

基于图像法和粒度分形模型的打叶过程烟片结构在线检测

余 娜, 徐大勇, 堵劲松, 邓国栋, 李善莲, 朱文魁^{*}

(中国烟草总公司郑州烟草研究院, 郑州 450001)

摘 要: 为实现烟叶采收后初加工过程打叶质量的实时监测与调控, 该文采用图像分析法在线检测烟叶打后叶片结构, 即叶片面积分布, 应用分形理论建立烟叶打后叶片面积分布的分形模型, 用分维数表征叶片面积分布特征。结果表明: 分形模式计算的打后叶片面积分布结果与实测值相关系数较高, 粒度分形模式可较准确描述烟叶打后叶片面积分布; 分维数可表征打后叶片面积分布均匀程度, 可反映出不同等级烟叶打叶特性差异; 分维数与目前打叶过程的主要工艺控制指标大中片率成线性关系, 相关系数大于 0.90。基于图像法和粒度分形模型建立的打叶过程烟叶结构在线检测方法, 可用于打叶质量的实时监测与调控。

关键词: 图像处理, 分形, 模型, 烟叶, 检测

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.05.029

中图分类号: S572

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-05-0173-05

余 娜, 徐大勇, 堵劲松, 等. 基于图像法和粒度分形模型的打叶过程烟片结构在线检测[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 173-177.

Yu Na, Xu Dayong, Du Jinsong, et al. Online detection of tobacco lamina structure based on fractal and image analysis method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(5): 173-177. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

烟草是中国重要的农业经济作物, 目前种植面积约 153 万 hm^2 , 烟叶年产量近 280 万 t。打叶是烟叶采收后从农产品转变为卷烟工业生产原料的必要加工过程, 是烟叶初加工的关键工序。打叶过程是烟叶在打叶设备中打辊机械作用下, 烟片从烟梗上撕裂、分离, 形成尺寸大小不一叶片的过程。对于不同等级的烟叶, 需要调整打叶器的工艺参数从而达到较好的打叶效果^[1]。烟叶打后的叶片片形尺寸分布, 是衡量打叶工序加工质量的重要指标。目前的检测方法主要是通过振筛法^[2], 对打后叶片取样筛分出不同尺寸的叶片含量, 对比筛分结果是否达到烟草行业所规定的要求^[3]。但此方法难以在线、实时监测打叶质量, 从而使打叶设备工艺参数的调整滞后, 无法进行智能化、精细化控制, 而且在筛分过程中可能出现过筛、漏筛的现象, 造成结果的准确性下降。

曾静等^[4]用 CI-203 叶面积仪建立了片烟叶面积分布方程, 从而为采用面积分布表征片烟结构的研究提供了参考。但叶面积仪需人工对叶片进行逐片测量, 工作量大。近年来, 图像分析法被广泛应用于多叶片面积的快速、即时、准确的测定^[5-9]; 分形理论被应用于玉米和杂草等

不同植物的识别及颗粒尺寸分布的描述^[10-15], 基于图像分析法对打后烟叶的分形研究目前尚无文献报道。

本文利用建立的基于图像法的叶片面积分布在线检测系统, 检测打后烟叶的叶片面积, 同时采用粒度分形理论建立叶片的分布分形模型, 用分维数表征打后叶片尺寸分布特征, 为烟叶采收后初加工过程烟叶打叶质量的实时检测、即时调整打叶工艺参数提供了技术依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1) 材料 烟叶等级 B2F, 为 2009 年上部叶、橘黄色二级, 烟叶产区为云南普洱; 烟叶等级 X3F, 为 2009 年下部叶、橘黄色三级, 烟叶产区为云南普洱, 以上供试材料来自于红塔集团有限责任公司。烟叶等级 C2F, 为 2011 年中部叶、橘黄色二级, 烟叶产区为福建长汀; 烟叶等级 X3L, 为 2011 年下部叶、柠檬黄色三级, 烟叶产区为江西抚州, 以上供试材料来自于福建中烟工业有限公司。样品在企业打叶生产线加工后, 从出口端部分输入至叶片面积分布检测系统喂料装置, 各等级烟叶每个样品取样时间约 0.5 min, 取样量为 2 kg, 相邻样品取样时间间隔为 30 min, 分别采集测定 11 次。

2) 仪器 图像采集系统: 主要包括线阵 CCD 相机(彩色)、2 条 LED 光源、电动滚筒皮带, 图像分析软件: 用 Visual C++ 编写(标偏: 5.06%, 昆明船舶设备集团有限公司); PL3001-S Mettler 电子天平(感量: 0.1 g, 瑞士 Mettler 公司)。对采集到的图像进行灰度化、二值化等处理后, 由于图像是由许多像素点组成, 通过计算像素点的数量以及每个像素点对应的真实面积, 从而计算

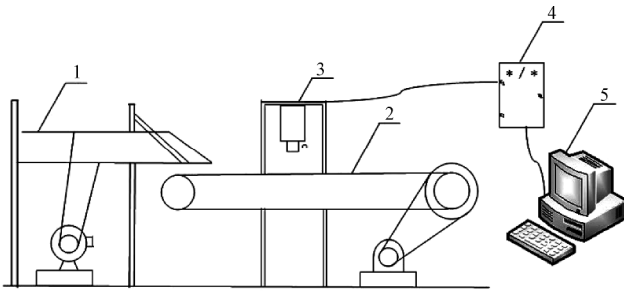
收稿日期: 2011-07-26 修订日期: 2011-10-24

基金项目: 国家烟草专卖局标准项目“烟叶 打后烟叶大小及其分布的测定叶面积法(国烟科[2010]165 号)

作者简介: 余娜(1986-), 女(汉族), 主要从事烟草工艺研究。郑州 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 450001。Email: kaoyanyunajiyou@163.com

*通信作者: 朱文魁(1979-), 男(汉族), 河南永城人, 博士, 工程师, 主要从事烟草工艺技术研究。郑州 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 450001。Email: zhu.wen.kui@163.com

出图像的真实面积。



1.喂料装置 2.摄像头 3.皮带输送装置 4.转换器 5.数据处理系统

图 1 叶片面积分布在线检测系统示意图

Fig.1 Instrument for measuring area of tobacco strips

1.2 方法

1.2.1 图像获取及分析

通过现场叶片的测试设置最适背景灰度差和去噪阈值，使二值化后的图片中叶片和背景灰度差之间有比较明显的差异，使图片中叶片的边缘及完整度与实际叶片较为接近，具体图像处理流程如图 2 所示。处理前后的烟叶叶片图像如图 3 所示。

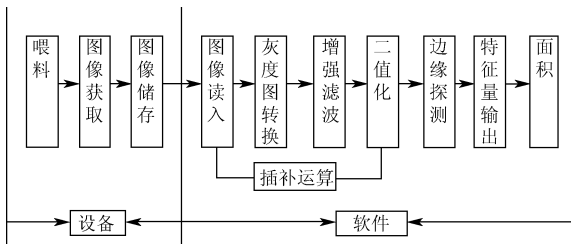
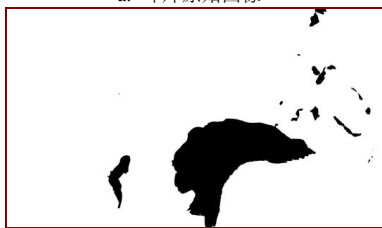


图 2 图像处理流程

Fig.2 Flow of image processing



a. 叶片原始图像



b. 二值化后的图像

图 3 叶片原始图像及二值化后的图像

Fig.3 Images of tobacco strips before/after binaryzation

1.2.2 面积测定

通过图像分析设备对每份样品进行面积的测量，所测数据自动保存在计算机中。结合烟草行业对打后烟叶大中片率的要求，大中片率是指大于筛网孔径 12.7 mm

的叶片占总量的百分率^[2]，筛孔为 12.7 mm 时折合成面积为 161.29 mm²，故把所测数据的面积划为 0~161.29，>161.29~300，>300~500，>500~700，>700~1 000，>1 000~1 500，>1 500~2 000，>2 000~2 500，>2 500~3 000，>3 000~4 000，>4 000 mm² 11 个区间，分别计算各区间面积和，再转化为对应叶片面积的累积百分比。

1.2.3 叶片面积分布分形模型

Mandelbrot^[16]根据分形理论指出，多分散破碎颗粒系统的粒度分布如果是分形的，则应满足

$$N(>r)=Cr^{-D} \quad (1)$$

式中， D 为分维数， N 代表颗粒等效直径大于 r 的个数， r 为某一确定的等效直径； C 为比例常数。

则颗粒密度函数^[17]为

$$n(r) = \lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{\Delta N(>r)}{\Delta r} = \frac{dN(>r)}{dr} \quad (2)$$

$n(r)$ 是粒度在 r 到 $r+dr$ 区间的颗粒数。

假定打后烟叶的叶片某一确定的等效直径为 r ，面积形状系数为 C_s ，则等效直径大于 r 的累积面积为

$$S(>r) = \int_r^{R_{max}} C_s r^2 n(r) dr = C_s C \frac{D}{2-D} (R_{max}^{2-D} - r^{2-D}) \quad (3)$$

式中， R_{max} 为最大尺寸。

叶片累积总面积 S_T 为

$$S_T = C_s C \frac{D}{2-D} R_{max}^{2-D} \quad (4)$$

等效直径小于尺寸 r 的累积面积百分比

$$y = \frac{S(<r)}{S_T} = \left(\frac{r}{R_{max}} \right)^{2-D} \quad (5)$$

则

$$y = \frac{S(<s_i)}{S_T} = \left(\frac{s_i}{s_{max}} \right)^{\frac{2-D}{2}} \quad (6)$$

式中， $S(<s_i)$ 为小于面积 s_i 的叶片总面积之和； s_i 为等效直径 r 所对应的叶片面积， y 为叶片面积小于 s_i 的累积百分比， s_{max} 为叶片最大面积。

以对数形式表示则为

$$\lg y = \frac{2-D}{2} \lg s_i + \frac{2-D}{2} \lg s_{max} \quad (7)$$

式(6)的幂指数关系存在一个上下限，即在无标度区间 $[s_{min}, s_{max}]$ 内成立，以基于面积的分形分布模型来分析叶片分布特征，可通过以下方式求出：在双对数坐标系中画出 $S(<s_i)/S_T$ 与 s_i 的散点图，通过线性拟合数据在相关系数最高时得到一个无标度区间，根据直线的斜率可求出分维数。

2 结果与分析

2.1 叶片的分维数

运用图像分析法测量打后烟叶的叶片面积得到如表 1 所示结果。

在 C2F、X3L 烟叶中任取一个样品，在双对数坐标中作出叶片面积与小于对应面积累积百分比的散点图

(图 4—5)，进行数据回归。

表 1 叶片面积累积分布百分比

Table 1 Accumulative area distribution percentage of strips %

烟叶等级	样品编号	叶片面积累积分布区间/mm ²									
		>161.2 9~300	>300 ~500	>500 ~700	>700 ~1000	>1000 ~1500	>1500 ~2000	>2000 ~2500	>2500 ~3000	>3000 ~4000	>4000
B2F	1	7.53	9.34	7.98	11.77	17.93	9.89	7.28	5.38	6.59	5.25
	2	6.98	9.39	8.33	9.11	14.24	10.07	10.94	4.82	6.74	9.07
	3	6.97	8.53	8.30	12.24	14.41	12.05	7.80	5.25	7.69	7.61
	4	7.04	9.36	9.41	9.59	14.85	12.30	8.32	5.88	6.72	6.53
	5	8.47	10.84	10.17	11.51	16.90	10.75	7.09	3.64	5.00	3.49
	6	9.36	11.63	8.17	12.91	15.69	9.48	5.97	4.42	5.38	2.96
	7	7.92	10.35	9.43	12.06	16.01	12.39	6.92	4.45	4.67	3.98
	8	7.46	9.36	8.01	11.75	12.88	12.14	7.68	6.76	6.45	6.80
	9	7.72	8.71	8.53	10.38	13.59	11.40	9.26	4.50	7.92	7.47
	10	7.44	9.34	7.98	11.77	17.93	9.89	7.28	5.38	6.59	5.25
	11	7.92	8.01	8.52	10.57	15.55	10.89	7.12	5.05	8.70	6.59
C2F	1	8.45	10.66	8.76	11.99	14.81	9.70	4.85	4.70	5.40	11.79
	2	9.19	11.66	9.95	11.73	16.32	8.36	7.34	6.40	5.94	3.31
	3	8.72	11.20	10.56	12.92	14.67	12.21	5.97	5.70	3.42	4.35
	4	9.21	11.15	10.26	11.48	13.35	10.74	6.24	4.01	4.36	8.77
	5	9.32	12.46	9.05	13.27	16.77	8.63	5.76	3.19	3.34	4.93
	6	9.64	11.34	9.68	11.42	17.62	11.14	5.14	4.74	3.44	4.80
	7	9.25	12.18	11.31	12.68	13.32	8.71	4.88	2.38	7.28	6.32
	8	9.21	11.65	9.82	12.12	12.95	9.66	6.95	3.53	5.54	8.04
	9	11.49	13.03	13.00	15.89	16.13	6.69	3.70	2.34	2.89	3.19
	10	7.87	11.68	10.23	12.24	14.13	7.47	8.83	9.42	5.56	5.14
	11	12.35	13.18	10.03	11.34	11.80	11.53	3.72	3.57	3.12	3.73
X3F	1	8.70	10.70	10.94	11.55	16.31	9.52	7.35	5.73	3.20	2.26
	2	10.61	12.53	10.23	12.56	15.68	7.99	5.30	2.36	3.74	3.84
	3	9.98	11.97	10.24	11.05	13.99	9.99	5.79	2.94	3.43	4.80
	4	8.38	9.89	8.27	11.70	17.17	10.72	7.25	4.50	4.37	4.19
	5	8.34	9.57	8.49	9.47	13.71	9.79	8.58	5.64	6.07	5.30
	6	8.11	9.63	8.66	11.12	16.00	10.36	9.26	6.94	3.29	5.98
	7	9.59	10.62	9.37	12.99	15.18	10.01	6.20	5.27	3.39	2.61
	8	9.79	10.55	11.34	13.43	13.37	11.38	3.94	4.83	4.53	1.61
	9	7.00	9.48	9.01	7.70	16.79	14.33	6.97	3.39	8.20	8.45
	10	8.41	10.39	9.34	12.51	15.32	10.78	7.17	4.76	5.13	2.82
	11	8.07	10.17	8.29	10.39	15.17	10.42	7.69	6.09	6.30	6.68
X3L	1	10.81	12.71	10.53	11.72	15.35	7.53	6.13	2.59	2.10	3.03
	2	12.39	11.99	10.07	11.60	10.80	7.82	4.42	2.57	4.32	2.49
	3	12.08	12.49	10.05	12.05	14.90	8.82	4.63	2.37	0.46	1.82
	4	10.40	11.91	9.94	11.65	11.92	7.26	5.03	2.87	4.11	9.42
	5	11.02	12.01	10.06	11.34	11.93	7.14	4.88	2.62	3.66	7.11
	6	12.20	12.22	10.30	10.72	11.96	6.91	4.60	2.11	2.82	2.67
	7	13.38	11.78	10.19	10.19	9.25	6.44	3.42	1.76	3.59	2.46
	8	12.24	12.58	18.14	12.78	4.22	5.12	2.01	1.08	0.53	1.86
	9	10.78	13.26	10.14	12.23	13.84	6.53	5.50	2.48	3.87	1.60
	10	10.43	11.76	20.90	14.36	6.48	6.05	2.91	2.32	2.00	4.25
	11	11.83	13.31	9.71	11.90	12.43	6.00	4.95	2.79	3.03	5.37

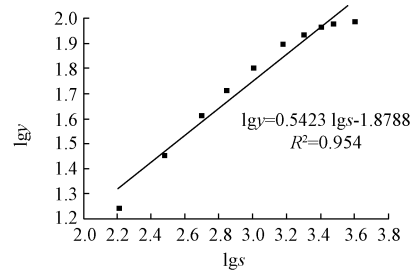


图 5 X3L 样品 1 的 lg s 与 lg y 拟合曲线
Fig.5 Fitting curve between lg s and lg y from sample1 of X3L

从图 4、5 中可看到 lg s-lg y 在无标度区成直线关系，叶片面积分布满足分形模型。用打后烟叶的叶片面积分布分形模型中所述的方法求得 B2F、C2F、X3F、X3L 分维数。

表 2 叶片分维数

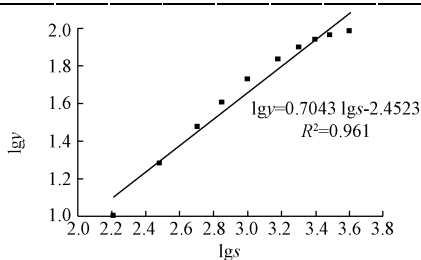
Table 2 Fractal dimension of tobacco strips

样品编号	烟叶等级							
	B2F	R ²	C2F	R ²	X3F	R ²	X3L	R ²
1	0.6238	0.958	0.5742	0.962	0.7448	0.974	0.9154	0.959
2	0.6198	0.966	0.5856	0.964	0.8404	0.958	1.0674	0.958
3	0.5282	0.982	0.5914	0.966	0.8662	0.966	0.9992	0.957
4	0.5782	0.989	0.6506	0.961	0.7402	0.982	0.9032	0.956
5	0.6778	0.973	0.7486	0.963	0.8338	0.989	0.9856	0.957
6	0.7796	0.975	0.6464	0.965	0.6142	0.981	1.1116	0.957
7	0.6536	0.969	0.7096	0.954	0.7988	0.975	1.2244	0.950
8	0.6288	0.974	0.6584	0.961	0.8160	0.969	1.2388	0.904
9	0.6301	0.981	0.6898	0.931	0.5082	0.981	0.9890	0.959
10	0.6250	0.979	0.4362	0.961	0.7290	0.979	0.9580	0.914
11	0.6508	0.981	0.8854	0.950	0.6398	0.981	0.9964	0.949
平均值	0.6360		0.6524		0.7392		1.0354	

从表 2 中可看到，B2F 平均分维数为 0.6360、C2F 为 0.6524、X3F 为 0.7392、X3L 为 1.0354，B2F、C2F 分维数明显低于 X3F、X3L，其打后叶片中碎片含量少，大中片含量多，这与实际烟叶特性相符。打叶后的烟叶几何形状没有规则，其粒度组成是一种没有特征长度的结构图形，其分形是建立在一种统计意义上，也就是说有统计意义上的自相似。对岩石破碎过程粒度分形研究表明，其分维数大，碎块多且小，破碎程度高；分维数小，碎块少且大，破碎程度较小，分维数可作为特定载荷方式下岩石的某种特性的量化指标^[18-19]。对于烟叶打叶过程，分维数同样可表征打后叶片面积分布的均匀程度，小尺寸叶片含量越多，大尺寸叶片含量越少，分维数越大。因此，对于同一等级烟叶，可由分维数衡量不同打叶条件下打叶质量及其稳定性。

把以上分维值代入分形模型式(6)，可求得各样品打后烟叶叶片面积累积百分比，样品 C2F、X3L 的模型计算值与图像法实测值对比分析如图 6 所示。

从图 6 中可看出，由式(6)计算出的叶片面积累积百分比与图像法实测值吻合较好，C2F 相关系数为 0.906，X3L 相关系数为 0.904。用同样的方法得到 B2F



注：s 为叶片面积，mm²；y 为累积面积百分比，lg 为对数函数。(下同)

图 4 C2F 样品 3 的 lg s 与 lg y 拟合曲线

Fig.4 Fitting curve between lg s and lg y from sample3 of C2F

和 X3F 计算值与实测值相关系数分别为 0.951 和 0.936, 可以看出, 分形模型可较好的描述烟叶打后叶片的尺寸分布特征。

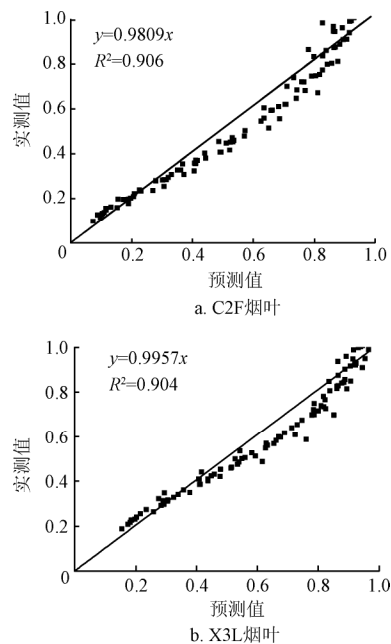


图 6 烟叶累积面积百分比预测值与实测值比较
Fig.6 Comparison of measured and predicted values of accumulate area percentage for different samples

对表 2 中 B2F、C2F、X3F 和 X3L 不同等级烟叶的各组分维数, 进行单因素方差分析, 结果如表 3 所示。

表 3 不同等级烟叶分维数方差分析结果

Table 3 Results of variance analysis of different class tobacco lamina

差异源	SS	df	MS	F	P-value	F crit
组间	1.1340	3	0.3780	35.93	1.97×10^{-11}	2.8387
组内	0.4208	40	0.0105			
总计	1.5548	43				

注: SS 为离均差平方和; df 为自由度; MS 为均方; F 为 F 检验值; P-value 为相应 F 值下的概率; F crit 为 F 临界值。

从表 3 中可看到, P 值小于 0.01, 表明不同等级打后烟叶的分维数存在极显著差异。从不同部位、等级烟叶的理化特性差异来看, 上部烟叶 B2F 叶片稍厚, 叶面皱缩, 油分多, 韧性、弹性好, 抗破碎能力强; 中部烟叶 C2F 叶片厚薄适中, 叶面光滑, 油分较多, 韧性、弹性较好, 抗破碎能力较强; 而下部烟叶 X3F、X3L 叶片薄, 叶面粗松, 油分少, 韧性、弹性差, 其抗破碎能力较差^[20]。因此, 在相同打叶条件下, 打后叶片的分维数可反映不同烟叶打叶特性。

2.2 分维数与大中片率定量关系

烟草行业对不同档次成品片烟中的大中片率有一定规定, 要求上等烟 $\geq 83\%$ 、中等烟 $\geq 80\%$ 、下等烟 $\geq 75\%$ ^[3]。本文把 $>161.29 \text{ mm}^2$ 的烟叶累积百分比作为大中片率。大中片率作为衡量打叶质量的一个重要指标, 把分维数与大中片率相关联, 得到表 4。

表 4 叶片分维数与大中片率

Table 4 Fractal dimension of strips and percentage of lamina with size bigger than 161.29 mm^2

样品 编号	B2F		C2F		X3F		X3L	
	分维数	大中 片率/%	分维数	大中 片率/%	分维数	大中 片率/%	分维数	大中 片率/%
1	0.6238	88.94	0.5742	91.11	0.7448	86.26	0.9154	82.50
2	0.6198	89.69	0.5856	90.20	0.8404	84.84	1.0674	78.47
3	0.5282	90.85	0.5914	89.72	0.8662	84.18	0.9992	79.67
4	0.5782	90.00	0.6506	89.57	0.7402	86.44	0.9032	84.51
5	0.6778	87.86	0.7486	86.72	0.8338	84.96	0.9856	81.77
6	0.7796	85.97	0.6464	88.96	0.6142	89.35	1.1116	76.52
7	0.6536	88.18	0.7096	88.31	0.7988	85.23	1.2244	72.47
8	0.6288	89.29	0.6584	89.47	0.8160	84.77	1.2388	70.56
9	0.6301	89.48	0.6898	88.35	0.5082	91.32	0.9890	80.23
10	0.6250	88.85	0.4362	92.57	0.7290	86.63	0.9580	81.46
11	0.6508	88.92	0.8854	84.37	0.6398	89.27	0.9964	81.32

对表 4 中的数据分别进行线性拟合, 得到 B2F、C2F、X3F、X3L 分维数(x)与大中片率(y)的回归方程分别为

$$y = -19.995x + 101.63 \quad R^2 = 0.9428$$

$$y = -18.718x + 101.24 \quad R^2 = 0.9595$$

$$y = -20.721x + 101.98 \quad R^2 = 0.9851$$

$$y = -37.177x + 117.54 \quad R^2 = 0.9711$$

从上式中可以看出, 烟叶打后叶片的分维数与大中片率存在较好的线性相关性。因此, 打叶复烤厂设定打叶工序叶片的大中片率后, 可由分维数判断不同等级打后烟叶大中片率是否达到要求。由于打叶后的烟叶需要进一步经风选、干燥加工为成品片烟, 这些过程会产生一些新的造碎, 故打叶工序可适当提高叶片大中片率控制水平。若设定上等烟 $\geq 88\%$ 、中等烟 $\geq 86\%$ 、下等烟 $\geq 78\%$, 则对于上等烟 B2F、C2F, 当分维数分别大于 0.6817、0.7073 时, 大中片率不能达到要求; 对于中等烟 X3F 和下等烟 X3L, 当分维数分别大于 0.7712 和 1.0636 时, 大中片率不能达到要求。

采用图像分析法结合分形模型可在线、即时监测打后烟叶的叶片面积分布, 在打叶的动态过程中可由分维数的变化情况指导工艺参数的调整, 从而为优化打叶工艺参数提供数据依据。对于某一等级烟叶, 通过监测分维数的变化了解打叶工序的稳定性, 当分维数大于对应大中片率要求下的分维数时, 此时需要调整打叶工艺参数, 如减小热风润叶滚筒转速、提高蒸汽压, 降低打辊转速, 减少打辊单位宽度上的打叶负荷, 调整框栏挡距、增大开栏尺寸, 适当调整风分风速, 以减小造碎。此外, 烟叶根据部位、颜色、品质等分为 42 个等级, 不同等级烟叶的特性不同, 大中片率、碎片率的要求也不同, 用分形模型建立烟叶数据库, 对于大批量不同等级的打叶进行精细化、智能化控制, 由此可在保证质量的前提下提高产率, 提升打叶复烤企业的经济效益。

3 结论

1) 采用图像分析法快速、准确测量打后烟叶的叶片

面积, 测量结果证明叶片分布满足基于面积的分形模型。

2) 分维数可表征打后叶片均匀程度, 碎片越多, 大片含量越少, 分维数越大。不同等级烟叶的分维数存在显著性差异, 分维数可为不同等级烟叶的识别提供数据参考。

3) 分维数与打后烟叶大中片率成线性关系, 在打叶的动态过程中可根据分维数的变化情况指导打叶设备工艺参数的调整, 从而为打叶工序智能化、精细化控制提供数据依据。

[参 考 文 献]

- [1] 黄炳华. 利用 PLC 程序判断打叶器运行状况[J]. 科技信息, 2009(25): 86—87.
- [2] GB/T 21137-2007 烟叶打后烟叶大小的测定[S].
- [3] YC/T 147-2001 打叶烟叶质量检验[S].
- [4] 曾静, 徐大勇, 李跃锋, 等. 片烟叶面积分布[J]. 烟草科技, 2010(10): 12—15.
Zeng Jing, Xu Dayong, Li Yuefeng, et al. Area distribution of tobacco strips[J]. Tobacco Science and Technology, 2010(10): 12—15. (in Chinese with English abstract)
- [5] Keboe A, Parker Ga. Image processing for industrial radiograph inspection: Image enhancement[J]. British Journal of NDT, 1990, 32(4): 183—190.
- [6] Van Henten E J. Non-destructive crop measurements by image processing for crop growth control[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1995, 61(2): 97—105.
- [7] Mattenw E O, Douglas A L, Rufus I. An inexpensive, accurate method for measuring leaf area and defoliation through digital image analysis[J]. Field and Forage Crops, 2002, 95(6): 1190—1194.
- [8] Dong Xiahe. Development of a Plug-Transplant Production System and an Image Analysis System for use in Sweet Potato[D]. Japan: Chiba University, 2002.
- [9] 武聪玲, 滕光辉, 李长纓. 黄瓜幼苗生长信息的无损监测系统的应用与验证[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 109—112.
Wu Congling, Teng Guanghui, Li Changying. Application and validation of computer vision based nondestructive measurement system for cucumber seedling growth conditions[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(4): 109—112. (in Chinese with English abstract)
- [10] Perfect E, Rasiah V, Kay B D. Fractal dimensions of soil aggregate-size distributions calculated by number and mass[J]. Soil Science, 1992(56): 1407—1409.
- [11] Marco Bittelli, Gaylon S. Campbell, Markus Flury. Characterization of particle-size distribution in soils with a fragmentation model[J]. Soil Science, 1999(63): 782—788.
- [12] Su Y Z, Gaylon S, Zhao H L, et al. Fractal features of soil particle size distribution and the implication for indication desertification[J]. Geoderma, 2004, 1(122): 43—49.
- [13] Huang G, Zhang R. Evaluation of soil water retention curve with the pore-solid fractal model[J]. Geoderma, 2005(127): 52—61.
- [14] Ersahin S, Gunal H, Kutlu T, et al. Estimating specific surface area and cation exchange capacity in soils using fractal dimension of particle-size distribution[J]. Geoderma, 2006(136): 588—597.
- [15] 吴兰兰, 刘俊英, 文友先. 基于分形维数的玉米和杂草图像识别[J]. 农业机械学报, 2009, 40(3): 176—179.
Wu Lanlan, Liu Jianying, Wen Youxian. Image identification of corn and weed based on fractal dimension[J]. Transactions of Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3): 176—179. (in Chinese with English abstract)
- [16] Mandelbrot B B. The Fractal Geometry of Nature[M]. New York: W H Freeman and Company, 1982.
- [17] 薛祥立. 粒度分布函数的分形表示[J]. 青岛建筑工程学院学报, 1997, 18(4): 1—5.
Xue Xiangli. Fractal expression of particle size distribution[J]. Journal of Qingdao Institute of Architecture and Engineering, 1997, 18(4): 1—5. (in Chinese with English abstract)
- [18] 王利, 高谦. 岩石块度的分形演化模型及其应用[J]. 煤炭学报, 2007, 11(32): 1170—1174.
Wang Li, Gao Qian. Fragmentation prediction of rock based on damage energy dissipation[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 11(32): 1170—1174. (in Chinese with English abstract)
- [19] Turcotte D L. Fractals and fragmentation[J]. Geophys Res, 1986, 91(132): 1921—1926.
- [20] 程占省. 烟叶分级工[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001: 79—81.

Online detection of tobacco lamina structure based on fractal and image analysis method

Yu Na, Xu Dayong, Du Jinsong, Deng Guodong, Li Shanlian, Zhu Wenkui*

(Zhengzhou Tobacco Research Institute of China National Tobacco Corporation, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to monitor and control tobacco lamina quality in threshing, image analysis method was used to measure tobacco lamina area. The fractal model of area distribution of tobacco strips was established based on the fractal theory, and fractal dimension was used to describe the characteristic of area distribution of tobacco strips. The results showed that the model predictions and measured values of area distribution of tobacco strip have high correlation coefficient. Fractal model can describe accurately area distribution of tobacco strip. Fractal dimension could describe the uniformity of tobacco strip structure. For tobacco leaves of different class, the fractal dimension could reflect tobacco characteristic difference in threshing. There is a liner relation between fractal dimension and percentage of $>161.29 \text{ mm}^2$ lamina, and the correlation coefficient was greater than 0.90. The determining method for tobacco lamina structure based on image analysis and fractal model could monitor and control tobacco lamina quality on line during threshing process.

Key words: image processing, fractal, model, tobacco leaf, detection