

梨果实与叶片特征关联的分形研究

李凯旋, 李新强, 荆慧萍, 沈陆明*

(湖南农业大学理学院, 湖南 长沙 410128)

摘要: 为了揭示梨果实的大小、形状、果重与叶片的大小及形状特征间的相关性, 采用总体抽样方法, 复选20个果实与20片叶为试验样本, 8个果实与8片叶为检验样本。采集试验样本果实与叶片的图像, 并裁剪转化成二值化图像。以梨果实和叶片区域细化后的边界像素数和区域内像素数分别为果实和叶片的周长和面积, 结合分形理论中周长与面积的关联模型, 得到梨果实的周长与面积的拟合模型 $y=1.0342x+0.1098$; 叶片周长与面积的拟合模型为 $y=1.4807x+1.2455$; 叶片周长与果实周长的拟合函数 $y=0.7955x+0.7787$; 叶片面积与梨果实面积的拟合函数 $y=0.5261x+1.4331$, 叶片面积与果重的拟合函数 $y=1.930x+2.718$ 。通过样本检验, 各模型拟合精度达90%。

关键词: 梨果实; 梨叶; 图像二值化; 分形; 关联模型; 拟合函数

中图分类号: Q-332

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2014)05-0561-04

Fractal study of correlation between fruits and leaves of pear

LI Kai-xuan, LI Xin-qiang, JING Hui-ping, SHEN Lu-ming*

(Science College, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: To reveal the correlation between the size, shape and weight of pear fruit and the size, shape of pear leaf, twenty pear fruits as well as their leaves were selected as experimental samples and 8 pear fruits and their leaves as test samples. The images of the experimental fruit and leaf samples were collected and transferred to binary images through cutting process. The numbers of pixels in periphery of the images are representing the perimeter of fruits and leaves and the numbers of pixels within the region are respectively representing the areas of fruits and leaves, combined with the correlation model for perimeter and area in fractal theory, the fitting functions between perimeters and areas for pear fruits which is $y=1.0342x+0.1098$, and for pear leaves which is $y=1.4807x+1.2455$ were obtained. In a similar way, the fitting function between leaves' perimeters and pears' perimeters which is $y=0.7955x+0.7787$, between leaves' areas and pears' areas which is $y=0.5261x+1.4331$, and between leaves' areas and pears' weights which is $y=1.930x+2.718$ were obtained. The fitting precision of these functions reached 90% by testing experiments.

Key words: pear fruit; pear leaf; binary image; fractal; correlation model; fitting function

梨的外观品质包括其大小和形状等, 不同梨品种的品质不尽相同, 即使同一梨品种在生长条件相同的情况下, 每株产果的大小与果重差异也较明显。因此, 预测挂果前梨果实的品质及整个果园的生长状态有着非常重要的意义。不少学者应用包括数学方法在内的多种方法描述果实的大小、形状等特征进行水果分级^[1-3]; 描述叶片的形状特征进行树种识别^[4]; 描述树杈结构及根系形态进行仿生设计^[5-8]。笔者以湖南岳阳金秋梨为研究对象, 揭示

梨果实的大小、形状、果重与叶片的轮廓大小、形状特征间的分形关联, 以期通过关联模型, 预测果实的大小、形状与果重分布, 为叶面积及形状测量提供实际可行的方法; 并整体反映同一种植园中果实与叶片的生长状态, 为梨的种植及生产管理提供依据。

1 样本采集

于湖南省岳阳市云溪区兴隆科技示范园采集主

栽品种金秋梨样品。采用总体抽样的方法,选择 28 株梨树,并从中复选出 20 个梨果实与 20 片梨叶片为试验样本,8 个梨果实与 8 片叶片为检验样本。擦除样本表面灰尘,24 h 内置于背景为黑色的光箱中,采集图像机器视觉系统见文献[2],并将果实称重。

2 图像处理

基于文献[2-3]的思想,对梨果实和叶片进行图像裁切和二值化。

2.1 图像裁切

一幅 $M \times N$ 的 RGB 图像可以用 $M \times N \times 3$ 的矩阵描述,图像中的每一个像素点对应于红(R)、绿(G)、蓝(B)3 个分量组成的 3 元组。在梨果实与叶片的 RGB 图像中,目标区域为梨果实像素和叶片像素,定义裁切窗口为:

$$\begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中:点 $f(0,0)$ 和 $f(m-1,n-1)$ 分别由最大的果实与叶片 $[f(i,j)]_{M \times N}$ 矩阵中目标区域上下及左右各增加 20 个像素点来确定。通过式(1)裁切果实和叶片图像去除窗口外像素,使后续的图像处理信息量少,使内存不致溢出,并提高处理速度。叶片裁切窗口为 $725 \times 725 \times 3$ 梨果实裁切窗口为 $1024 \times 1024 \times 3$ 。

2.2 图像二值化

作梨果实的亮度直方图(图 1)和叶片的绿色 G 分量直方图(图 2)。从图 1、图 2 中可看出,2 个直方图均呈明显的 2 个区域分布,分别对应梨果实、叶片区域和背景。

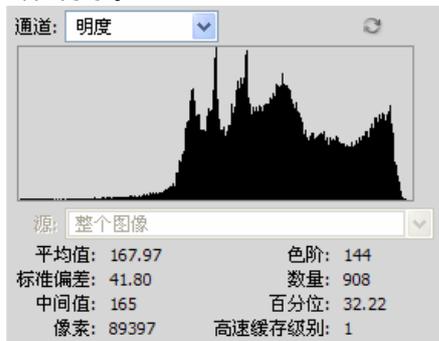


图 1 梨果实的亮度 L 直方图

Fig.1 L- Histogram of luminance of pear fruit

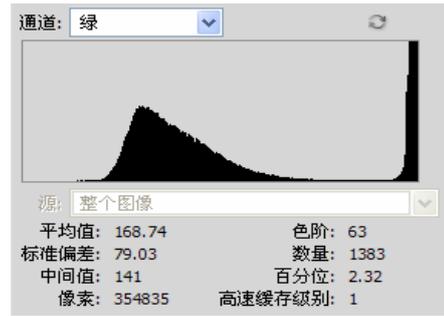


图 2 梨叶片绿色 G 分量直方图

Fig.2 Green G histogram of pear leaf

根据梨果实的亮度 L 直方图和叶片的绿色 G 分量直方图双峰分布的特点,对梨果实及叶片图像分别作如下变换:

$$f_c(3,R,G,B) = \begin{cases} R,G,B=1, L > T_c \\ R,G,B=0, L \leq T_c \end{cases} \quad (2)$$

$$f_l(3,R,G,B) = \begin{cases} R,G,B=1, G > T_l \\ R,G,B=0, G \leq T_l \end{cases} \quad (3)$$

式中: T_c 和 T_l 分别为梨果实亮度与叶片绿色 G 分量阈值,通过(2)、(3)式的处理,不仅去除了果实与叶片图像背景,同时还转化成了黑白二值图像。

3 数据及处理

3.1 梨果实与叶片的周长和面积

通过细化后的二值化图像的边界像素数和区域内像素数,计算出梨果实与叶片的周长(边界像素数)和面积(区域像素数)的值(表 1)。

表 1 梨果实与叶片的二值化周长和面积及梨果重
Table 1 Perimeters and areas of binary images of pear fruits and leaves and weight of pear fruit

编号	果实周长 $P_{果}$	果实面积 $A_{果}$	果重 $W_{果}$	叶片周长 $P_{叶}$	叶片面积 $A_{叶}$
1	9.213	8.898	227.021	6.114	4.079
2	9.268	8.965	230.05	6.125	4.125
3	9.298	8.987	263.67	6.245	4.333
4	9.299	8.992	264.62	6.255	4.355
5	9.306	8.998	265.67	6.278	4.401
6	9.356	9.056	268.08	6.288	4.425
7	9.361	9.078	264.06	6.302	4.431
8	9.386	9.099	271.52	6.325	4.435
9	9.536	9.245	270.25	6.375	4.441
10	9.578	9.286	270.39	6.388	4.450
11	9.611	9.291	274.94	6.405	4.507
12	9.622	9.294	282.07	6.422	4.534
13	9.645	9.298	282.98	6.433	4.564
14	9.698	9.365	285.36	6.434	4.578
15	9.721	9.402	291.62	6.445	4.628
16	9.765	9.455	297.85	6.501	4.678
17	9.802	9.498	307.23	6.578	4.752
18	9.865	9.555	309.54	6.667	4.782
19	9.896	9.588	311.02	6.785	4.801
20	10.052	9.789	327.46	6.882	4.902

3.2 分形维数的计算

根据文献[9-12]，周长 P 与面积 A 之间的关系为：

$$\ln P = D \ln \sqrt{A} + \ln \alpha \quad (4)$$

式中： α 为形状因子； D 为图形的分形维数。

对于 k 个图形，周长和面积分别为 $P_a(a=1,2,\dots,k)$ 与 $A_a(a=1,2,\dots,k)$ ，作 $\ln P_a$ 和 $\ln \sqrt{A_a}$ 的线性拟合，拟合直线的斜率为这多个图形的分形维数均值(D)，拟合直线的截距为这多个图形平均形状因子的对数($\ln \alpha$)。以平均形状因子为基准，由(4)式得各图形的分形维数 $D_q = \frac{2(\ln P_q - \ln \alpha)}{\ln A_q}$ 。

依据以上方法，对于经图像处理后的梨果实及叶片数字图像，以像素数计量周长与面积的梨果实

及叶片分形维数为：

$$D_r = 2 \frac{\ln \sum_{(x,y) \in C_r} pixel(x,y) - \ln \alpha}{\ln \sum_{(x,y) \in \Omega_r} pixel(x,y)} \quad (5)$$

式中： C_r 为梨果实及叶片边界， Ω_r 为梨果实及叶片区域， $\ln \alpha$ 为点

$\left[\ln \sum_{(x,y) \in C_r} pixel(x,y), \ln \sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_r} pixel(x,y)} \right] (r=1,2,\dots,w)$ 拟合直线的截距， w 为样本数。

分别作梨果实、叶片的周长-面积双对数坐标直线拟合，直线的斜率分别为梨果实、叶片的近似分形维数。根据(5)式，用各外形特征因子计算梨果实与叶片的分形维数，梨果实与叶片的分形维数的统计量列于表 2。

表 2 梨果实和叶片的分形维数

Table 2 Fractal dimensions of pear fruits and leaves

	样本数/个	分形维数均值	标准差	最小值	最大值
果实	20	0.991 8	0.000 6	0.991 2	0.992 4
叶片	20	0.895 7	0.000 9	0.894 8	0.896 6

分别作梨果实及叶片的周长与面积的双对数坐标线性拟合，得到拟合函数：

$$y=1.034 2x+0.109 8 \quad (6)$$

其中 $x=\ln P_{果}$ ， $y=\ln A_{果}$ ，分形维数 $D=1.034 2$ ，波动范围为 $\pm 0.000 6$ 。

$$y=1.480 7x+1.245 5 \quad (7)$$

其中 $x=\ln P_{叶}$ ， $y=\ln A_{叶}$ ，分形维数 $D=1.480 7$ ，波动范围为 ± 0.006 。

3.3 梨果实与叶片的关联模型

利用 Origin 软件，建立梨果实与叶片大小和形状的拟合模型、果重和叶片大小拟合模型。叶片周长与果实周长的双对数拟合模型为：

$$y=0.795 5x+0.778 7 \quad (8)$$

其中 $x=\ln P_{叶}$ ， $y=\ln P_{果}$ 。

分形维数 $D=0.795 5$ ，波动范围 ± 0.061 ，拟合精度 0.910 5。

叶片面积与果实面积的双对数拟合模型为：

$$y=0.526 1x+1.433 1 \quad (9)$$

其中 $x=\ln A_{叶}$ ， $y=\ln A_{果}$ 。

分形维数 $D=0.526 1$ ，波动范围 ± 0.081 ，拟合精度 0.896。

叶片面积与果重的双对数拟合模型为：

$$y=1.930x+2.718 \quad (10)$$

其中 $x=\ln A_{叶}$ ， $y=\ln W_{果}$ 。分形维数 $D=1.930$ ，波动范围 ± 0.91 ，拟合精度 0.987 2。

4 结果与分析

植物的分形维数主要反映植物的外观形状和果皮光滑程度。梨果实形状有仿球形的特性，这与检测的果实分形维数接近于圆的分形维数 1 的结果相符。但梨果实内凹的花萼和果萼无法用平面图像表示，即梨果实分形维数仅是一种近似，要精确测量其分形维数须用花萼至果萼的剖面图像。果皮光滑度是影响分形维数的另一参数，梨果实果皮光滑，叶片上有凸起的细毛，这也是梨果实的分形维数更接近于 1 的原因。

8 个检验样本的 5 个外形特征值列于表 3。各模型的拟合精度值列于表 4。

表3 检验样本的特征值

Table 3 The values for testing samples

编号	果实周长 $P_{果}$	果实面积 $A_{果}$	果重 $W_{果}$	叶片周长 $P_{叶}$	叶面积 $A_{叶}$
1	9.025	8.807	226.210	6.099	4.012
2	9.123	8.885	228.440	6.111	4.089
3	9.158	8.889	229.010	6.235	4.458
4	9.259	8.919	237.020	6.255	4.355
5	9.345	9.021	265.670	6.285	4.412
6	9.377	9.187	268.080	6.290	4.501
7	9.381	9.301	272.130	6.326	4.491
8	9.450	9.521	285.040	6.501	4.872

表4 各模型的拟合精度值

Table 4 Fitting precision of each models

编号	拟合精度				
	模型(6)	模型(7)	模型(8)	模型(9)	模型(10)
1	0.903 3	0.989 7	0.992 2	0.994 7	0.995 9
2	0.902 6	0.992 1	0.996 5	0.995 3	0.999 1
3	0.901 0	0.995 5	0.991 0	0.984 1	0.968 9
4	0.897 5	0.996 7	0.994 8	0.991 3	0.983 6
5	0.898 9	0.998 4	0.997 3	0.993 4	0.999 9
6	0.906 3	0.987 5	0.998 5	0.997 0	0.994 6
7	0.912 2	0.975 9	0.996 7	0.997 0	0.998 1
8	0.920 1	0.960 2	0.990 3	0.994 4	0.978 5

由 Origin 拟合分析可知,模型的拟合度为 90% 左右,说明拟合结果可信,但存在一定的误差。在检验试验中,由叶片面积和周长推测果重和果实大小与实际值相比较,精确度基本超过 90%。

参考文献:

- [1] 曹乐平. 基于周长面积分形维数的柑橘品种机器识别[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 351-355.
- [2] 曹乐平, 温芝元, 陈理渊. 基于分形维数的柑橘形状与光滑度的机器视觉分级[J]. 测试技术学报, 2009, 23(5): 407-411.
- [3] 曹乐平, 温芝元, 沈陆明. 基于色调分形维数的柑橘糖度和有效酸度检测[J]. 农业机械学报, 2010, 41(3): 143-148.
- [4] 常杰, 陈刚, 葛滢. 植物结构的分形特征及模拟[M]. 杭州: 杭州大学出版社, 2009.
- [5] 左进波. 分形理论及其在自然景物模拟中的应用[J]. 科技信息, 2011, 25: 540.
- [6] 韩向峰, 王婷. 基于分形理论的不规则物体的造型方法研究[J]. 山东师范大学学报: 自然科学版, 2011, 26(3): 32-35.
- [7] 曾兰玲, 王琰. 基于分形的三维梨树建模算法[J]. 沈阳理工大学学报, 2006, 25(2): 27-29.
- [8] 王安志, 邵云. 基于 IFS 的真实感分形植物仿真与实现[J]. 四川文理学院学报, 2011, 21(5): 87-90.
- [9] Attila R Imre. Artificial fractal dimension obtained by using perimeter-area relationship on digitalized images[J]. Applied Mathematics and Computation, 2006, 173 (1): 443-449.
- [10] Andreas Krein, Ellen Petticrew, Thomas Udelhoven. The use of fine sediment fractal dimensions and colour to determine sediment sources in a small watershed[J]. Catena, 2003, 53(6): 165-179.
- [11] WANG Xiaoxia, ZHAO Fengqun, DAI fang, et al. Based on the fractal dimension of the entire variational image smoothing model[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2012, 28(1): 27-30.
- [12] DING Baohua, LI Wenchao, WANG Fuming. Analysis of fractal image and design of fractal dimension calculation program[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2009(3): 35-40.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 罗维