提, 这一过程关键而且信息量大。传统手工测量方法存在效率低、容易产生误差等缺点。探索准确、简便的株型参数测量方法势在必行。

以图像的形式, 通过计算机处理获取株型信息的方法主要有特征点标记法和图像识别法两种。特征点标记法即通过移动光标, 在植株各器官图像上进行标记, 具体点数依照叶片的波折程度而定, 然后将标记好的点通过二值化法生成各种线段, 可以测量包括曲线在内的多种株型参数 (李少昆等, 1998)。图像识别法可以将彩色图像中含植株的部分与背景分割出来, 再将切割后的彩色图像用计算机程序自动转换为黑白二值图像, 然后对黑白二值图像进行特征提取, 得到图像中植株的形态特征 (梁淑敏和杨锦忠, 2007)。计算机视觉技术和遥感技术也是获取图像信息的有效辅助手段 (单成钢等, 2004; 苑克俊等, 2006; 岑喆鑫等, 2007; 黄文江等, 2007)。目前, 利用图像技术获取株型信息已经在大田作物中得到广泛应用, 但是番茄株型研究还处于起步阶段。

收稿日期: 2008 - 12 - 23; 修回日期: 2009 - 03 - 24

基金项目: 国家公益性行业科研专项 (yhyzk07-007); 2008辽宁省博士生访学计划项目 (辽教发 [2008] 16号)

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: fenghui111@263.net; Tel: 024-88487143)

番茄属于喜光作物, 容易遭受弱光胁迫危害, 特别是北方冬季保护地生产, 温室内的光照强度经常处于光饱和点以下, 有时甚至小于补偿点。通过株型改良选育耐弱光品种, 是番茄新的育种方向。番茄株型的一级参数主要包括基角、开张角、垂角、开张度、垂度、叶长、叶宽、株高、株幅、节间长和茎粗等。在以往的番茄株型研究中, 上述参数的获取均采用田间手工测量法。本文报道番茄株型信息数字化采集新方法, 可以为番茄株型研究提供快捷的株型参数获取手段。

1 材料与方法

1.1 材料及取样

以沈阳农业大学育成的上冲株型番茄品种 STO6和下垂株型番茄品种 STO3为试材 (图 1), 2006年 8月 12日播种, 9月 26日盆栽定植, 充分保证植株生长空间。10月 10日和 11日各取 30株, 分别测量植株性状。手工测量和数字图像采集同时进行。

1.2 番茄株型测量软件

1.2.1 设计原理 植株形态参数数字化采集包括图像获取和图像处理两个步骤。图像获取的主要途径为 CCD 摄像机、数码相机和扫描仪等。图像处理包括几何处理、算术处理、图像增强、图像复原、图像重建、图像编码、模式识别和图像理解等。由于番茄植株形态多样, 自动识别形态的效果不佳。本试验设计番茄株型信息采集软件 ToPM-1, 利用数码相机获取图像, 采用几何定点和算术计算处理图像, 图像以二维数组形式输入, 从二维数组所代表的图像中提取特征进行分析, 最终以描述的形式输出。

本试验中将三维番茄植株结构转化成平面二维拍照。根据番茄植株性状的特点, 测量可以定位到点、线、面 (角), 株型参数可以简化为角度和线段, 通过 JAVA 语言编写程序, 实现番茄株型软件测量。已知任意的点坐标, 可以求出边长和角度。在计算实际长度时, 需要计算比例尺的大小。同一背景环境中, 比例尺的大小同番茄株型参数的实际长度与图像中的相对长度的比值是一致的。在角度的计算中, 实际角度的大小与相对角度的大小在图像中属于“相似形”, 不需要比例尺参与计算, 直接通过程序设计语言提供的三角函数和反三角函数计算。

1.2.2 图像获取 一级参数包括基角、开张角、垂角、开张度、垂度、叶长、叶宽、株高、株幅、节间长和茎粗。基角是指叶柄基部切线与茎夹角。开张角是指叶柄基部点同叶片最高点连线与茎的夹角。垂角是指叶柄基部点同叶片顶点连线与茎的夹角。开张度是指叶柄基部点到叶片最高点的长度。垂度是指叶柄基部点到叶片顶点的长度。

如图 2, 在植株旁边立标尺做参照物, 用数码相机将测量部位拍成照片。在拍照叶片基角、开张角、垂角、开张度、垂度图片时需要使用平面挡板, 以保证角平面与数码相机光轴垂直。拍照叶宽、叶长时, 由于番茄植株具有一定的柔韧性, 无需采摘叶片, 在植株体上使用压玻璃板的方法, 可以解决叶片弯曲问题。拍摄株幅时, 为了与株高对应拍照, 采用正面最宽处与相机光轴垂直拍照。拍照茎粗、节间长时使用微距拍摄方式。

1.2.3 软件测量 番茄株型测量软件 ToPM-1可以在 Windows环境下运行。首先将 JPEG格式的图片传入株型测量软件中, 由于图像的纵横比是锁定的, 所以图像不会变形失真。然后输入比例尺, 用鼠标在番茄株型参数的主要位点选取特征点, 图像上所选取的每个点的数据以屏幕坐标值保存, 软件将特征点自动连成直线, 按照两点确定一条线段, 三点确定一个角平面的原理处理图像。最后将测量数据输出并且保存, 后期导入 Excel进行处理。

1.2.4 验证 首先用直尺和量角器测量株型指标, 取得长度和角度等真值。然后将采集的图像输入电脑, 利用 ToPM-1软件测量相对应的数值。最后比较软件测量值与真值的差异, 评估软件测量的准确性。



图 1 上冲株型番茄品种 ST06 和下垂株型番茄品种 ST03

Fig. 1 Two plant-type tomatoes 'ST06' (leaf-up) and 'ST03' (leaf-down)



图 2 番茄株型测量部位：叶片基角、开张角、垂角、开张度、垂度 (A)、
叶长、叶宽 (B)、株高、株幅 (C)、节间长、茎粗 (D)

Fig. 2 The measured parts of tomato plant: base angle, opening angle, drooping angle, opening length, drooping length (A), leaf length, leaf width (B), plant height, plant range (C), node length, stem diameter (D)

2 结果与分析

2.1 软件测量的误差

软件测量与直尺和量角器测量的标准长度和角度列于表 1 和表 2。当相机与被测物体平行时,即相机光轴与物体垂直,长度的平均相对误差为 1.4549%,角度的平均相对误差为 1.3149%,均小于 5%。当相机倾斜于物体平面时,长度的平均相对误差为 1.9517%,角度的平均相对误差为 10.392%,说明相机倾斜对长度测量影响不大,但严重影响测量角度,因此测量角度时需设置平面参照物。

表 1 相机与被测物体平行时番茄株型软件测量误差

Table 1 Error of tomato plant-type measurement software when the camera was paralleled to the object

标准长度 Standard length				标准角度 Standard angle			
真值 /cm True value	软件值 /cm Software value	绝对误差 /cm Absolute error	相对误差 /% Relative error	真值 /° True value	软件值 /° Software value	绝对误差 /° Absolute error	相对误差 /% Relative error
0.50	0.50	0	0	5.00	5.01	0.01	0.1996
1.00	1.00	0	0	10.00	10.57	0.57	5.3926
1.50	1.54	0.04	2.5974	20.00	20.56	0.56	2.7237
2.00	2.08	0.08	3.8462	30.00	30.52	0.52	1.7038
3.00	3.08	0.08	2.5974	45.00	45.72	0.72	1.5748
4.00	4.07	0.07	1.7199	60.00	60.46	0.46	0.7608
5.00	5.11	0.11	2.1526	90.00	90.00	0	0
6.00	6.06	0.06	0.9901	120.00	120.23	0.23	0.1913
7.00	7.01	0.01	0.1427	150.00	150.20	0.20	0.1332
8.00	7.96	0.04	0.5030	180.00	179.16	0.84	0.4690

表 2 相机与被测物体倾斜时番茄株型软件测量误差

Table 2 Error of tomato plant-type measurement software when the camera was inclined with the object

标准长度 Standard length				标准角度 Standard angle			
真值 /cm True value	软件值 /cm Software value	绝对误差 /cm Absolute error	相对误差 /% Relative error	真值 /° True value	软件值 /° Software value	绝对误差 /° Absolute error	相对误差 /% Relative error
0.50	0.52	0.02	3.8462	5.00	6.45	1.45	22.4806
1.00	1.00	0	0	10.00	12.66	2.66	21.0111
1.50	1.55	0.05	3.2258	20.00	24.65	4.65	18.8641
2.00	2.07	0.07	3.3816	30.00	35.16	5.16	14.6758
3.00	3.07	0.07	2.2801	45.00	50.21	5.21	10.3764
4.00	4.10	0.10	2.4390	60.00	64.02	4.02	6.2793
5.00	5.08	0.08	1.5748	90.00	89.28	0.72	0.8060
6.00	6.08	0.08	1.3158	120.00	113.98	6.02	5.2820
7.00	7.05	0.05	0.7092	150.00	144.33	5.67	3.9280
8.00	8.06	0.06	0.7444	180.00	179.61	0.39	0.2170

2.2 一级参数测量

比较软件测量与手工测量番茄株型性状的结果(表 3),用 DPS 数据处理系统进行方差分析,结果二者差异不显著。手工测量可以达到一定的准确性,但是要达到高度的准确性,需要花费大量的时间。本试验在保证手工测量数据准确的前提下,将软件测量的数据与之比较,结果表明二者差异不显著,说明软件测量可以达到与手工测量相同的准确性。但是,软件测量所用的时间要远远少于手工测量。

表 3 手工与软件测量株型参数比较

Table 3 Compare of plant-type parameters by manual measurement and software measurement

株型参数 Plant-type parameter	测量方法 Measurement methods	上冲株型品种 Leaf-up	下垂株型品种 Leaf-down
基角 / °Base angle	手工 Manual	38.02 aA	55.77 aA
	软件 Software	39.01 aA	56.86 aA
开张角 / °Opening angle	手工 Manual	49.67 aA	71.60 aA
	软件 Software	51.27 aA	69.72 aA
垂角 / °Drooping angle	手工 Manual	62.37 aA	108.87 aA
	软件 Software	63.31 aA	109.14 aA
开张度 /cm Opening length	手工 Manual	16.92 aA	13.71 aA
	软件 Software	18.18 aA	12.43 aA
垂度 /cm Drooping length	手工 Manual	22.72 aA	26.22 aA
	软件 Software	23.43 aA	25.49 aA
叶长 /cm Leaf length	手工 Manual	24.34 aA	32.86 aA
	软件 Software	25.03 aA	33.44 aA
叶宽 /cm Leaf width	手工 Manual	16.61 aA	22.55 aA
	软件 Software	16.81 aA	23.43 aA
株高 /cm Plant height	手工 Manual	47.10 aA	60.28 aA
	软件 Software	47.54 aA	58.78 aA
株幅 /cm Plant range	手工 Manual	34.32 aA	45.70 aA
	软件 Software	33.51 aA	47.72 aA
节间长 /cm Node length	手工 Manual	5.76 aA	6.91 aA
	软件 Software	5.73 aA	6.73 aA
茎粗 /cm Stem diameter	手工 Manual	0.78 aA	0.83 aA
	软件 Software	0.75 aA	0.83 aA

注：表中小写和大写字母分别表示 5%和 1%差异显著水平。
Note: The small and capital letters indicated 5% and 1% significant difference respectively

2.3 二级参数计算

与番茄植株紧凑程度直接相关的叶片基角、开张角和垂角可以直接测量。但是，仅从叶角大小来度量叶片紧凑程度是不全面的，叶片挺直或下垂的长短也是度量叶片紧凑程度的重要参数。但是，番茄植株的紧凑度低，茎系走向复杂，叶片平展类型品系的叶向值接近于 0。基于番茄叶片的特殊性，我们在原有株型参数披垂度（垂度与叶长的比值）的基础上，探索性地引入披垂值概念，即用披垂度乘以垂角的反向角作为另一个二级参数。披垂值将茎叶夹角与叶片披垂程度和叶全长比值融为一体，是表示叶片挺拔、上冲或下垂程度的综合指标。这个参数比大田作物上的叶向值更适于描述番茄叶片的综合态势。

披垂值 = (180 ° -) ×(L_p /L)。

其中 为垂角，L_p为垂度，L为叶长（包括叶柄）。

通过手工测量和软件测量获取一级参数，并根据其平均数分别计算上冲株型和下垂株型番茄品种的披垂值，结果两种测量方法所得数据相近（表 4）。

表 4 两种株型番茄品种叶形比较

Table 4 Compare of leaf shape in two plant-type tomatoes

株型 Plant-type	测量方法 Measurement method	垂角 / ° Drooping angle	垂度 /cm Drooping length	叶长 /cm Leaf length	披垂值 / ° Leaf drooping degree
上冲株型 Leaf-up	手工 Manual	62.37	22.72	24.34	109.82
	软件 Software	63.31	23.43	25.03	109.23
下垂株型 Leaf-down	手工 Manual	108.87	26.22	32.86	56.77
	软件 Software	109.14	25.49	33.44	53.10

3 讨论

番茄株型测量软件 ToPM-1可直接用于番茄株型信息采集。该软件的主要特点是: 操作简便, 测量速度快, 适用于短时间内处理大量的群体; 数码相机拍照和软件测量的方法可以排除人为误差造成的准确度降低; 图片和文本可以保存在电脑中, 数据整理方便; 根据番茄株型特点编制软件, 可以满足当前番茄株型研究的需要。

本试验中在研究番茄株型参数时, 主要是根据当前番茄育种的需要编制软件 ToPM-1。与其他测量软件相比, 该软件不包括曲线测量。曲线长度的测量主要用于量取弯曲叶片的长度。番茄的叶片属于羽状复叶, 用图像识别难以测量叶宽, 必须将叶片压平测量。考虑到测量叶宽的原因, 并且叶长和叶宽又属于共同存在的株型参数, 我们在测量叶长时并没有使用曲线计算, 而是用玻璃板将叶片压平, 同时测量叶长和叶宽, 获得的图像可以利用 Photoshop 软件测量叶面积 (肖强和叶文景, 2005)。针对番茄叶片的特点, 作者通过基角、开张角、垂角、开张度和垂度的测量来反映叶片弯曲程度。随着番茄株型研究的深入, 该软件在诸如曲线测量等方面尚有待进一步完善。

References

- Cen Zhe-xin, Li Bao-ju, Shi Yan-xia, Huang Hai-yang, Liu Jun, Liao Ning-fang, Feng Jie. 2007. Discrimination of cucumber anthracnose and cucumber brown speck base on color image statistical characteristics. *Acta Horticulturae Sinica*, 34 (6): 1425 - 1430. (in Chinese)
- 岑喆鑫, 李宝聚, 石延霞, 黄海洋, 刘 君, 廖宁放, 冯 洁. 2007. 基于彩色图像颜色统计特征的黄瓜炭疽病和褐斑病的识别研究. *园艺学报*, 34 (6): 1425 - 1430.
- Huang Wen-jiang, Wang Jin-di, Mu Xi-han, Wang Ji-hua, Liu Liang-yun, Liu Qiang, Niu Zheng. 2007. Crop geometry identification based on inversion of semiempirical BRDF models. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 10 (27): 1921 - 1924. (in Chinese)
- 黄文江, 王锦地, 穆西晗, 王纪华, 刘良云, 刘 强, 牛 铮. 2007. 基于核驱动模型参数反演的作物株型遥感识别. *光谱学与光谱分析*, 10 (27): 1921 - 1924.
- Li Shao-kun, Zhang Xian, Zhao Ming, Wang Shu-an, Yan Yan-lu, Lao Cai-lian. 1998. Studies on the technique of multimedia image processing for plant shape information of crop. *Acta Agronomica Sinica*, 24 (3): 265 - 271. (in Chinese)
- 李少昆, 张 弦, 赵 明, 王树安, 严衍禄, 劳彩莲. 1998. 作物株型信息多媒体图像处理技术的研究. *作物学报*, 24 (3): 265 - 271.
- Liang Shu-min, Yang Jin-zhong. 2007. Study on image process application in maize plant type. *Journal of Maize Sciences*, 15 (4): 146 - 148. (in Chinese)
- 梁淑敏, 杨锦忠. 2007. 图像处理技术在玉米株型上的应用研究. *玉米科学*, 15 (4): 146 - 148.
- Shan Cheng-gang, Liao Shu-hua, Liang Zhen-xing, Zhu Hong, Zheng Li-min, Wang Pu. 2004. Study on machine recognition method for population feature of wheat images - estimate of wheat population total stem number. *Acta Agronomica Sinica*, 12 (30): 1281 - 1283. (in Chinese)
- 单成钢, 廖树华, 梁振兴, 朱 虹, 郑丽敏, 王 璞. 2004. 小麦群体图像特征识别方法的研究——小麦群体总茎数的估测. *作物学报*, 12 (30): 1281 - 1283.
- Xiao Qiang, Ye Wen-jing. 2005. A simple non-destructive method to measure leaf area using digital camera and photoshop software. *Chinese Journal of Ecology*, 24 (6): 711 - 714. (in Chinese)
- 肖 强, 叶文景. 2005. 利用数码相机和 Photoshop 软件非破坏性测定叶面积的简便方法. *生态学杂志*, 24 (6): 711 - 714.
- Yuan Ke-jun, Liu Qing-zhong, Li Sheng-long, Chen Xiu-xia. 2006. A new method for measuring leaf area of fruit trees using digital camera. *Acta Horticulturae Sinica*, 33 (4): 829 - 832. (in Chinese)
- 苑克俊, 刘庆忠, 李圣龙, 陈秀霞. 2006. 利用数码相机测定果树叶面积的新方法. *园艺学报*, 33 (4): 829 - 832.