

基于 CIE 色度空间的烟叶烘烤过程中 色素含量预测研究

李 艳¹, 李 峥^{2*}, 张永辉³, 赵锦超³, 张建鹿⁴, 谢 强³, 周 林³

(1. 湖北中烟工业有限责任公司, 湖北 武汉 430048; 2. 河南农业大学 烟草学院, 河南 郑州 450002;
3. 四川省烟草公司 泸州市公司, 四川 泸州 646600; 4. 河南省周口市烟草公司 鹿邑县分公司, 河南 鹿邑 477200)

摘要: 为了解烟叶烘烤过程中颜色与色素变化的关系, 采用色差仪量化研究烤烟品种 K326 上部叶颜色变化。结果表明: 1) 烟叶颜色变化主要发生在烘烤前期, 叶片正面和背面颜色参数变化规律基本一致, 但叶片正面颜色变化略快于背面; 2) 色素降解主要发生在 38℃ 末之前, 叶绿素的降解快于类胡萝卜素; 3) 各颜色参数与叶绿素、类胡萝卜素之间具有较强的相关性, 且回归方程均表现出较高的拟合度。因此, 烘烤过程中可通过烟叶的颜色参数来快速、精准地预测其色素含量, 以提升烘烤作业的精准性。

关键词: 烟叶烘烤; 颜色参数; 色素; 预测模型

中图分类号: S572 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674 - 5639 (2019) 03 - 0020 - 06

DOI: 10. 14091/j. cnki. kmxyxb. 2019. 03. 004

Predictive Study of Pigment Content during Tobacco Curing Based on CIE Chromaticity Space

LI Yan¹, LI Zheng^{2*}, ZHANG Yonghui³, ZHAO Jinchao³, ZHANG Jianlu⁴, XIE Qiang³, ZHOU Lin³

(1. Hubei Tobacco Industry Co., Ltd., Wuhan, Hubei, China 430048;
2. College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan, China 450002;
3. Luzhou Branch of Sichuan Tobacco Company, Luzhou, Sichuan, China 646600;
4. Luyi Branch of Zhoukou Tobacco Company, Luyi, Henan, China 477200)

Abstract: In order to understand the relationship between color and pigment changes during tobacco curing process, the color change of upper leaves of K326 was quantified by color difference meter. The results showed that: (1) The color change of tobacco leaves mainly occurred at the early stage of flue-curing. The color parameters of the positive and negative sides of the leaf are basically the same, but the frontal color changes slightly faster than that on the back. (2) The degradation of pigments occurs mainly at the maximum 38℃, and the degradation of chlorophyll is faster than that of carotenoids. (3) Chlorophyll and carotenoids were highly correlated with each color parameter and the regression equation shows high fitting degree. So in the flue-curing process, the pigment content can be predicted quickly and accurately by color parameters in order to improve the accuracy of flue-curing.

Key words: tobacco flue-curing; color parameters; pigment; prediction model

叶片表面所呈现的颜色作为采收成熟度^[1]、烘烤参数调整^[2]、烤后烟叶分级评价^[3-4]的主要判断指标之一, 与整个烟叶生产过程密切相关。尤其是在烘烤过程中, 烟叶外观颜色变化最为直观明

显^[5]。特别是高品质的烤后烟, 主要是基于烘烤操作人员对烤中烟叶颜色变化的精准判断和调控。然而烟叶表面呈现的颜色实质是色素类物质的综合体现^[4,6], 烘烤过程中烟叶表面颜色发生变化主要

收稿日期: 2018 - 05 - 22

基金项目: 四川省烟草公司泸州市公司资助项目“基于精益理念的泸州烟叶烘烤模式研究与应用”(2018-510500-2-4-027)。

作者简介: 李艳 (1970—), 女, 湖北武汉人, 烟叶分级技师, 主要从事烟叶评级研究。

* 通讯作者: 李峥 (1994—), 男, 河南周口人, 硕士研究生, 主要从事烟草调制研究, E-mail: 784016616@qq. com.

是其叶绿素和类胡萝卜素含量的比例发生了一定变化所致, 因此烟叶表面颜色的变化与色素含量密切相关. 随着现代仪器的不断高科技化, 关于颜色的研究已突破了传统模糊的概念, 如 CIE 色度系统的应用, 该系统是国际照明委员会使用红、绿、蓝作为 3 种基色, 而所有其他颜色都可从这 3 种颜色中导出, 应用该系统可较好地实现对物体表面颜色的量化分析, 现已被广泛应用于农产品加工或贮藏过程中颜色变化的相关研究^[7-9]. 目前, 在烟草方面也有不少学者对此进行了相关研究, 并取得一定的研究进展. 李青山等^[10]对烤烟成熟过程中叶片正面和背面颜色参数与色素含量的关系研究表明, 不同部位烟叶正面各颜色特征值与叶绿素和类胡萝卜素均呈显著或极显著相关, 且较叶背具有更强的相关性; 霍开玲等^[11]对不同成熟度采收烟叶烘烤过程中表面颜色参数与色素含量变化关系研究显示, 尚熟与适熟烟叶的亮度值 L^* 、红度值 a^* 值与类胡萝卜素含量相关性较高; 王涛等^[12]以烤烟品种中烟 100 为试验材料, 研究烘烤过程中不同部位烟叶颜色特征值与色素类物质的关系表明, 中、下部叶两种参数的相关性较好, 上部叶的红度值 a^* 、色相角 H° 值与色素含量呈极显著相关.

为探究 K326 上部叶在烘烤过程中表面颜色参数与色素类物质含量之间的变化关系, 本试验采用色差仪完成烘烤过程中对烟叶表面亮度值 L^* 、红度值 a^* 、黄度值 b^* 的快速、无损检测, 并以此为基础计算出色泽比、饱和度、色相角、总色差等参数, 然后通过与色素含量的相关性分析和逐步回归分析, 实现对烟叶烘烤过程中各颜色参数与色素含量的量化研究, 旨在为烟叶烘烤品质的动态形成, 以及烘烤工艺的优化改进提供一定的理论参考.

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2017 年 6 月—7 月在湖南省桂阳县正和烟草工作站进行. 试验田土壤类型为水稻土, 土壤 pH6.34, 有机质含量 32.27 g/kg, 碱解氮含量 122.04 mg/kg, 氯离子含量 17.6 mg/kg, 速效磷和速效钾含量分别为 6.70 mg/kg 和 94.35 mg/kg. 试验田种植的烤烟品种为 K326, 2017 年 3 月 16 日移栽, 株行距为 50 cm × 110 cm, 单株留叶数 18 片. 当中下部叶采收结束, 且上部叶充分成熟时, 选取

第 14~16 叶位烟叶采收、编烟和装炕. 田间管理参照当地优质烤烟栽培技术规范进行.

1.2 试验样品制备

采用电热式温湿度自控密集烤烟箱 (郑州智联自动化设备有限公司) 进行烘烤, 每箱装烟 10 夹, 每夹烟 3~4 kg, 按 3 段式烘烤工艺^[13]相关标准设置烤箱温湿度、稳温时长等参数. 烘烤过程中分别于烤前 30℃、38℃ 末、42℃ 末、45℃ 末、48℃ 末、54℃ 末、62℃ 末和烤后 68℃ 末共 8 个关键温度点, 选取外观、色泽具有代表性的完整烟叶 6 片, 用于颜色参数的检测和色素含量的测量.

1.3 测定项目及方法

1.3.1 烟叶颜色参数

烟叶颜色参数测定采用 HP-C210 精密色差仪 (深圳汉谱光彩科技有限公司). 为确保全面、准确地获取叶片表面颜色参数, 将烟叶分为上段 (第 2~3 支脉)、中段 (第 5~6 支脉) 和下段 (第 8~9 支脉) 3 个区域 (见图 1), 6 个位点距离主脉均为 2 cm. 分别测量叶片正面和背面的颜色参数, 以其算数平均值作为烟叶颜色值进行统计分析, 并以测量得到的亮度值 L^* 、红度值 a^* 、黄度值 b^* 为基础计算色泽比 h 、色相角 H° 、饱和度 C 和总色差 ΔE . 计算公式如下:

$$\begin{aligned} h &= a^*/b^*; \\ H^\circ &= \arctan(b^*/a^*); \\ C &= [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}; \\ \Delta E &= [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}. \end{aligned}$$

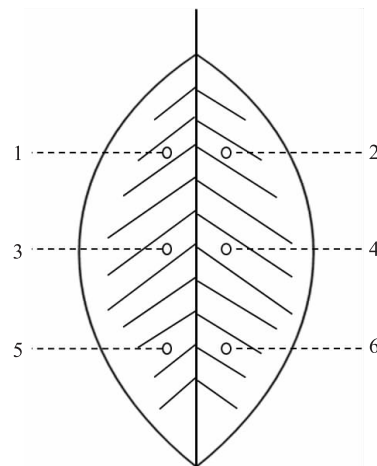


图1 烟叶颜色参数检测位点

1.3.2 烟叶色素含量

采用丙酮法测定烟叶色素含量^[14], 其中检测

指标包括叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素.

1.4 数据处理

分别采用 SPSS 19.0 和 Microsoft Excel 2013 软件对获取的颜色参数、色素含量等数据进行统计分析和作图.

2 结果与分析

2.1 烟叶烘烤过程中颜色参数变化

图 2 为 K326 品种上部叶烘烤过程中烟叶正面和背面各项颜色参数变化情况.

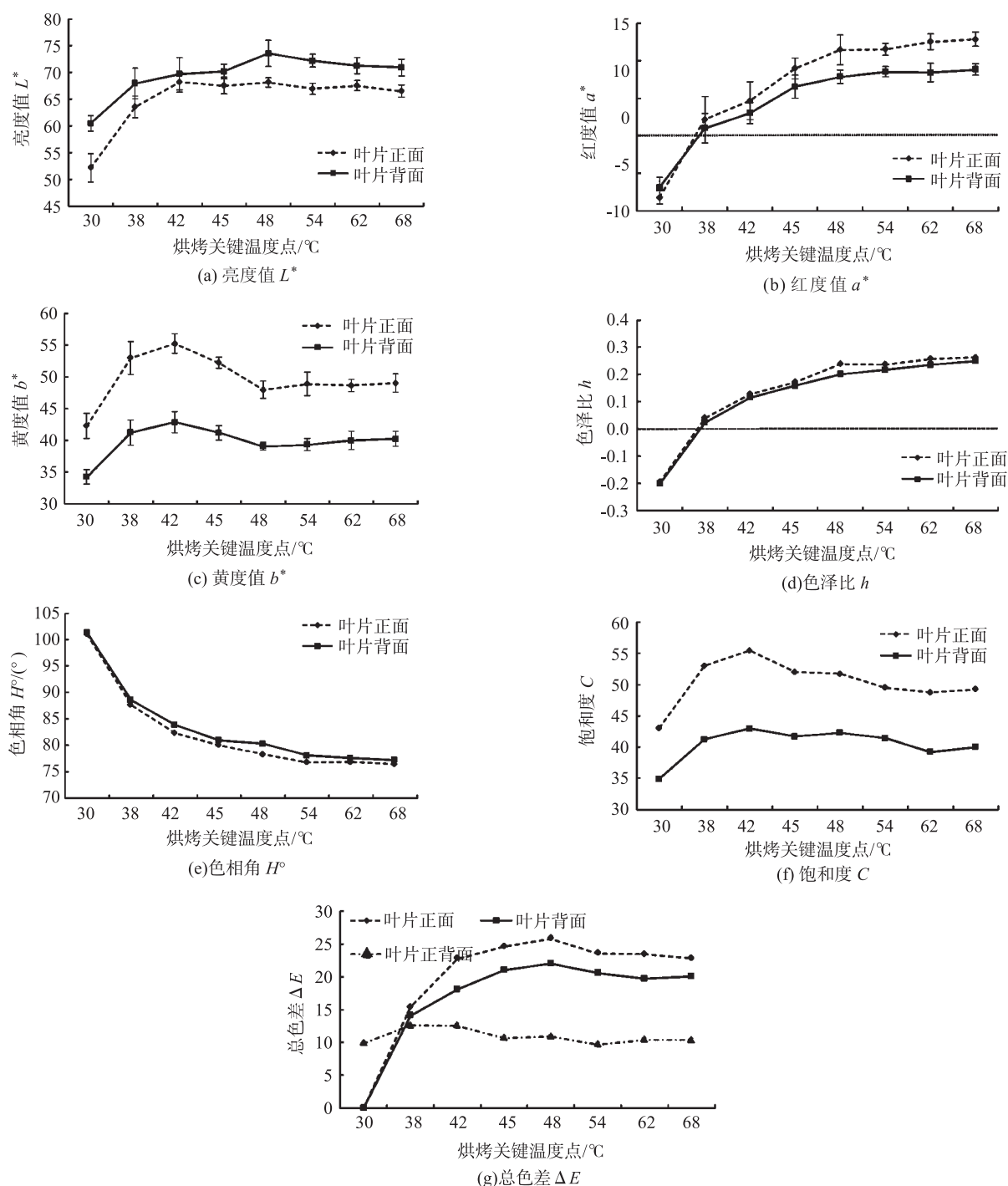


图2 烘烤过程中烟叶表面各项颜色参数变化

由图 2 (a) 可知, 随着烘烤的进行, 烟叶正面和背面的亮度值 L^* 均表现为先快速升高, 后略

有降低的变化趋势, 且叶片背面亮度始终高于叶片正面, 其中叶片正面 L^* 值在 42°C 末之前快速上升

并达到最大值, 叶片背面 L^* 值在 48°C 最高。

从图 2 (b) 可以看出, 叶片正面和背面的红度值 a^* 在烘烤过程中均大致表现为先快速后缓慢的增长趋势, 但不同烘烤阶段叶片正背面 a^* 值的变化存在差异。 38°C 之前叶片正面和背面的 a^* 值增长幅度最为显著, 38°C 之后其数值均为正值, 且叶片正面的 a^* 均大于叶片背面。 48°C 之后叶片正面和背面的 a^* 增长缓慢, 变化趋势逐渐趋于稳定。

图 2 (c) 反映了烟叶烘烤过程中叶片正面和背面黄度值 b^* 的变化, 其数值越大表明烟叶颜色所呈现的黄色愈浓。 图 2 (c) 中叶片正面和背面 b^* 值的变化趋势基本一致, 随着烘烤过程的进行, 均表现为先快速上升后缓慢降低, 再略有回升的趋势。 但叶片正面的变化速率较叶片背面快, 且增长幅度明显高于背面。 烘烤过程中叶片正背面的 b^* 均在 42°C 时达到最高值, 48°C 时则下降至一个低谷, 然后开始缓慢增长。

色泽比 h 为颜色参数中的重要指标之一, 其负数越小, 表明绿色越浓; 正值越大, 红色愈深^[15]。 从图 2 (d) 可以看出, 烤前鲜烟叶正面和背面的 h 值均为负数, 且烘烤过程中的变化趋势基本一致, 均表现为烘烤前期增长幅度大、变化速率快, 之后增长幅度逐渐减缓, 数值趋于稳定。 整体来看, 叶片正面和背面的 h 值仅在 48°C 出现小幅度差异, 其余阶段差异不明显。

色相角 H° 是表征颜色的基本参数之一, 相关研究中通常采用 $0^\circ \sim 360^\circ$ 的色相环来描述其变化, $0^\circ \sim 90^\circ$ 表示颜色由红至黄的转变, $90^\circ \sim 180^\circ$ 表示由黄向绿的转变, $180^\circ \sim 270^\circ$ 表示绿色向蓝色的转变^[16]。 由图 2 (e) 可知, 开烤前鲜烟叶叶片正面和背面的色相角均在 $100^\circ \sim 105^\circ$, 烘烤开始后均表现为先快速减小, 之后其变化速率和幅度逐渐降低并趋于稳定。 烘烤结束后叶片正面和背面的色相角数值差别不明显, 均在 $75^\circ \sim 80^\circ$ 之间, 表明烘烤过程中烟叶颜色变化为由绿至黄, 并且烘烤后期有向红色转变的趋势, 但整体以黄色为主。 烟叶出现红色的主要原因是干筋期较高的温湿度促使烟叶中类胡萝卜素进一步氧化分解, 以及多酚和氧化芸香苷等物质呈现的红色逐渐显现, 因此在干筋期对于烤房温、湿度合理的调控有助于避免烤红烟的出现。

饱和度 C 是构成色彩的主要元素之一, 代表颜色的纯度。 其数值越小, 表明颜色越黯淡; 数值越

高, 颜色越鲜明。 图 2 (f) 表明, 烘烤过程中叶片正面和背面饱和度的变化趋势基本一致, 42°C 之前快速增长, 之后明显降低, $48 \sim 62^\circ\text{C}$ 表现为略有降低, $62 \sim 68^\circ\text{C}$ 叶片正、背面的饱和度又稍有上升。 整体而言, 叶片正面的饱和度始终高于背面, 且在定色末期之前正面饱和度的变化幅度要高于背面。

总色差 ΔE 被广泛被用来描述农产品在加工或储藏过程中的颜色变化。 当 $\Delta E > 2$ 时视觉就很容易觉察到颜色呈现的变化^[17]。 从图 2 (g) 可以看出, 叶片正面和背面的 ΔE 在 38°C 之前快速上升, $38 \sim 48^\circ\text{C}$ 阶段增长幅度和速率有所降低, 48°C 之后总色差数值稍有减小, 同时变化趋势逐渐稳定, 表明叶片正背面的颜色变化最明显的阶段为变黄期, 定色期之后也可看到较为显著的变化, 干筋期叶片颜色基本没有变化。 烘烤过程中叶片正面和背面之间 ΔE 的变化幅度较小, 在烘烤前期有小幅度上升, 之后缓慢下降并趋于稳定, 反映了叶片正面和背面颜色趋于均衡的过程。

2.2 烟叶烘烤过程中色素含量变化

由图 3 可知, 鲜烟叶色素含量中总叶绿素含量最高, 其次为叶绿素 a 含量, 而类胡萝卜素含量最低。 随着烘烤过程的进展, 烟叶内叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素及类胡萝卜素的含量均不断降低, 其中叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素变化趋势基本一致, 38°C 之前为急剧降低阶段, 之后降低速率迅速减小, 45°C 之后逐渐趋于稳定, 表明烟叶烘烤过程中叶绿素降解阶段主要发生在变黄期; 类胡萝卜素含量在烘烤过程中降低幅度不大, 下降最明显的时期为 38°C 之前, 变黄末期之后其含量趋于稳定; 类叶比 (类胡萝卜素和叶绿素含量比值) 可用于分析色素和颜色的变化。 从图 3 可以看出, 烘烤过程中类叶比呈“慢~快~慢”的 S 型上升趋势, 变化幅度最显著的为 $42 \sim 48^\circ\text{C}$ 阶段。

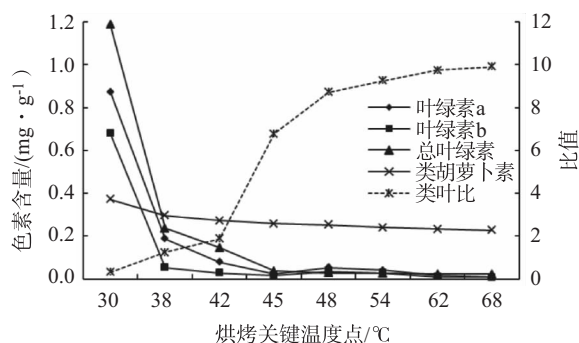


图3 烟叶烘烤过程中色素含量变化

2.3 颜色参数与色素含量相关性分析

对烘烤过程中烟叶表面各项颜色参数与色素含量进行相关性分析(表1)。从表1可以看出:叶片正面和背面的 L^* 值、 a^* 值、 h 值、 ΔE 值与叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素及类胡萝卜素含量均呈极显著负相关;叶片背面 b^* 值分别与叶绿素b和总叶绿素呈显

著负相关关系;叶片背面 C 值与叶绿素a和总叶绿素呈显著负相关关系;各色素含量指标中,类叶比与颜色参数的相关性较弱,但也与叶片正面和背面的 a^* 值、 h 值、 H° 值达到了显著性相关;颜色参数中叶片正面 b^* 值、 C 值以及叶片正背面 ΔE 值与各色素含量指标的相关性均未到达显著水平。

表1 各项颜色参数与色素含量的相关系数

指标	叶绿素 a	叶绿素 b	总叶绿素	类胡萝卜素	类叶比
叶片正面 L^*	-0.958 **	-0.955 **	-0.964 **	-0.893 **	0.295
叶片背面 L^*	-0.916 **	-0.867 **	-0.945 **	-0.920 **	0.421
叶片正面 a^*	-0.897 **	-0.805 **	-0.922 **	-0.984 **	0.659 *
叶片背面 a^*	-0.892 **	-0.802 **	-0.920 **	-0.971 **	0.677 *
叶片正面 b^*	-0.402	-0.527	-0.376	-0.210	0.019
叶片背面 b^*	-0.627	-0.727 *	-0.654 *	-0.436	0.424
叶片正面 C	-0.515	-0.636	-0.490	-0.312	0.201
叶片背面 C	-0.707 *	-0.788 **	-0.702 *	-0.535	0.020
叶片正面 h	-0.901 **	-0.809 **	-0.922 **	-0.986 **	0.735 *
叶片背面 h	-0.911 **	-0.824 **	-0.934 **	-0.986 **	0.686 *
叶片正面 H°	0.934 **	0.853 **	0.952 **	0.998 **	-0.685 *
叶片背面 H°	0.936 **	0.858 **	0.957 **	0.995 **	-0.659 *
叶片正面 ΔE	-0.960 **	-0.923 **	-0.971 **	-0.951 **	0.363
叶片背面 ΔE	-0.960 **	-0.939 **	-0.970 **	-0.926 **	0.308
叶片正背面 ΔE	-0.251	-0.320	-0.236	-0.102	-0.133

注:表中数字后的*表示差异有统计学意义($P<0.05$);数字后的**表示差异有显著统计学意义($P<0.01$)。

2.4 色素含量预测模型构建

为实现基于烘烤调制过程中烟叶表面颜色参数的色素含量预测,下面从定量角度进行分析,以烤中烟叶叶绿素a(y_1)、叶绿素b(y_2)、总叶绿素(y_3)、类胡萝卜素(y_4)、类叶比(y_5)为因变量,以15项颜色参数指标为自变量(参照表1中各颜色参数标注顺序,即 x_1, x_2, \dots, x_{15} 分别代表叶片正面 L^* 值、叶片背面 L^* 值、……、叶片正背面 ΔE),进行逐步回归分析,拟合方程如下:

$$\begin{aligned} y_1 &= -0.398 + 0.090x_1 - 0.016x_2 + 0.019x_4 \\ &\quad - 2.202x_{10} - 0.021x_{11} - 0.069x_{13} - 0.150x_{14}, \\ &\quad (R^2 = 1.000, P < 0.01); \\ y_2 &= 1.916 + 0.073x_1 - 0.010x_2 + 0.008x_3 \\ &\quad - 2.711x_{10} - 0.039x_{11} - 0.060x_{13} - 0.139x_{14}, \\ &\quad (R^2 = 1.000, P < 0.01); \\ y_3 &= 0.249 + 0.054x_1 - 0.012x_2 + 0.004x_3 \\ &\quad - 2.284x_{10} - 0.006x_{12} - 0.041x_{13} - 0.117x_{14}, \\ &\quad (R^2 = 1.000, P < 0.01); \\ y_4 &= -0.723 + 0.005x_1 + 0.002x_2 - 0.012x_{10} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ 0.008x_{12} - 0.002x_{13} - 0.007x_{14}, \\ &\quad (R^2 = 1.000, P < 0.01); \\ y_5 &= 359.021 + 1.303x_3 - 1.486x_4 + 1.153x_6 \\ &\quad - 65.084x_{10} - 2.660x_{11} - 3.729x_{12}, \\ &\quad (R^2 = 1.000, P < 0.01). \end{aligned}$$

由上述分析可知,烟叶烘烤过程中颜色参数与色素含量各指标的回归方程均具有较高的拟合程度,方差分析结果均达到了极显著水平,表明基于烟叶正、背面各颜色参数构建的色素含量预测模型具有较高的精准度。

3 结论与讨论

本试验对K326品种上部叶烘烤过程中表面颜色参数和内在色素含量变化的关系进行研究,结果表明,烟叶正面和背面的亮度值 L^* 、红度值 a^* 、黄度值 b^* 、色泽比 h 、色相角 H° 、饱和度 C 和总色差 ΔE 的变化趋势基本一致,与贺帆等^[18]对烤烟品种NC89调制过程中颜色变化研究结果基本相同。各项颜色参数变化幅度最显著的阶段发生在烘烤前期,叶片正面颜色的变化要快于叶片背面,从

叶片正面和背面之间的 ΔE 变化可以看出, 42℃之前叶片正背面的色差较为明显, 45℃之后颜色基本趋于一致。鲜烟叶色素含量中以叶绿素所占比例较高, 叶片则呈现出明显的绿色, 烘烤开始后, 叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量在 38℃ 前急剧下降, 之后降低速率逐渐减小, 至 45℃ 时叶绿素含量趋于稳定。类胡萝卜素含量在烘烤前后的变化幅度较小, 期间降低幅度较为明显的阶段在 38℃ 末之前。随着叶绿素、类胡萝卜素含量降解速率的不同步, 类叶比表现为不断上升的趋势, 叶片表面呈现的黄色逐渐显现并趋于稳定。

相关性分析结果表明, 烟叶烘烤过程中各颜色参数与色素含量之间具有较强的相关性, 特别是叶片正面和背面的 L^* 值、 a^* 值、 h 值、 H° 值、 ΔE 值与叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素及类胡萝卜素均达到了极显著正相关或负相关关系。而通过逐步回归分析构建的色素含量预测模型实现了与烟叶表面颜色特征值的定量研究, 模型的决定系数较高, 且均具有统计学意义, 表明该模型可较为准确地预测烘烤过程中各种色素含量的变化。此外, 由于烟叶中色素为香气形成的前体物质^[19], 因此该模型对于烟叶烘烤质量的动态形成也具有一定意义。

【参考文献】

- [1] 席元肖, 宋纪真, 杨军, 等. 不同颜色及成熟度烤烟香气前体物及降解产物含量的差异分析 [J]. 中国烟草学报, 2011, 17 (4): 23 - 30.
- [2] 詹军, 张晓龙, 周芳芳, 等. 低温变黄与干筋烘烤工艺对中上部烟叶质量的影响 [J]. 河南农业科学, 2012, 41 (11): 155 - 160.
- [3] 路晓崇, 李昊, 苏家恩, 等. 基于烤烟颜色特征构建烤烟感官质量预测模型 [J]. 河南农业大学学报, 2016 (4): 500 - 505.
- [4] 梁洪波, 李念胜, 元建, 等. 烤烟烟叶颜色与内在品质的关系 [J]. 中国烟草科学, 2002, 23 (1): 9 - 11.
- [5] 李悦, 符云鹏, 甄焕菊, 等. 烤烟烟叶颜色值和外观颜色变化分析 [J]. 中国烟草科学, 2017, 38 (1): 78 - 84.
- [6] 景延秋, 张豹林, 李广良, 等. 不同品种烤烟表面颜色量化与质体色素的关系研究 [J]. 河南农业大学学报, 2014, 48 (6): 689 - 694.
- [7] 钟金锋, 覃小丽, 郑炯. 竹笋热烫处理过程中颜色变化的动力学模型 [J]. 食品科学, 2014, 35 (19): 101 - 105.
- [8] 刘春菊, 钱旻, 宋江峰, 等. 速冻莲藕片贮藏过程中品质变化动力学模型 [J]. 农业工程学报, 2017, 33 (6): 301 - 308.
- [9] NISHA P, SINGHAL R S, PANDIT A B. A study on the degradation kinetics of visual green colour in spinach (*Spinacea oleracea* L.) and the effect of salt therein [J]. Journal of Food Engineering, 2004, 64 (1): 135 - 142.
- [10] 李青山, 矫海楠, 王传义, 等. 烟叶正背面颜色参数与色素和主要化学成分的关系研究 [J]. 江苏农业科学, 2016, 44 (8): 332 - 336.
- [11] 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.
- [12] 王涛, 贺帆, 詹军, 等. 烘烤过程中不同部位烟叶颜色值和主要化学成分的变化 [J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2012, 38 (2): 125 - 130.
- [13] 宫长荣. 烟草调制学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 248 - 249.
- [14] 周钰淇. 不同烘烤工艺 K326 主要质体色素变化规律研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.
- [15] 王利群, 戴雄泽. 色差计在辣椒果实色泽变化检测中的应用 [J]. 辣椒杂志, 2009, 7 (3): 23 - 26.
- [16] 汪琳, 应铁进. 番茄果实采后贮藏过程中的颜色动力学模型及其应用 [J]. 农业工程学报, 2001, 17 (3): 118 - 121.
- [17] 张倩钰, 孙杰, 郑炯. 苹果片热风薄层干燥过程中颜色变化的动力学模型 [J]. 食品工业科技, 2015, 36 (24): 137 - 141.
- [18] 贺帆, 王涛, 樊士军, 等. 基于色度学的密集烘烤过程中烟叶主要化学成分变化模型研究 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2014, 42 (5): 111 - 118.
- [19] 鲁黎明, 刘燕, 雷强, 等. 四川主产烟区烤烟致香前体物质含量差异分析 [J]. 河南农业科学, 2012, 41 (8): 52 - 56.