

烘烤过程中基于图像处理的烤烟形态特征分析

宋朝鹏¹, 段史江¹, 李常军², 马力¹, 史龙飞¹, 宫长荣^{1*}

(1.河南农业大学 烟草行业烟草栽培重点实验室, 河南 郑州 450002; 2.重庆市烟草公司, 重庆 400023)

摘 要: 为寻求烘烤过程中烟叶图像的数字特征指标, 以云烟 97 上、中、下 3 个部位鲜样、烤后样及关键温度点稳温结束的 360 张烟叶图像为材料, 采用图像处理技术提取其形状、颜色、纹理特征值, 进行数值特征分析。结果表明: 烟叶形状特征变化表现为变黄期缓慢、定色期剧烈、干筋期减缓的趋势, 颜色特征变化表现为变黄期剧烈、定色和干筋期较缓的趋势, 纹理特征变化表现为变黄期较缓、定色期较剧烈的趋势; 不同部位烟叶形状特征以下部叶变化最为剧烈, 中部叶次之; 红分量均值从大到小依次为中部叶、上部叶、下部叶, 绿分量均值从大到小依次为中部叶、下部叶、上部叶, 蓝分量均值从大到小依次为下部叶、中部叶、上部叶; 不同部位烟叶纹理特征值变化无明显规律。

关 键 词: 烤烟; 形态特征; 图像处理

中图分类号: TS41⁺¹ 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2011)06-0610-05

Morphological analysis of tobacco leaves during curing based on image processing

SONG Zhao-peng¹, DUAN Shi-jiang¹, LI Chang-jun², MA Li¹, SHI Long-fei¹, GONG Chang-rong¹

(1.Key Laboratory for Tobacco Cultivation of Tobacco Industry, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2.Chongqing Tobacco Company, Chongqing 400023, China)

Abstract: Three hundreds and sixty images of different positions (upper, middle and lower) of tobacco leaves including fresh, during and after curing samples were used to get the features of shape, color and texture by image processing technology for digital analysis which can reflect the morphology of tobacco leaf. The results showed that: the shape features of tobacco leaves changed slowly in leaf-yellowing stage, rapidly in leaf-drying stage and slowly in stem-drying stage, the color features changed rapidly in leaf-yellowing stage, slowly in leaf-drying and stem-drying stage, the texture features changed slowly in leaf-yellowing stage, rapidly in leaf-drying stage. And the shape features changed the most in lower leaves, less in the middle leaves, the average of red component of the middle leaves was the largest, next were the upper and the lower leaves, the average of green component of the middle leaves was the largest, next were the lower and the upper leaves, the average of blue component of the lower leaves was the largest, next were the middle and the upper leaves, and the texture features showed no significant change among different positions.

Key words: flue-cured tobacco; image processing; morphological feature

密集烤房以其节能、省工、能提高烟叶整体质量等优势已成为中国烤烟烘烤的主要设备^[1-2]。烘烤工场、合作社等集约型烘烤模式已日趋完善^[3]。

目前, 图像处理技术被广泛应用于农产品品质检测和分级^[4]。在烟草领域, 采用图像处理技术对烟叶形态特征的研究一般着重于叶形、颜色、纹理等数

收稿日期: 2011-04-20

基金项目: 重庆市烟草专卖局资助项目(2009YY01017)

作者简介: 宋朝鹏(1978—), 男, 河南邓州人, 博士, 讲师, 主要从事烟草调制生理研究, ycszp@163.com; *通信作者, gongchr009@126.com

量性状^[5-6]，且主要应用于烤后烟叶分级、水分检测和病害研究等领域，如中国烟草总公司郑州烟草研究所设计制作的图像采集装置，实现了烘烤过程烟叶状态的实时采集^[7]。笔者以云烟 97 的上、中、下部烟叶为材料，应用图像处理技术对密集烤房烘烤过程中烟叶的形态变化规律进行研究，以期获得烘烤过程中烟叶形态的数量变化特征，为机器视觉技术在密集烤房烘烤操作中的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与主要仪器设备

供试烤烟品种为云烟 97。

供试烤房为装烟 3 层 2 路的密集烤房，装烟室规格 8 m×2.7 m，装烟量为 4 000~4 500 kg。索尼 DSC-N2 CCD 数码相机的最高分辨率为 3 264×2 448 像素。为消除光线不均对摄像的影响，参照文献^[5]的方法自制拍摄灯箱。

1.2 试验采样

试验于 2010 年 8 月在重庆市武隆县巷口镇芦红村进行。试验田地势平坦，肥力中等，田间管理按照优质烤烟栽培生产技术规范进行。鲜烟叶采摘后取样 1 次；烘烤过程中于 38、42、46、54 °C 稳温结束时分别取样 1 次；烤后取样 1 次。每次于上、中、下 3 个部位取变化均匀一致且无病虫害的烟叶各 20 片，共 360 片。

1.3 图像采集与预处理

每次取样后将烟叶逐片置于拍摄灯箱内修理平整，在同等焦距条件下采集烟叶正面图像，每片烟叶连续采集 5 次。

在获取图像的过程中，由于受多种因素的影响而降质或退化的图像会使机器从中提取的信息减少，甚至错误。为保证图像质量，经试验确定，使用 Butterworth 低通滤波器以提高烟叶图像细节的清晰度。对图像进行背景分割、消除孤立和孔洞噪声后，最终得到二值图像。

1.4 烟叶形态特征提取

1) 形状特征的提取。采用烟叶图像外接矩形的

长、宽、长宽比与面积 4 个性状，同时统计分析烟叶横向收缩率、纵向收缩率。采用 Photoshop 软件和 Matlab 程序获取特征值。长、宽与长宽比参照文献^[8]中的方法计算；横向收缩率=(鲜烟叶宽度 - 取样时烟叶宽度)/鲜烟叶宽度×100%；纵向收缩率=(鲜烟叶长度 - 取样时烟叶长度)/鲜烟叶长度×100%。

2) 颜色特征的提取。根据国际标准照明委员会(CIE)建立的标准色度学系统，图像中某一点的颜色由 R、G、B 来表示，即 RGB 基色体系。在这个系统中，任意一种具有一定亮度的彩色光都可用空间中的一个点或一个矢量来表示^[4]。R、G、B 三分量的取值均为 0~255，数值越大说明亮度越高；理论上纯红色与纯绿色的加色为纯黄色，纯黄色时三分量的取值分别为 255、255、0。笔者采用 Matlab 程序提取叶片正面的 R、G、B 颜色特征值。

3) 纹理特征的提取。在灰度共生矩阵的基础上提取烟叶图像纹理特征的特征值，称为二次统计量。常用的基于共生矩阵的数学统计量中，有些与人类视觉感知特性有明确的对应关系，如纹理的相关性、熵、能量等的计算。笔者选取纹理能量、熵、惯性和相关 4 个常用特征值来描述烟叶图像的纹理特征^[4]。纹理能量反映图像灰度分布均匀程度和纹理粗细程度：纹理粗时能量大；纹理细时能量小。熵是图像信息量的度量，表示纹理的复杂程度，无纹理熵为 0。惯性不仅与像素的灰度值有关，而且与像素的位置有关，惯性值越大表明图像沟纹越明显，反之表明图像纹理沟纹越弱。相关是用来衡量灰度共生矩阵的元素在行或列方向上的相似程度，矩阵元素值均匀相等则相关值大，矩阵像素值相差很大则相关值小^[4]。

2 结果与分析

2.1 烤烟烘烤过程中烟叶形状特征的变化

从表 1 可知，变黄期(烘烤开始至 42 °C 结束)不同部位烟叶的宽度变化较小，定色期(42 °C 结束至 54 °C 结束)烟叶宽度变化明显，横向收缩较大，特别是定色后期(46 °C 结束至 54 °C 结束)烟叶横向

收缩迅速;干筋期(54℃结束后)烟叶宽度收缩不大,个别宽度有所增加,可能是烟叶回潮变软所致。不同部位烟叶烘烤过程中宽度变化幅度以下部叶最

大,上部叶最小。长度变化相对缓慢。纵向收缩较大的阶段出现在定色后期。不同部位烟叶在烘烤过程中纵向收缩明显小于横向收缩。

表1 不同部位烟叶烘烤过程中的形状特征值

Table 1 Changes of tobacco leaves shape features during curing in different leaf position

取样时间点	长度特征值			宽度特征值		
	下部叶	中部叶	上部叶	下部叶	中部叶	上部叶
烤前	68.7±4.05	75.9±2.14	70.5±2.17	26.5±4.08	27.7±2.85	22.1±6.38
38℃结束	67.4±4.82	73.6±7.17	69.6±6.10	26.4±2.73	27.2±3.45	22.8±2.13
42℃结束	65.8±6.03	70.1±5.29	68.4±7.22	25.0±1.63	25.5±1.88	19.8±3.12
46℃结束	64.7±4.04	66.4±4.68	65.5±9.21	22.3±0.75	23.0±5.13	15.4±1.17
54℃结束	59.7±7.39	63.1±3.75	62.2±5.33	9.7±2.18	11.9±3.97	12.6±2.12
烤后	60.9±4.50	63.3±5.60	61.7±9.59	11.0±0.64	12.0±4.59	12.3±4.31

取样时间点	长宽比特征值			面积特征值		
	下部叶	中部叶	上部叶	下部叶	中部叶	上部叶
烤前	2.69±0.33	2.92±0.33	3.06±0.29	1 423.2±43.3	1 402.0±42.8	1 310.7±22.7
38℃结束	2.59±0.28	2.97±0.51	2.98±0.20	1 474.7±29.1	1 355.0±102.1	1 294.2±118.6
42℃结束	2.46±0.36	2.66±0.22	3.37±0.53	1 352.8±90.7	1 414.5±55.3	1 350.7±83.8
46℃结束	2.95±0.18	2.86±0.20	4.28±1.00	1 238.3±82.8	1 341.3±106.5	1 149.2±86.6
54℃结束	6.54±1.87	5.40±0.77	5.13±0.85	1 082.7±88.5	1 145.7±104.0	1 197.2±55.8
烤后	6.37±0.89	5.32±1.12	5.18±0.96	1 285.6±102.1	1 205.8±74.7	1 222.7±99.6

随着烟叶生长部位的升高,鲜烟叶的长宽比逐渐增大,这与鲜烟叶的叶形特征一致。不同部位烟叶长宽比均随烘烤进程而增大,变黄期烟叶长宽比变化较小;定色后期烟叶长宽比均呈明显增大趋势,说明在此阶段烟叶在烤房内横向收缩速率明显大于纵向收缩速率;干筋期烟叶长宽比变化不大。不同部位烟叶长宽比变化幅度从大到小依次为下部叶、中部叶、上部叶,可能是由于烟叶组织结构和身份不同所导致的烟叶收缩卷曲不一致。不同部位烟叶烘烤过程中面积变化最大的阶段均发生在定色期,变黄期和干筋期变化较小。

从图1可知,随着烘烤进行,各部位烟叶横向

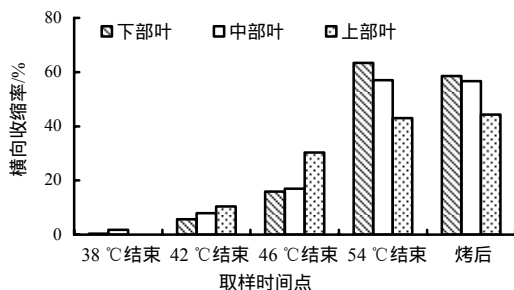


图1 烘烤过程中不同部位烟叶的横向收缩率

Fig.1 Changes of horizontal shrinkage rate in different positions of tobacco leaf

收缩率呈增大的趋势,其中,变黄前期(烘烤开始至38℃结束)横向收缩率非常小,变黄后期(38℃结束至42℃结束)有所增加;定色期各处理横向收缩率明显增大;干筋期横向收缩率变化不明显。不同部位烟叶横向收缩率在变黄阶段较为一致;定色前期(42℃结束至46℃结束)上部叶横向收缩率明显高于中、下部叶,而定色后期明显低于中、下部叶;干筋期变化较为平缓。

由图2可知,随着烘烤进行,不同部位烟叶纵向收缩率逐渐增大,干筋期烟叶纵向收缩率略有增减。具体来看,变黄前期中部叶纵向收缩率略高于下部叶和上部叶,变黄后期中部叶的纵向

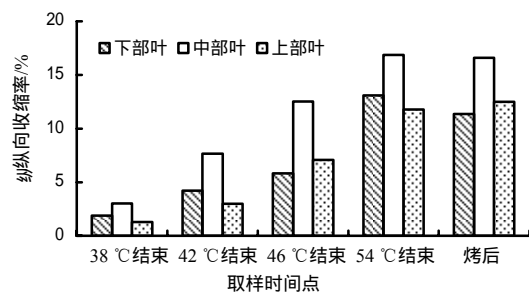


图2 烘烤过程中不同部位烟叶的纵向收缩率

Fig.2 Changes of vertical shrinkage rate in different positions of tobacco leaf

收缩率增幅明显高于下部叶和上部叶；定色前期下部叶的纵向收缩率增长最少，为 1.6%；定色后期增长最多，为 7.3%；干筋期上部叶纵向收缩率有所增加，中部叶和下部叶略微下降。

2.2 烤烟烘烤过程中烟叶颜色特征的变化

从表 2 可知，烟叶图像的 3 个颜色分量从大到小

依次为红、绿、蓝。鲜烟叶的绿分量明显大于红、蓝分量，这是因为鲜烟叶的主体颜色是绿色。查对 RGB 颜色表，得鲜烟叶的颜色接近于钴绿色和草绿色。理论上纯红色与纯绿色的加色为纯黄色，从 38 ℃ 结束到烤后，烟叶的主体颜色为黄色，所以会出现从 38 ℃ 结束到烘烤结束烟叶红、绿分量远大于蓝分量的现象。

表 2 不同部位烟叶烘烤过程中的颜色特征值

Table 2 Changes of color features in different positions of tobacco leaf during curing

取样时间点	红色特征值			绿色特征值			蓝色特征值		
	下部叶	中部叶	上部叶	下部叶	中部叶	上部叶	下部叶	中部叶	上部叶
烤前	78.8±10.0	89.35±12.5	77.5±13.1	119.2±8.0	119.7±8.5	109.6±11	50.1±5.0	38.4±5.9	36.7±7.3
38 ℃ 结束	132.3±11.2	122.8±13.1	134.6±10.4	137.7±4.6	133.6±6.8	126.4±6.5	56.4±8.4	43.9±7.0	40.2±6.9
42 ℃ 结束	138.7±5.5	150.1±6.1	140.6±6.8	140.0±4.9	141.0±3.6	129.6±5.3	54.6±9.2	54.2±6.4	47.2±7.4
46 ℃ 结束	144.9±9.9	159.6±9.8	147.9±6.6	121.2±11.3	141.9±7.0	112.8±7.7	48.6±7.9	58.7±10.5	41.0±4.5
54 ℃ 结束	138.5±8.0	159.3±8.5	154.9±6.3	111.1±6.7	130.4±9.1	124.1±8.5	44.5±5.1	56.0±8.2	53.6±9.4
烤后	142.8±8.1	146.3±6.5	145.1±6.6	118.1±7.9	115.8±8.3	115.4±7.2	60.9±10.6	43.1±4.5	45.5±7.3

在烘烤过程中不同部位烟叶红分量在变黄前期升高幅度最大，干筋期变化较小，其平均值从大到小依次为中部叶、上部叶、下部叶；不同部位烟叶绿分量在变黄期均升高至最大值，定色期至烘烤结束呈下降趋势，其平均值从大到小依次为中部叶、下部叶、上部叶；不同部位烟叶的蓝分量与红分量特征值相似，这与烤后烟叶均为金黄色相吻合。蓝分量的平均值从大到小依次为下部叶、中部

叶、上部叶(定色后期除外)。

2.3 烤烟烘烤过程中烟叶纹理特征的变化

从表 3 可知，下部叶的纹理能量显著高于中部叶和上部叶，可能与下部叶结构疏松、图像均匀有关，中、上部叶组织结构紧密，图像粗糙，图像纹理能量值较低；上部叶和中部叶的熵值明显高于下部叶，表明随着烟叶生长部位的升高，烟叶组织结

表 3 不同部位烟叶烘烤过程中的纹理特征值

Table 3 Changes of texture features in different positions of tobacco leaf during curing

取样时间点	纹理能量值			熵		
	下部叶	中部叶	上部叶	下部叶	中部叶	上部叶
烤前	0.322±0.066	0.270±0.094	0.141±0.039	1.508±0.19	1.115±0.170	2.294±0.273
38 ℃ 结束	0.207±0.027	0.221±0.052	0.206±0.059	1.919±0.125	1.933±0.252	1.996±0.296
42 ℃ 结束	0.247±0.066	0.320±0.056	0.183±0.052	1.783±0.235	1.510±0.197	2.115±0.240
46 ℃ 结束	0.377±0.074	0.295±0.059	0.245±0.069	1.332±0.195	1.620±0.235	1.827±0.317
54 ℃ 结束	0.230±0.048	0.181±0.069	0.271±0.071	1.902±0.232	2.175±0.393	1.742±0.295
烤后	0.315±0.095	0.150±0.043	0.133±0.023	1.598±0.275	2.332±0.232	2.430±0.171

取样时间点	惯性值			相关值		
	下部叶	中部叶	上部叶	下部叶	中部叶	上部叶
烤前	0.120±0.009	0.105±0.017	0.158±0.024	1.613±0.472	3.066±0.708	0.453±0.238
38 ℃ 结束	0.161±0.020	0.153±0.025	0.181±0.033	0.914±0.185	0.829±0.339	0.930±0.402
42 ℃ 结束	0.140±0.019	0.121±0.023	0.183±0.037	1.123±0.503	1.491±0.531	0.709±0.266
46 ℃ 结束	0.110±0.030	0.153±0.027	0.149±0.022	2.014±0.538	1.457±0.505	1.092±0.475
54 ℃ 结束	0.181±0.038	0.213±0.050	0.198±0.039	0.913±0.373	0.703±0.434	1.215±0.691
烤后	0.247±0.022	0.259±0.059	0.284±0.057	1.455±0.810	0.576±0.183	0.521±0.126

构更加紧密,图像更加复杂;熵与纹理能量的结果共同反映了下部叶比中部和上部叶结构疏松;惯性值在烘烤开始至定色前期均较小,定色后期至干筋期逐渐增大并达到最大,说明定色后期至烘烤结束烟叶失水较多,卷曲与皱缩严重,此阶段上、中部叶惯性值略高于下部叶,说明下部叶身份较薄,卷曲皱缩程度较低。烘烤过程中烟叶相关值差异明显,但无明显规律。

3 结论与讨论

本研究通过图像处理技术对密集烘烤过程中烟叶图像的形状、颜色及纹理的特征值进行了统计分析。结果表明,烟叶形状特征在变黄前期变化较小,变黄后期烟叶长、宽、面积有一定幅度减小,横向收缩率和纵向收缩率有所增大;定色期烟叶长、宽、面积均大幅度减小,横向收缩率和纵向收缩率明显增大,定色后期尤为明显;干筋期各形状特征变化较小,这与樊军辉等^[9]对密集烤房烘烤过程中烟叶形态变化的测量结果基本一致。烟叶颜色的3个特征值在变黄前期呈升高趋势,变黄后期升高趋势进一步扩大,但幅度相对较缓,说明在变黄前期叶绿素降解较快,类胡萝卜素占质体色素的比例增加,致使烟叶表现出黄色,这与王传义等^[10]、王爱华等^[11]的研究结果一致;定色期烟叶图像红分量呈平缓上升趋势,绿分量呈平缓下降趋势;干筋期下部叶三个颜色特征值均有所减小,中、上部叶均有所增加。纹理特征值在变黄前期和定色期变化幅度较大。

本研究量化了烟叶形态在烘烤过程中的变化规律,为烘烤操作的精准控制提供了数值依据。已有研究^[5,12]表明,烟叶水分含量、色素类物质含量等与烟叶形态数值特征之间存在着密切的联系,笔者对烟叶形态特征的量化为实现烘烤过程中烟叶品质的无损检测及调制初加工的精准控制等方面提供了理论依据。由于烟叶形态特征包括很多方

面,不同品种烤烟又受地理条件、栽培措施等因素的影响而会出现差异,以上结论仍需要通过扩大样本量、减少系统误差来进一步证实。

参考文献:

- [1] 宫长荣,潘建斌,宋朝鹏.我国烟叶烘烤设备的演变与研究进展[J].烟草科技,2005(11):34-36.
- [2] 马力,段史江,李沛,等.密集烤房不同循环风机烘烤烟叶的色素降解及感官质量[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2011,37(5):479-483.
- [3] 何亚浩,贺帆,杨荣生,等.不同专业化烘烤模式探索:以曲靖烟区为例[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2011,37(2):135-138.
- [4] 刘燕德,应义斌,成芳.计算机视觉技术在种子纯度检验中的应用[J].农业机械学报,2003,34(5):161-163.
- [5] 段史江,马力,史龙飞,等.基于图像处理的密集烘烤过程烟叶 β -胡萝卜素含量的检测[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2011,37(5):490-493.
- [6] 张帆,方如明,蔡键荣.标准烟叶数据库的图像检索[J].农业机械学报,2001,32(1):66-68,71.
- [7] 中国烟草总公司郑州烟草研究院.密集烤房烘烤过程烟叶状态的图像采集装置:中国,200820220980[P].2009-09-30.
- [8] 自由路,杨俐苹.基于图像处理的植物叶面积测定方法[J].农业网络信息,2004(4):36-38.
- [9] 樊军辉,陈江华,宋朝鹏,等.不同烤房烘烤过程中烟叶形态和物理特性的变化[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2010,38(6):109-114.
- [10] 王传义,孙福山,王廷晓,等.不同成熟度烟叶烘烤过程中生理生化变化研究[J].中国烟草科学,2009,30(3):49-53.
- [11] 王爱华,徐秀红,王松峰,等.变黄温度对烤烟烘烤过程中生理指标及烤后质量的影响[J].中国烟草学报,2008,14(1):27-31.
- [12] 甘露萍.基于机器视觉的鲜烟叶含水量模型研究[D].重庆:西南大学工程技术学院,2009.

责任编辑:杨盛强