

网络出版时间:2017-03-07 11:16
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170307.1116.022.html>

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2017.04.011

烘烤过程中烘烤环境对烤烟外观特征的影响

宋朝鹏¹,路晓崇¹,裴晓东²,谭方利³,李生栋¹,蒋博文¹,魏 硕¹,官长荣¹

(1 河南农业大学 烟草学院,河南 郑州 450002;2 湖南省烟草公司长沙市公司,湖南 长沙 410300;
3 湖南省烟草公司郴州市公司,湖南 郴州 423000)

〔摘 要〕 【目的】了解烤烟烘烤过程中烘烤环境对烟叶外观特征变化的影响,为烟叶精准化烘烤的实现提供理论依据。【方法】利用色差仪提取烟叶的颜色特征值,用 Matlab2015b 获取烟叶纹理特征值,然后对烘烤过程中烟叶颜色特征指标和纹理特征指标的变化进行分析,并运用典型相关分析法对烘烤过程中烘烤环境指标(温度、叶温、水汽压差、相对湿度、风速、风压)与颜色指标(明度、红度、黄度、饱和度、色相角)、纹理指标(能量、熵、惯性矩、相关度)的关系进行分析。【结果】随着烘烤的进行,烟叶颜色特征值的变化均呈上升趋势,且正反面变化规律相似;烟叶纹理特征值中纹理能量和相关度不断减小,纹理熵和惯性矩不断增加,且在 42~46 ℃ 变化幅度较大;叶温对烟叶颜色的色相角和正面黄度有较大影响;烤房温度主要对烟叶颜色的明度、饱和度、色相角和黄度有较大影响,而相对湿度对烟叶颜色的红度有较大影响,但是温度和相对湿度均对烟叶纹理的能量、相关度和熵有较大影响,风压对烟叶纹理惯性矩有较大影响,而其他环境指标对烟叶颜色和形态纹理变化的影响较小。【结论】不同的烘烤环境指标对烟叶颜色和纹理的变化有不同程度影响,可依据研究结果及烟叶特色适当调控烟叶的颜色与形态变化。

〔关键词〕 烤烟;烘烤环境;颜色特征;纹理特征;典型相关分析
〔中图分类号〕 TS44+1 〔文献标志码〕 A 〔文章编号〕 1671-9387(2017)04-0071-08

Influence of curing environment on tobacco appearance characteristics during curing process

SONG Chaopeng¹,LU Xiaochong¹,PEI Xiaodong²,TAN Fangli³,LI Shengdong¹,
JIANG Bowen¹,WEI Shuo¹,GONG Changrong¹

(1 Tobacco Institute, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China; 2 Tobacco Company in Changsha, Hunan Province Branch, Changsha, Hunan 410300, China; 3 Tobacco Company in Chenzhou, Hunan Province Branch, Chenzhou, Hunan 423000, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the influence of curing environment on tobacco morphology during curing process to provide theoretical basis for realization of precise curing. 【Method】 The chromatic instrument was used to obtain color feature and Matlab2015b was used to obtain texture feature, and the canonical correlation was conducted to analyze the relationship between curing environment variables (temperature, leaf temperature, vapor pressure difference, relative humidity, wind speed, and wind pressure) with color features (lightness, redness, yellowness, saturation, and hue angle) and texture features (energy, entropy, moment of inertia, and correlation degree). 【Result】 The change of tobacco color feature values showed an upward trend, and the morphology features of front and back had a similar trend. The tobacco texture energy and correlation degree decreased, while entropy and moment of inertia increased, and the changes were more substantial at 42—46 ℃. The leaf temperature had great effect on hue angle and

〔收稿日期〕 2016-01-21
〔基金项目〕 中国烟草总公司项目“浓香型烤烟调制关键技术研究”(Ts-01-2011006)
〔作者简介〕 宋朝鹏(1978—),男,河南邓州人,副教授,硕士生导师,主要从事烟叶调制研究。E-mail: ycszp@163.com
〔通信作者〕 官长荣(1948—),男,河南荥阳人,教授,主要从事烟草调制与加工研究。E-mail: gongchr009@126.com

yellowness of front, the temperature in curing barn affected lightness, saturation, hue angle and yellowness. Relative humidity had great influence on redness, and both temperature and relative humidity had great influence on texture energy, correlation degree, and entropy of tobacco. Wind pressure had high relationship with texture inertia, but other variables had minor effect on color and texture. 【Conclusion】 Different curing environmental variables had different effects on color and texture of tobacco leaves.

Key words: flue-cured tobacco; curing environment; color feature; texture feature; canonical correlation analysis

烟叶烘烤是烘烤人员依据烟叶颜色与形态的变化调控烤房环境条件实现的^[1],而烘烤人员在烘烤过程中对烟叶颜色与形态的判断主要依靠自己的主观感觉,因此在烘烤条件改变时出现烤坏烟的情况比较普遍^[2],给烟叶经济价值的体现带来一定的影响。再者,烘烤环境的变化也影响着烟叶颜色与形态的变化^[1-2],因此调控适宜烘烤环境可以改善烟叶颜色与形态变化,进而可以在一定程度上改善烟叶烘烤效果。随着数字化技术的不断发展,图像处理在产品加工分类识别统计方面有着广泛的应用^[3-5],同时在烟草的农业生产以及工业加工方面也有着普遍的运用^[6-12]。霍开玲等^[13]对烘烤过程中烟叶颜色的变化进行了研究,结果表明烟叶颜色参数与色素含量的相关性明显,可以用颜色值作为辅助指标来判断烟叶成熟度。韩力群等^[14]采集不同等级烟叶的外观特征建立神经网络模型进行烟叶分级试验,其结果与分级专家结果的平均一致率可达到 85%,与人工分级水平相当。王建玺等^[15]研究表明,利用图像处理技术可以诊断烟草青枯病害。刘剑君等^[16]利用图像处理技术对烟叶成熟度的研究表明,烟叶成熟度指数与人工感官识别的烟叶经验成熟度有很好的关联度。赵维一等^[17]利用图像处理技术对叶丝宽度测量装置进行了研发,结果表明能够满足切丝宽度的工艺指标要求,有效提高了叶丝宽度的测量效率。段史江等^[18]利用图像处理技术实现了烘烤过程中水分的无损检测。然而烘烤环境参数对烟叶颜色与纹理特征的影响却鲜见报道。本研究采集烤烟烘烤过程中温度、相对湿度、风速等环境参数,并利用色差仪提取烘烤过程中各关键温度点的烟叶颜色特征值,用 Matlab2015b 分析各关键温度点的烟叶照片信息,进而获取烟叶纹理特征值,再对烘烤过程中烟叶颜色特征指标和纹理特征指标的变化进行分析,最后运用典型相关分析法对烘烤过程中烘烤环境指标与颜色特征值及纹理特征值的关系进行分析,以期对烟叶精准化烘烤、智能化烘烤的实现提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2014 年在湖南省浏阳市永安镇永和工厂进行。供试烟草品种为 G80,前茬作物为水稻,土壤肥力中上等,栽培管理规范,田间长势均匀一致,选取成熟时采收的中部叶(10—12 位叶)为试验对象。烤房为气流上升式烟夹烤房,装烟室长、宽、高为 8 m×2.7 m×3.5 m,装烟层数为 3,装烟容量约 4 500 kg。风机低速功率 1.5 kW,高速功率 2.2 kW,烘烤过程中前期低风速(960 r/min)运转,中后期高风速(1 440 r/min)运转,末期低风速(960 r/min)运转。

1.2 试验方法

试验烤房装烟松紧适宜,均匀一致,按照密集烘烤工艺进行烘烤。利用烤房温湿度自控仪(由江苏科地现代农业有限公司生产)、烤烟多参数实时监测仪(由中国计量学院研发)和 JTRO7B 多通道风速测试仪(由北京世纪建通技术开发有限公司生产)对烘烤过程中烤房内的温度、叶温、相对湿度(RH)以及烟叶间隙的风速与风压进行实时监控,自控仪与风速仪在烤房点火之后启动,之后每隔 4 h 自动记录存储一次数据,并利用烤房的干湿球温度与相对湿度计算水汽压差(VPD)^[1];烘烤过程中每隔 4 h 取一次样,每次取烟叶 30 片,采用佳能 Canon EOS 6D 单反相机在特制拍摄箱中采集烟叶图像,并利用 Matlab2015b 的 Simulink 工具箱分析烟叶照片信息,进而获取所采集样品的灰度共生矩阵,并依据灰度共生矩阵计算图像的能量、熵、惯性矩、相关度 4 个纹理特征值^[4];采用 WSC-3 型全自动测色色差计(北京光学仪器厂)测量烟叶正反面的明度(L^*)、红度(a^*)、黄度(b^*)、饱和度(C^*)和色相角(h^*)等 5 个颜色特征值^[18],烟叶的测量位点为烟叶的 1/4、1/2 和 3/4 处对称的 6 个位置,每片正反面共计 12 个位点。

1.3 数据处理

试验数据采用 Excel 2010 做折线图,利用

Mathematical10.0 将烘烤环境指标数据温度(x_1)、叶温(x_2)、水汽压差(x_3)、相对湿度(x_4)、风速(x_5)和风压(x_6),分别与颜色指标正面 L^* (y_1)、 a^* (y_2)、 b^* (y_3)、 C^* (y_4)、 h^* (y_5)和反面 L^* (y_6)、 a^* (y_7)、 b^* (y_8)、 C^* (y_9)、 h^* (y_{10})等 10 个色度特征值,以及形态指标纹理能量(z_1)、纹理熵(z_2)、纹理惯性矩(z_3)、纹理相关度(z_4)等 4 个纹理特征值进行典型相关分析。

2 结果与分析

2.1 烘烤过程中烟叶颜色的变化

2.1.1 烟叶颜色特征值的变化 由图 1 可知,烘烤过程中烟叶颜色的明度(L^*)值呈 S 型变化,拐点分别出现在 38 °C 和 54 °C,且烟叶背面的亮度大于正

面,54 °C 之后烟叶的明暗程度基本固定;烟叶的红度(a^*)值呈“厂”字型变化,在约 42 °C 之前背面红度值大于正面,42 °C 之后正面红度值大于背面,且红度值在 46 °C 之前的变化幅度大于 46 °C 之后,在 46 °C 后烟叶正面红度值基本稳定,而背面红度值继续增加,表明烟叶正反面红度色差逐渐减小;烟叶的黄度(b^*)值与饱和度(C^*)的变化规律相似,正面在 54 °C 之前缓慢上升,在 54 °C 之后直线下降,而背面一直上升,且烟叶正面的色度值大于背面,这使得烟叶红度值的比例大于黄度值,烤后橘色烟的比例增加,烟叶的品质与经济效益提高;烟叶正反面的色相角(h^*)变化规律基本一致,在 42 °C 之后基本稳定,表明黄度值与红度值的比例基本稳定,烟叶的变黄过程基本完成。

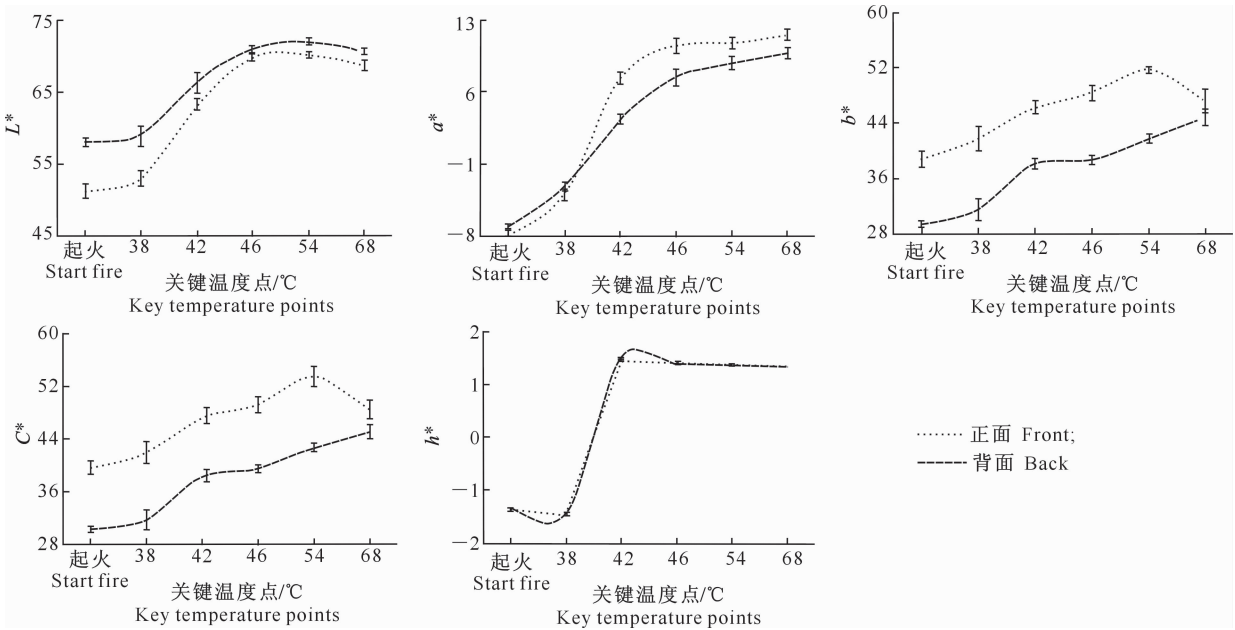


图 1 烘烤过程中烟叶正反面颜色的变化

Fig. 1 Change of tobacco color during curing process

2.1.2 烘烤环境与烟叶颜色特征值的典型相关分析 典型相关分析主要研究 2 组不同属性指标之间的关系,典型相关变量通常用(u, v)来表示。由表 1 可知,烤烟烘烤环境与烟叶颜色变化的典型相关分析中前 3 组达到极显著水平($P < 0.01$),相关系数分别为 0.969 7, 0.950 1 和 0.895 2,后 3 组未达到显著水平,因此对前 3 组进行重点分析。

第 1 组达到极显著水平的典型相关变量为:
 $u_1 = 0.9833x_1 + 0.0427x_2 - 0.3182x_3 - 0.1046x_4 + 0.3611x_5 + 0.3586x_6$, $v_1 = 0.3523y_1 + 0.3632y_2 - 0.5121y_3 - 0.0455y_4 + 0.0104y_5 + 0.1319y_6 + 0.3891y_7 + 0.2334y_8 - 0.0148y_9 - 0.0431y_{10}$ 。在

典型相关变量 1 中,由 u_1 与烘烤环境指标的相关系数可知, u_1 与 x_1 的相关系数最大,为 0.812 8,随着烤房温度的升高 u_1 不断增加,因此 u_1 可以理解为主要描述烤房温度(x_1)变化的综合指标。 v_1 与正面 L^* (y_1)、正面 C^* (y_4)、背面 L^* (y_6)、背面 b^* (y_8)和背面 C^* (y_9)有较大的相关系数,因此 v_1 是描述烟叶明度、饱和度和背面黄度值变化的综合指标,由于 v_1 与 u_1 极显著相关,因此温度(x_1)对烟叶颜色明度、饱和度和背面黄度有较大影响,在一定范围内随温度的升高,这 3 个指标逐渐增加。

第 2 组达到极显著水平的典型相关变量为:
 $u_2 = 2.4732x_1 - 2.2723x_2 + 0.1668x_3 + 0.5196x_4 +$

$0.921\ 3x_5 - 0.397\ 4\ x_6, v_2 = -0.829\ 6y_1 - 0.101\ 2y_2 + 1.159\ 9y_3 + 0.583\ 4y_4 - 0.042\ 2y_5 + 0.613\ 5y_6 + 0.189\ 7y_7 - 0.074\ 4y_8 - 0.194\ 7y_9 - 0.036\ 8y_{10}$ 。在典型相关变量 2 中,由 u_2 与烘烤环境指标的相关系数可知, u_2 与 x_2 的相关性最强,为 $-0.454\ 2$,即随着烤房叶温的升高 u_2 不断减少,因此 u_2 可以理解为主要描述烤房叶片温度(x_2)变化的综合指标。 v_2 与正面 $b^*(y_3)$ 、正面色相角 $h^*(y_5)$ 和反面色相角 $h^*(y_{10})$ 有较大的相关系数,因此 v_2 是描述烟叶色相角和正面黄度值变化的综合指标。由于 v_2 与 u_2 极显著相关,因此叶温(x_2)对烟叶颜色的色相角与正面黄度值有较大影响,色相角在一定范围内随叶温的增加而增加。

第 3 组达到极显著水平的典型相关变量为:

表 1 烘烤过程中烘烤环境与烟叶颜色的典型相关分析

Table 1 Canonical correlation analysis of curing environment with tobacco color during curing process

变量 Variable	典型相关变量 1 Canonical correlation 1		典型相关变量 2 Canonical correlation 2		典型相关变量 3 Canonical correlation 3		典型相关变量 4 Canonical correlation 4		典型相关变量 5 Canonical correlation 5		典型相关变量 6 Canonical correlation 6	
	λ	r	λ	r	λ	r	λ	r	λ	r	λ	r
	λ	r	λ	r	λ	r	λ	r	λ	r	λ	r
x_1	0.983 3	0.812 8	2.473 2	-0.062 1	0.834 8	-0.092 2	-1.442 5	-0.242 4	-0.596 7	0.093 3	1.197 7	0.238 6
x_2	0.042 7	0.674 9	-2.272 3	-0.454 2	0.754 1	0.057 5	0.433 1	-0.222 4	0.460 2	0.156 1	0.419 1	0.600 8
x_3	-0.318 2	0.548 2	0.166 8	-0.187 2	-0.762 3	-0.317 9	0.369 7	-0.266 4	0.239 5	0.131 9	-1.091 1	0.596 9
x_4	-0.104 6	-0.649 9	0.519 6	0.183 3	1.148 4	0.611 6	-0.246 8	0.034 1	0.049 4	0.003 5	-0.431 7	-0.443 8
x_5	0.361 1	0.049 9	0.921 3	0.021 2	0.598 9	0.091 5	-0.415 3	0.074 2	-0.311 8	-0.155 2	0.547 3	0.352 1
x_6	0.358 6	0.716 7	-0.397 4	0.071 1	-0.068 6	0.060 8	0.714 4	0.318 5	0.083 8	-0.086 2	-1.448 5	-0.879 8
y_1	0.352 3	0.923 8	-0.829 6	-0.148 4	0.202 1	0.311 2	-1.624 1	0.003 1	0.131 2	-0.007 5	1.216 9	-0.018 3
y_2	0.363 2	0.533 3	-0.101 2	0.740 4	-1.448 4	-0.347 9	0.675 8	-0.108 2	1.264 0	-0.080 2	-2.816 4	-0.075 3
y_3	-0.512 1	-0.011 1	1.159 9	0.952 2	1.796 5	-0.135 6	-1.202 4	-0.226 4	0.191 7	-0.093 9	0.982 5	-0.016 2
y_4	-0.045 5	0.814 6	0.583 4	-0.022 2	0.484 4	0.387 4	1.643 5	0.247 9	-0.522 8	-0.044 2	-0.690 1	-0.257 0
y_5	0.010 4	0.111 3	-0.042 2	0.933 5	0.010 9	-0.202 7	0.266 6	-0.214 8	-0.789 6	-0.098 6	0.209 4	-0.018 8
y_6	0.131 9	0.748 5	0.613 5	-0.464 3	0.896 1	0.436 8	0.248 7	0.007 9	-0.102 1	0.051 3	0.397 4	0.020 4
y_7	0.389 1	0.614 9	0.189 7	0.661 9	-0.435 9	-0.373 1	0.044 1	-0.146 7	-0.942 7	-0.111 9	2.415 8	0.069 7
y_8	0.233 4	0.806 9	-0.074 4	0.403 1	-0.129 4	0.225 7	0.034 9	-0.140 3	0.829 9	-0.002 5	-0.639 8	-0.167 9
y_9	-0.014 8	0.786 7	-0.194 7	-0.424 2	-0.121 2	0.317 9	-0.621 3	0.056 9	-0.337 9	0.065 8	-0.415 3	-0.118 4
y_{10}	-0.043 1	0.105 4	-0.036 8	0.936 3	0.083 3	-0.197 9	-0.121 3	-0.214 5	-0.416 1	-0.098 8	-0.316 3	-0.019 6
r'	0.969 7 **		0.950 1 **		0.895 2 **		0.695 1		0.475 2		0.244 7	
P	0.000 1		0.000 1		0.000 1		0.060 1		0.073 1		0.571 1	

注: λ 表示典型相关变量与各指标回归方程的系数, r 表示典型相关变量与各指标的相关系数, r' 表示典型相关变量与各指标回归方程的决定系数, P 表示假设检验结果,** 表示 $P<0.01$ 。表 2 同。

Note: λ is the coefficient of canonical correlation variables and lambda representation of each index of the regression equation; r is the correlation coefficient of canonical correlation variables and each index; r' is the decision variables and the canonical correlation coefficient index regression equation; P is the results of hypothesis testing;** , $P<0.01$. The same in Table 2.

2.2 烘烤过程中烟叶形态特征的变化

2.2.1 烟叶纹理特征值的变化 纹理特征值中纹理能量反映了图像灰度分布的均匀程度和纹理粗细度,能量值越大表明均匀性和规则变化越好。由图 2-A 可知,烘烤过程中烟叶纹理能量不断减小,表明

$u_3=0.834\ 8x_1+0.754\ 1x_2-0.762\ 3x_3+1.148\ 4x_4+0.598\ 9x_5-0.068\ 6x_6, v_3=0.202\ 1y_1-1.448\ 4y_2+1.796\ 5y_3+0.484\ 4y_4+0.010\ 9y_5+0.896\ 1y_6-0.435\ 9y_7-0.129\ 4y_8-0.121\ 2y_9+0.083\ 3y_{10}$ 。在典型相关变量 3 中, u_3 与烘烤环境质量中的相对湿度(x_4)相关系数最大,为 $0.611\ 6$,因此 u_3 可以理解为主要描述烤房相对湿度的综合指标,且随着相对湿度降低而增加; v_3 与正面 $a^*(y_2)$ 、正面 $C^*(y_4)$ 、背面 $L^*(y_6)$ 和背面 $a^*(y_7)$ 有较高相关度,由于 u_1 与正面 $C^*(y_4)$ 、背面 $L^*(y_6)$ 有较高的相关度,因此 v_3 主要描述了烟叶颜色红度值(a^*)的变化。由于 v_3 与 u_3 极显著相关,因此相对湿度(x_4)对烟叶颜色红度值(a^*)的变化影响较大,在一定范围内随着相对湿度的降低烟叶红度值不断增加。

烟叶的粗糙程度逐渐增加,在 $42\ ^\circ\text{C}$ 之后发生突变,由于烟叶在变黄阶段叶片表面相对光滑,纹理较细,而定色后期至干筋期烟叶皱缩粗糙,使得前期纹理能量比后期大。熵是图像所具有信息量的度量,表示图像中纹理的非均匀程度或复杂程度。由图 2-B

可知,烘烤过程中烟叶收缩、卷曲程度不断增加,使得熵值不断增加。惯性矩反映了图像灰度复杂度,其值越大,表明图像沟纹越明显。由图 2-C 可知,纹理惯性在 54 ℃达到最大,之后基本保持不变。纹理相关度反映了图像纹理的一致性,值越大一致性越

好。由图 2-D 可知,相关度在 42~46 ℃变化幅度最大,这是由于 42 ℃之后叶片失水速率变大,烟叶表面局部收缩明显。以上不同纹理特征值分析结果能较客观地反映烘烤过程中烟叶失水收缩的状态。

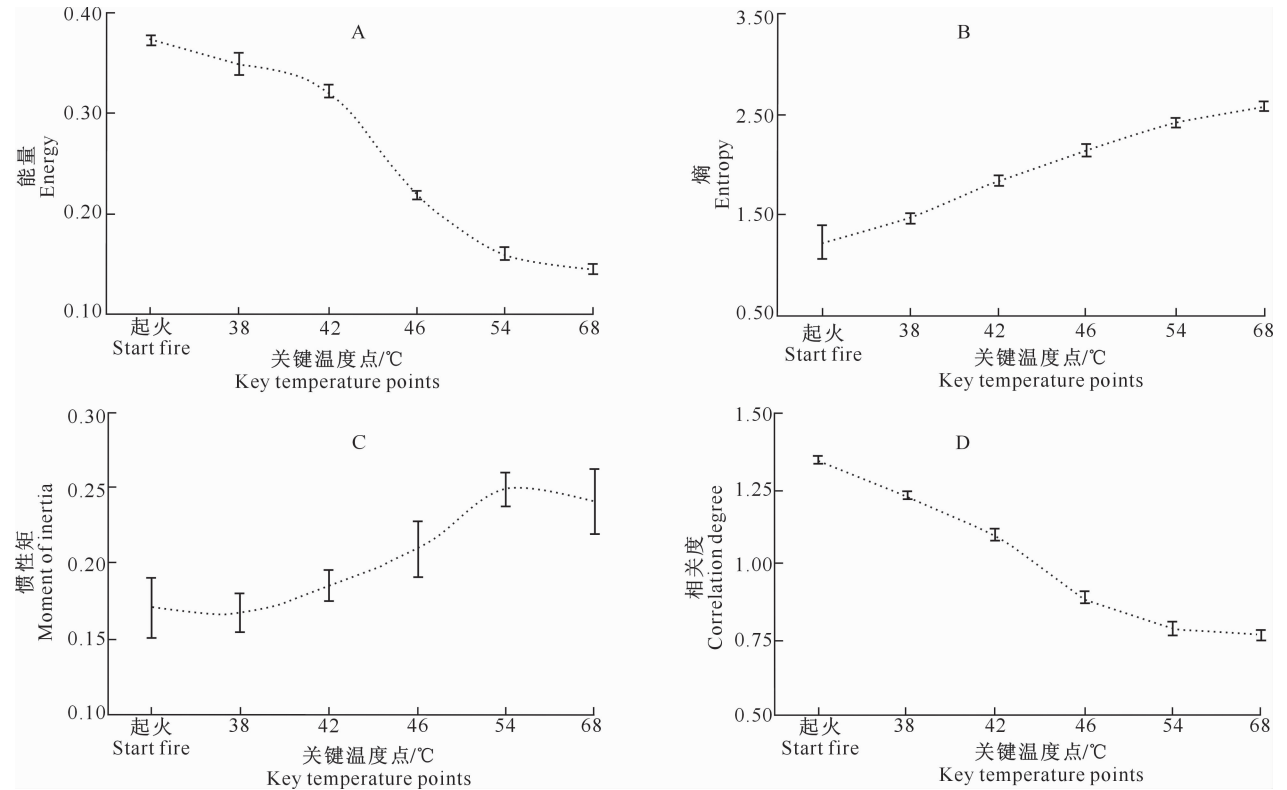


图 2 烘烤过程中烟叶形态特征的变化
Fig. 2 Change of tobacco textures during curing process

2.2.2 烘烤环境与烟叶纹理特征值的典型相关分析 由表 2 可知,烘烤环境与烟叶形态纹理特征值的典型相关分析中前 2 组典型相关变量达到极显著

相关,相关系数分别为 0.982 8 和 0.514 4,由此对前 2 组进行重点分析。

表 2 烘烤过程中烘烤环境与烟叶形态的典型相关分析

Table 2 Canonical correlation analysis of curing environment with tobacco textures during curing process								
变量 Variable	典型相关变量 1 Canonical correlation 1		典型相关变量 2 Canonical correlation 2		典型相关变量 3 Canonical correlation 3		典型相关变量 4 Canonical correlation 4	
	λ	r	λ	r	λ	r	λ	r
x_1	-1.164 0	-0.947 6	-4.343 9	-0.015 3	1.231 5	0.036 0	-2.349 2	-0.033 0
x_2	0.147 6	-0.805 9	4.389 0	0.032 6	-1.321 6	0.087 9	-1.087 5	-0.061 8
x_3	0.066 4	-0.742 4	0.944 3	0.035 6	1.398 3	0.135 1	1.104 8	-0.049 5
x_4	-0.037 6	0.910 8	1.768 3	0.046 0	0.415 5	0.022 5	-2.850 0	0.001 3
x_5	0.036 0	-0.311 7	0.851 4	-0.087 2	-1.019 1	-0.094 1	-1.029 4	-0.127 0
x_6	-0.185 4	-0.503 9	2.427 3	0.108 7	-0.881 1	-0.130 4	0.014 8	0.115 5
z_1	-0.477 9	-0.963 3	2.713 4	0.093 0	-0.473 0	-0.026 5	-0.208 1	-0.004 0
z_2	-0.138 1	-0.897 1	-0.760 7	-0.068 7	-0.490 3	-0.004 6	1.985 3	0.084 4
z_3	0.019 6	-0.388 6	-0.369 2	-0.122 7	-1.066 6	-0.278 6	-0.119 4	-0.070 7
z_4	0.423 3	0.959 5	1.863 6	0.088 3	-1.365 3	-0.018 5	1.599 1	0.026 3
r'	0.982 8**		0.514 4**		0.337 2		0.231 9	
P	0.000 1		0.001 8		0.195 0		0.305 5	

第 1 组达到极显著水平的典型相关变量为 $u_1 = -1.164\,0x_1 + 0.147\,6x_2 + 0.066\,4x_3 - 0.037\,6x_4 +$

$0.036\ 0x_5 - 0.185\ 4x_6, v_1 = -0.477\ 9z_1 - 0.138\ 1z_2 + 0.019\ 6z_3 + 0.423\ 3z_4$ 。在典型相关变量 1 中, u_1 与温度(x_1)和相对湿度(x_4)相关程度较高, 因此 u_1 可以表述为温度和相对湿度的综合指标; v_1 与纹理能量值(z_1)、纹理熵(z_2)和纹理相关度(z_4)有高度的相关关系, 因此 v_1 为主要描述纹理能量值、纹理熵和纹理相关度的综合指标。由于 v_1 与 u_1 极显著相关, 因此温度(x_1)和相对湿度(x_4)对纹理能量值、纹理熵和纹理相关度等影响较大, 在一定范围内随着温度的升高和相对湿度的降低, 烟叶纹理能量值与纹理熵不断增加, 而纹理相关度逐渐减小。

第 2 组达到极显著水平的典型相关变量为 $u_2 = -4.343\ 9x_1 + 4.389\ 0x_2 + 0.944\ 3x_3 + 1.768\ 3x_4 + 0.851\ 4x_5 + 2.427\ 3x_6, v_2 = 2.713\ 4z_1 - 0.760\ 7z_2 - 0.369\ 2z_3 + 1.863\ 6z_4$ 。在典型相关变量 2 中, u_2 与风压(x_6)相关系数较大, 因此 u_2 可以表述为风压的综合指标; v_2 与纹理惯性矩(z_3)值有高度的相关关系, 因此 v_2 为主要描述纹理惯性矩的综合指标。由于 v_2 与 u_2 极显著相关, 因此叶间隙风压对纹理惯性矩等影响较大, 在一定范围内随着风压的增加纹理惯性矩不断增加。

3 讨 论

颜色是烟叶素质、变黄程度以及外观品质的一项重要判断依据^[19-23]。本研究结果表明, 烘烤过程中烟叶颜色的各特征值均呈上升趋势, 其中烟叶的红度值、黄度值和饱和度均表现为正面色度值大于背面色度值, 各颜色特征值在 38~46 °C 变化幅度较大, 这与烘烤过程中烟叶外观颜色的变化及贺帆等^[21-22]、霍开玲等^[13]的研究结果是一致的。本研究结果表明, 烤房温度对烟叶明度值、饱和度和背面黄度有较大影响, 而叶温对烟叶颜色的色相角和正面黄度值有较大影响。路晓崇等^[24]研究表明, 温度在变黄期对烟叶叶温的变化有较大影响, 因此在烘烤过程中需要适当提高温度促进烟叶变黄, 以提高烟叶色泽; 相对湿度对烟叶颜色红度值(a^*)的变化影响较大, 在保障烟叶正常变黄的前提下, 需要适当增加相对湿度, 促进胡萝卜素等色素的降解^[25], 进而提高橘色烟的比例^[26]。

烘烤过程中每个烘烤阶段均有对烟叶颜色与状态的严格要求^[27-29], 尤其是烟叶状态, 一些特殊烟叶在烘烤过程中易出现变黄快、不易失水的现象^[1], 一旦处理不当导致烟叶发生褐变, 就会造成严重损失。本研究结果表明, 烘烤过程中烟叶惯性矩与纹理熵

不断增加, 而纹理能量、相关度不断减小, 这与段史江等^[18]的研究结果是一致的。而纹理熵作为烟叶卷曲收缩的重要表征, 受烤房温度与相对湿度的影响较大, 烘烤过程中在烘烤变黄阶段后期需适当提高温度、降低相对湿度, 以减小纹理熵, 促进烟叶收缩, 降低定色期排湿压力^[1]。纹理能量和相关度反映了烟叶局部收缩变化的均匀性, 在烘烤定色期可以适当提高温度、降低湿度, 保障烟叶局部收缩一致, 防止光滑烟的产生^[30]。纹理惯性矩主要是叶脉与叶片均匀程度的表征, 在烘烤过程中, 定色后期需适当控制风压^[1], 减少叶片与叶脉尤其是支脉之间的明暗界线, 增加叶片的均匀一致性。

4 结 论

本研究结果表明, 烘烤环境指标对烟叶颜色与形态纹理的变化指标有着对应的影响, 温度主要对烟叶颜色的明度、饱和度、色相角、黄度值及烟叶纹理的能量、相关度、熵有较大的影响; 叶温对烟叶颜色的色相角和正面黄度有较大影响; 相对湿度对烟叶颜色的红度及烟叶纹理的能量、相关度、熵有较大影响, 风压对烟叶纹理惯性矩有较大影响, 其他环境指标对烟叶颜色与形态变化的影响较小, 烘烤过程中可以依据本研究结果和烟叶特色, 适当调控烟叶颜色和形态的变化, 进一步推进烟叶精准化烘烤的实现。

[参考文献]

- [1] 宫长荣, 杨焕文, 艾复清, 等. 烟草调制学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
Gong C R, Yang H W, Ai F Q, et al. Tobacco flue-curing [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2003.
- [2] 路晓崇, 黄元炯, 宋朝鹏, 等. 基于模糊 DEMATEL 的烤烟烘烤影响因素分析 [J]. 烟草科技, 2015(9): 21-26.
Lu X C, Huang Y J, Song C P, et al. Analysis of factors influencing curing of flue-cured tobacco with fuzzy DEMATEL method [J]. Tobacco Science & Technology, 2015(9): 21-26.
- [3] 张 浩, 孟永成, 周展明, 等. 基于图像处理技术大米加工精度的检测研究 [J]. 中国粮油学报, 2006, 21(4): 135-137.
Zhang H, Meng Y C, Zhou Z M, et al. Analyzing rice milling degree based on digital image technology [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2006, 21(4): 135-137.
- [4] 吴海娟, 彭增起, 沈明霞, 等. 机器视觉技术在牛肉大理石花纹识别中的应用 [J]. 食品科学, 2011, 32(3): 10-13.
Wu H J, Peng Z Q, Shen M X, et al. Application of machine vision technology in beef marbling recognition [J]. Food Science, 2011, 32(3): 10-13.
- [5] 张 勇, 董吉文, 陈月辉. 基于视觉的复杂工业生产过程智能控

- 制系统[J]. 控制工程, 2015, 11(3): 203-205.
- Zhang Y, Dong J W, Chen Y H. Vision-based intelligent control system approach to complex industrial processes [J]. Control Engineering of China, 2015, 11(3): 203-205.
- [6] 刘朝营, 许自成, 闫铁军. 机器视觉技术在烟草行业的应用状况[J]. 中国农业科技导报, 2012, 13(4): 79-84.
- Liu C Y, Xu Z C, Yan T J. Application status of machine vision technology in tobacco industry [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2012, 13(4): 79-84.
- [7] 周文, 李锐. 计算机图像处理技术在烤烟烟叶形状特征提取中的应用[J]. 烟草科技, 2005(1): 12-13, 42.
- Zhou W, Li R. Application of computer image processing technology in drawing leaf shape character of flue-cured tobacco [J]. Tobacco Science & Technology, 2005(1): 12-13, 42.
- [8] 张惠民, 韩力群, 段正刚, 等. 基于图像特征的烟叶分级[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2003, 28(3): 359-362.
- Zhang H M, Han L Q, Duan Z G, et al. Tobacco grading based on image features [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2003, 28(3): 359-362.
- [9] 刘华波, 贺立源, 马文杰, 等. 基于反射与透射图像结合的烟叶自动分级研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2009, 17(3): 343-350.
- Liu H B, He L Y, Ma W J, et al. Grading tobacco leaves based on a combination of reflectance and transmittance images [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2009, 17(3): 343-350.
- [10] 向金海, 杨申, 樊恒, 等. 基于稀疏表示的烤烟烟叶品质分级研究[J]. 农业机械学报, 2013, 44(11): 287-292.
- Xiang J H, Yang S, Fan H, et al. Grading for tobacco leaf quality based on sparse representation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(11): 287-292.
- [11] 谭旭, 唐云岚, 陈英武. 基于粗糙集的烤烟烟叶智能分级方法[J]. 农业机械学报, 2009, 40(6): 169-174.
- Tan X, Tang Y L, Chen Y W. Grading for tobacco leaf quality based on sparse representation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(6): 169-174.
- [12] 董浩, 荆熠, 王锦平, 等. 基于机器视觉技术的烟用包装膜磨损程度测定方法[J]. 烟草科技, 2012(7): 9-12.
- Dong H, Jing Y, Wang J P, et al. Method for determining abrasive wear of cigarette packing film based on machine vision technology [J]. Tobacco Science & Technology, 2012(7): 9-12.
- [13] 霍开玲, 宋朝鹏, 武圣江, 等. 不同成熟度烟叶烘烤中颜色值和色素含量的变化[J]. 中国农业科学, 2011, 44(10): 2013-2021.
- Huo K L, Song C P, Wu S J, et al. Study on changes of color parameters and pigment contents in flue-cured tobacco leaves with different maturities during bulk-curing process [J]. Scientia Agriculture Sinica, 2011, 44(10): 2013-2021.
- [14] 韩力群, 何为, 苏维均, 等. 基于拟脑智能系统的烤烟烟叶分级研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 137-140.
- Han L Q, He W, Su W J, et al. Grading flue-cured tobacco leaf based on artificial brain intelligent system [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(7): 137-140.
- [15] 王建玺, 徐向艺. 基于图像处理和模糊识别技术的烟叶病害识别研究[J]. 现代电子技术, 2015(8): 4-7.
- Wang J X, Xu X Y. Research on tobacco disease auto-recognition based on image processing and fuzzy recognition technology [J]. Modern Electronics Technique, 2015(8): 4-7.
- [16] 刘剑君, 杨铁钊, 朱宝川, 等. 基于数字图像数据的烤烟成熟度指数研究[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(3): 61-66.
- Liu J J, Yang T Z, Zhu B C, et al. Study on maturity index of flue-cured tobacco leaves based on digital image processing technique [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2013, 19(3): 61-66.
- [17] 赵维一, 温若愚, 曾建, 等. 基于线阵 CCD 数字图像处理技术的叶丝宽度测量装置[J]. 烟草科技, 2013(10): 12-16.
- Zhao W Y, Wen R Y, Zeng J, et al. Tobacco shred width measuring device based on digital image processing technology of linear array CCD [J]. Tobacco Science & Technology, 2013(10): 12-16.
- [18] 段史江, 宋朝鹏, 马力, 等. 基于图像处理的烘烤过程中烟叶含水量检测[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(5): 74-80.
- Duan S J, Song C P, Ma L, et al. Prediction of tobacco leaf's water contents during bulk curing process based on image processing technique [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2012, 40(5): 74-80.
- [19] 赵会纳, 雷波, 丁福章, 等. 干燥方式对烟叶样品干物质质量、颜色和化学成分的影响[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(4): 28-32.
- Zhao H N, Lei B, Ding F Z, et al. Effects of drying means on dry matter, color and chemical composition of flue-cured tobacco leaves [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2014, 20(4): 28-32.
- [20] 张丽英, 鲜兴明, 杨杰, 等. 烘烤过程中烟叶颜色特征参数与色素含量的关系[J]. 烟草科技, 2013(8): 85-90.
- Zhang L Y, Xian X M, Yang J, et al. Relationship between pigment concentration and color attributive parameters of tobacco leaves during flue-curing [J]. Tobacco Science & Technology, 2013(8): 85-90.
- [21] 贺帆, 王涛, 王梅, 等. 烘烤过程中烟叶颜色变化与主要化学成分的关系[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(6): 97-102.
- He F, Wang T, Wang M, et al. Relationship between color changes and chemical components of flue-cured tobacco leaves during curing [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2014, 20(6): 97-102.
- [22] 贺帆, 王涛, 武圣江, 等. 密集烘烤烤烟不同品种烟叶质地和颜色变化[J]. 核农学报, 2014, 28(9): 1647-1655.
- He F, Wang T, Wu S J, et al. Study on the change of texture and color of different flue-cured tobacco varieties during the bulk-curing [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2014, 28(9): 1647-1655.

[23] 刘百战, 洗可法. 不同部位、成熟度及颜色的云南烤烟中某些中性香味成分的分析研究 [J]. 中国烟草学报, 1993, 1(3): 46-53.
Liu B Z, Xian K F. Study on the neutral flavour constituents of different stalk position, maturity and colour of Yunnan flue-cured tobacco [J]. Acta Tabacaria Sinica, 1993, 1(3): 46-53.

[24] 路晓崇, 宋朝鹏, 娄元菲, 等. 烤烟散叶插签烘烤过程中叶温的变化 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(3): 118-123.
Lu X C, Song C P, Lou Y F, et al. Changes of the flue-cured tobacco leaf temperature during the loose-leaf bulk curing with leaf-holding needle [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2014, 42(3): 118-123.

[25] 张军刚, 王永利, 吕国新. 烤烟成熟过程中鲜烟颜色值与色素含量变化及相关分析 [J]. 中国烟草科学, 2014, 35(1): 54-60.
Zhang J G, Wang Y L, Lü G X. Changes of color parameters and pigment contents in flue-cured tobacco leaves during maturing process and their correlational relationship [J]. Chinese Tobacco Science, 2014, 35(1): 54-60.

[26] 魏春阳, 李 锋, 祁 萌, 等. 基于分光光谱仪测量的不同产区烤烟表面颜色分析 [J]. 烟草科技, 2011(4): 67-73.
Wei C Y, Li F, Qi M, et al. Analysis of surface color of flue-cured tobacco from different growing areas by spectroradiometer measurements [J]. Tobacco Science & Technology, 2011(4): 67-73.

[27] 武圣江, 谢已书, 潘文杰, 等. 不同湿度条件下不同成熟度烤烟散叶密集烘烤生理变化研究 [J]. 云南农业大学学报, 2012, 27(5): 733-739.
Wu S J, Xie Y S, Pan W J, et al. Effect of humidity on the physiology changes of the different maturity flue-cured tobacco leaves during loose leaves bulk curing [J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2012, 27(5): 733-739.

[28] 张清明, 叶建如, 靖军领, 等. 翠碧 1 号烟叶烘烤过程中色素降解及化学成分变化 [J]. 中国烟草科学, 2014, 35(2): 122-125.
Zhang Q M, Ye J R, Jing J L, et al. Pigment degradation and chemical component change during curing of flue-cured tobacco Cuibi 1 [J]. Chinese Tobacco Science, 2014, 35(2): 122-125.

[29] Lu Y G, Wang B J, Cui G M, et al. Effects of different baking processes on carotenoid content in upper leaves of flue-cured tobacco [J]. Agricultural Science & Technology, 2014(9): 1538-1542, 1549.

[30] 张潇骏, 王万能, 谭兰兰, 等. 不同烘烤工艺对烟叶淀粉含量及淀粉酶活性的影响 [J]. 烟草科技, 2015(5): 57-60, 79.
Zhang X J, Wang W N, Tan L L, et al. Effects of curing means on starch content and amylase activity in flue-cured tobacco [J]. Tobacco Science & Technology, 2015(5): 57-60, 79.

(上接第 70 页)

[15] 王成章, 田 玮, 杨雨鑫, 等. 国内外 10 种紫花苜蓿引种试验研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(3): 28-32.
Wang C Z, Tian W, Yang Y X, et al. Introducing research on ten alfalfa varieties home and abroad [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed.), 2004, 32(3): 28-32.

[16] 孙建华, 王彦荣, 余 玲, 等. 紫花苜蓿生长特性及产量性状相关性研究 [J]. 草地学报, 2004, 13(4): 80-86.
Sun J H, Wang Y R, Yu L, et al. Growth characteristics and their correlation with the yield of *Medicago sativa* [J]. Journal of Grassland, 2004, 13(4): 80-86.

[17] 王 赞, 李 源, 孙桂枝, 等. 国内外 16 个紫花苜蓿品种生产性能比较研究 [J]. 畜牧兽医科学, 2008, 12(24): 4-10.
Wang Z, Li Y, Sun G Z, et al. Comparative study on production performance of 16 introduced alfalfa varieties [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 12(24): 4-10.

[18] 程积民, 万惠娥, 王 静, 等. 黄土丘陵区紫花苜蓿生长与土壤水分变化 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(3): 435-438.
Cheng J M, Wan H E, Wang J, et al. Alfalfa growth and its relation with soil water status in loess hilly and gully region [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(3): 435-438.