

基于多元分析对不同产区烟叶颜色指标的差异特征研究

李 峥, 徐清泉, 夏 琛, 徐志强*, 张晓兵, 俞 鏊, 刘建国, 王荣浩
(浙江中烟工业有限责任公司 技术中心, 浙江 杭州 310024)

摘要: 以 42 个县(区)的 C3F 等级烤烟为材料, 探究其颜色参数与质体色素等颜色指标的关系, 并区分不同产区烟叶颜色特征. 结果表明: 1) H° 与颜色指标的相关性较差, 其余指标之间的相关性均达到显著水平以上; 2) 不同产区烟叶在颜色指标主成分图中的分布差异明显, 但不同种植区的分布呈一定规律性; 3) 聚类分析将各产区烟叶样品分为 4 类, 且类别间颜色差异明显. 因此, 从颜色角度判别烟叶产地具有可行性.

关键词: 初烤烟叶; 产区; 颜色参数; 质体色素; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: S572 文献标识码: A 文章编号: 1674-5639 (2021) 06-0024-07

DOI: 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2021.06.005

Study on the Difference Characteristics of Tobacco Color Index in Different Producing Areas Based on Multivariate Analysis

LI Zheng, XU Qingquan, XIA Chen, XU Zhiqiang*, ZHANG Xiaobing, YU Ke, LIU Jianguo, WANG Ronghao
(Technology Center, China Tobacco Zhejiang Industrial Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, China 310024)

Abstract: Flue-cured tobacco leaves (C3F) from 42 counties was used as experimental materials to explore the relationship between color parameters and plastid pigment and other color indicators and to distinguish the color characteristics of tobacco leaves in different producing areas. The results showed that: 1) The correlation between H° and color index was poor, but the correlation between other indexes reached a significant level; 2) There were significant differences in the distribution of color index principal component diagram among different producing areas. But the distribution of different planting areas showed a certain regularity; 3) The samples of tobacco in different production areas were divided into four categories by cluster analysis, and the color difference among the different categories was obvious. So it is feasible to distinguish tobacco producing area by colors.

Key words: flue-cured tobacco; producing areas; color parameters; plastid pigment; principal component analysis; cluster analysis

颜色是烤烟外观质量评价的品质指标, 也是烤烟分级中主要的分组因素^[1]. 由于烤后烟叶颜色蕴含着丰富的信息, 在烟叶质量判定过程中, 烟叶表观的颜色特征通常是评价人员最先感受的指标之一, 叶片之间颜色的差异可以反映产地、栽培技术、调制工艺等因素的不同^[2-4]. 因此, 研究烟叶颜色及相关指标呈现的规律, 对于烟叶质量判断及

区域特征的认定意义重大. 烟叶表观所呈现的颜色实质是色素类物质的综合体现^[5], 而质体色素主要包括叶绿素和类胡萝卜素, 烟叶在成熟和烘烤调制过程中质体色素不断降解, 总体呈降低趋势, 由于叶绿素降解速率快于类胡萝卜素, 最终导致类胡萝卜素含量占比增加, 叶面黄色逐渐突显. 目前, 有关烟叶颜色受品种^[6]、成熟度^[7-8]、产地^[4,9]、

收稿日期: 2021-03-16

基金项目: 浙江中烟科技资助项目“彰显产区烟叶风格的‘特色化、模块化’打叶复烤特色工艺研究与应用”(110201901031).

作者简介: 李峥 (1994—), 男, 浙江杭州人, 硕士研究生, 主要从事烟叶质量评价研究.

*通信作者: 徐志强 (1980—), 男, 山东莒县人, 烟叶分级高级技师, 主要从事烟叶质量评价、感官品质分析研究, E-mail: xuzq@zjtobacco.com.

栽培条件^[10]等因素影响的报道很多, 但对于分析烤烟不同颜色指标间的关系及不同产地烟叶颜色特征的研究较少. 此外, 随着交叉学科的不断融合与发展, 更多的检测仪器和方法被应用于烟草相关研究. 在农产品颜色客观评价中, CIELab 均匀颜色空间可实现检测物体表面颜色的量化^[11-12]. 近年来, 有关烟草 Lab 颜色参数的研究文献^[13]也呈激增趋势, 但将烟叶颜色参数、质体色素和产地相结合的研究却鲜见报道.

本研究采集了 15 个省(市)、42 个县(区)的 C3F 等级烤烟样品, 采用液相色谱仪和 CIELab 颜色空间客观评价烤烟颜色, 并通过相关分析和主成分分析探究质体色素和颜色参数的关系, 同时通过聚类分析实现不同产地烟叶颜色特征的归类研究, 以期获得可以区分不同产地烟叶颜色特征的信息, 为烤烟颜色的数字化研究提供一定的理论支撑.

1 材料与方法

1.1 试验材料

参照中国烟草种植区划^[14], 将供试样品归属地的选择涵盖 5 个一级烟草种植区. 选取云南、贵州、四川、广西、福建、江西、湖南、安徽、重庆、湖北、陕西、山东、河南、黑龙江、辽宁等 15 个产烟省(市) 42 个县(区) 2018 年生产的 C3F 等级初烤烟叶样品, 每个县区采集 2 份, 每份 2 kg. 样品采集点详细信息见表 1.

1.2 仪器与试剂

Color-Eye7000A 型分光光谱仪(美国 Gretag-Macbeth 公司, 光谱范围 360 ~ 700 nm, 测量孔径 1.5 cm); UV-2450 紫外可见分光光度计(日本岛津集团); Waters e2695 自动进样高效液相色谱仪(美国 Waters 公司); TGL-20MB 低温离心机(湖南湘智仪器有限公司); 高精度天平(上海佳禾衡器有限公司, 分度值 0.000 1 g).

超纯水(美国 Millipore 公司); 甲醇、异丙醇、乙腈(美国 Baker 公司); 叶黄质、 β -类胡萝卜素等标准物(日本 WAKO 公司).

1.3 试验方法

从每个县(区)的样品中选取叶面完整、无病斑的烟叶 10 片, 用于烟叶颜色参数及质体色素含量的测量. 颜色参数的测量参照霍开玲等^[7]的方法,

测量时避开支脉, 每片烟叶于叶尖、叶中、叶基部共选取 6 个检测位点, 检测指标为亮度值 L^* 、红度值 a^* 、黄度值 b^* 、饱和度 C 、色相角 H° . 叶绿素含量的测量采用分光光度法. 类胡萝卜素类物质的测量采用液相高效色谱法, 具体操作参照过伟民等^[15]的方法进行. 质体色素检测指标为叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素、叶黄质、 β -胡萝卜素等 5 项.

表 1 样品采集点信息

产地	省/直辖市	样品归属地(县/区)
西南烟草 种植区	云南	楚雄、腾冲、罗平、石林、砚山、马关、麻栗坡
	贵州	威宁、金沙、大方、开阳、盘州
	四川	会东、会理、古蔺、叙永
	广西	靖西、昭平
东南烟草 种植区	福建	上杭、长汀、连城、浦城
	江西	赣县、石城
	湖南	桂阳、安仁
长江中上 游烟草 种植区	安徽	旌德、芜湖
	重庆	巫山、巫溪
黄淮烟草 种植区	湖北	建始、利川、竹山
	陕西	旬阳
北方烟草 种植区	山东	汶上、沂水
	河南	洛宁、卢氏、内乡、确山
黑龙江 种植区	黑龙江	东宁
	辽宁	宽甸

1.4 数据处理

数据整理采用 Excel 2013 进行, 数据的统计分析、标准化处理、相关性分析、主成分分析采用 IBM SPSS Statistics 25 软件, 聚类分析及图片绘制使用 Origin 2019b 软件.

2 结果与分析

2.1 描述性统计分析

将试验测定的各产区烤烟样品颜色参数和质体色素数据分别列于表 2 和表 3. 由表 2 和表 3 可知, 各项颜色指标的变异系数在 1.64% ~ 15.86% 范围内. 根据变异程度划分^[9], 颜色参数指标的变异系数均在 10% 以内, 质体色素中叶绿素的变异系数为 9.20%, 上述指标属弱变异, 表明数据的稳定性较好; 叶绿素 a、叶绿素 b、叶黄素、 β -胡萝卜素和类胡萝卜素的变异系数在 10.27% ~ 15.86% 范围内, 属中等变异. 峰度和偏度反映样

本数据的集中趋势和偏斜方向^[16], 颜色参数的峰度系数和偏度系数均在 1.0 以内, 且偏度系数均为负数, 表明颜色参数数据呈现为平阔峰, 且有左偏趋势; 质体色素指标的峰度系数和偏度系数均为正值, 峰度系数均在 1.0 以上, 数据形态表现较尖锐, 且有右偏趋势.

表 2 烟叶样品颜色参数的描述性统计

颜色参数	变化幅度	均值	标准差	变异系数/%	峰度系数	偏度系数
L^*	48.77 ~ 65.39	57.68	3.66	6.35	0.08	-0.27
a^*	12.26 ~ 18.79	15.71	1.55	9.84	-0.70	-0.12
b^*	40.97 ~ 54.84	48.84	3.18	6.52	0.26	-0.65
C	45.83 ~ 58.97	52.05	3.54	6.81	-0.31	-0.74
H°	67.84 ~ 75.63	73.92	1.21	1.64	-0.31	-0.68

表 3 烟叶样品质体色素的描述性统计

质体色素	变化幅度/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	均值/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	标准差/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	变异系数/%	峰度系数	偏度系数
叶绿素 a	1.74 ~ 3.89	2.34	0.25	10.27	2.09	0.49
叶绿素 b	1.45 ~ 6.56	3.16	0.62	15.86	3.51	0.43
叶绿素	4.04 ~ 10.37	6.32	1.05	9.20	2.50	0.52
叶黄素	32.83 ~ 82.01	57.12	7.95	13.92	2.38	0.40
β -胡萝卜素	43.19 ~ 94.24	64.64	9.48	14.66	1.13	0.70
类胡萝卜素	74.42 ~ 179.95	130.85	14.27	10.91	1.62	0.19

2.2 相关性分析

将颜色参数和质体色素等 11 项指标作为变量导入 SPSS 软件中, 进行指标间简单相关分析, 得出各项指标间的相关系数 (表 4). 由表 4 可知, 11 项烤烟颜色指标之间有 47 个相关系数达到显著水平以上, 其中: 叶绿素 a 与 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C 、叶黄素、类胡萝卜素呈极显著负相关, 与 β -胡萝卜素呈显著负相关; 叶绿素 b 与 L^* 、 b^* 、 C 、类胡萝卜素呈极显著负相关, 与 a^* 、叶黄素、 β -胡萝卜素呈显著负相关; 叶绿素与 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C 、类胡萝卜素呈极显著负相关, 与叶黄素、 β -胡萝卜素呈显著负相关. 各项指标中, 仅 H° 表现出的相

关性较差, 其中 H° 与 a^* 呈极显著负相关、与叶绿素 b 呈显著负相关, 与其余指标的相关性均不显著. 而其余各项颜色指标之间均呈显著或极显著的正相关关系.

2.3 主成分分析

由于各项颜色指标表征的信息可能存在重叠, 为避免数据冗余, 采用主成分分析的方法提取影响烤烟颜色的主成分. 并对采集的烤烟颜色指标数据进行 KMO 和 Bartlett 球度检验. 结果 (表 5) 显示, KMO 检验统计值为 0.854 (大于 0.6), Bartlett 球度检验显著性小于 0.05, 说明各变量在一定程度上相互独立, 烤烟颜色指标适合用于主成分分析.

表 4 烟叶样品颜色指标间的相关系数

颜色指标	L^*	a^*	b^*	C	H°	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素	叶黄素	β -胡萝卜素	类胡萝卜素
L^*	1.000	0.571 **	0.645 **	0.991 **	0.050	-0.567 **	-0.825 **	-0.639 **	0.565 **	0.406 **	0.761 **
a^*		1.000	0.563 **	0.632 **	-0.494 **	-0.490 **	-0.325 *	-0.580 **	0.483 *	0.435 *	0.463 *
b^*			1.000	0.663 **	0.046	-0.670 **	-0.530 **	-0.726 **	0.571 **	0.457 *	0.523 **
C				1.000	0.021	-0.578 **	-0.807 **	-0.659 **	0.576 **	0.422 *	0.758 **
H°					1.000	0.102	-0.254 *	0.108	-0.011	-0.055	0.046
叶绿素 a						1.000	0.450 *	0.828 **	-0.503 **	-0.325 *	-0.498 **
叶绿素 b							1.000	0.525 **	-0.463 *	-0.335 *	-0.708 **
叶绿素								1.000	-0.470 *	-0.422 *	-0.584 **
叶黄素									1.000	0.363 *	0.465 *
β -胡萝卜素										1.000	0.455 *
类胡萝卜素											1.000

注: 表中 ** 表示在 0.01 水平上极显著相关, * 表示在 0.05 水平上显著相关.

表5 颜色指标数据的 KMO 和 Bartlett 球度检验

检验方式	检验指标	检验结果
KMO 检验	统计值	0.854
	近似卡方	1 381.308
Bartlett 球度检验	自由度	55.000
	显著性	0.000

主成分提取采用因子分析法, 通过特征值及累计贡献率确定能代表整体信息的因子. 图1显示, 在特征值大于1的情况下提取出两个主成分, 即碎石图拐点为第2个主成分因子, 表明提取的前2个因子的特征最明显, 包含的信息量最多, 可用于描述整体的颜色特征. 以上述两个主成分因子为坐标轴绘制各项颜色指标的载荷图, 结果见图2. 由图2可知, 两个主成分 (PCA1 和 PCA2) 分别占总体方差贡献率的 58.878% 和 24.139%, 累计方差贡献率达到 80% 以上. 其中, PCA1 的贡献率较高, 区分各参数作用明显. 叶绿素指标均分布在 PCA1 的负向端, 类胡萝卜素、 L^* 、 b^* 、 C 、叶黄素等指标聚集在 PCA1 的正向端, 表明上述指标在 PCA1 中起主要作用. H° 位于 PCA2 的正向端, 与其余颜色指标几乎不相关.

图3反映了42个县(区)的烟叶样品在前2个主成分的分布情况. 依据 PCA1 和 PCA2 的正负端将区域划分为4个象限: 四川古蔺、叙永、会理、会东, 贵州威宁、盘州, 云南腾冲、石林、罗平、麻栗坡, 湖北利川, 重庆巫溪等县(区)位

于第I象限; 福建上杭、长汀、浦城, 湖南桂阳、安仁, 安徽旌德、芜湖, 广西靖西, 江西石城、赣县, 湖北竹山等县(区)位于第II象限; 河南确山、内乡、洛宁、卢氏, 山东汶上、沂水, 黑龙江东宁, 辽宁宽甸, 福建连城以及陕西旬阳等县(区)位于第III象限; 广西昭平位于II、III象限的交界处; 贵州金沙、开阳、大方, 云南砚山、马关、楚雄, 湖北建始, 重庆巫山等县(区)位于第IV象限. 整体来看, 各县(区)分布虽较为松散, 但不同象限中的烟叶产地表现出一定的规律性, 西南烟草种植区的云南、贵州、四川分布在PCA1的正向端, 广西则分布在PCA1的负向端, 东南烟草种植区主要分布在第II象限, 北方烟草种植区和黄淮烟草种植区主要分布在第III象限, 长江中上游烟草种植区表现较松散, 在4个象限均有分布. 根据供试样品分布结果可知, 除长江中上游产区外, 其余产区基本可通过相关颜色指标进行区分.

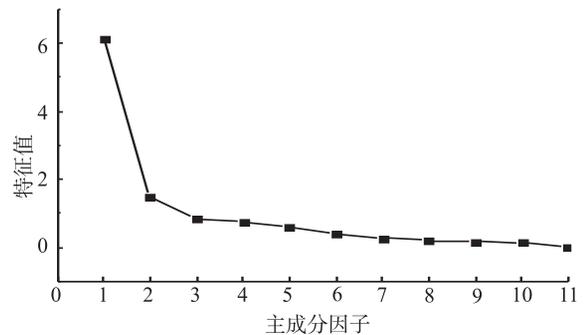


图1 碎石检验

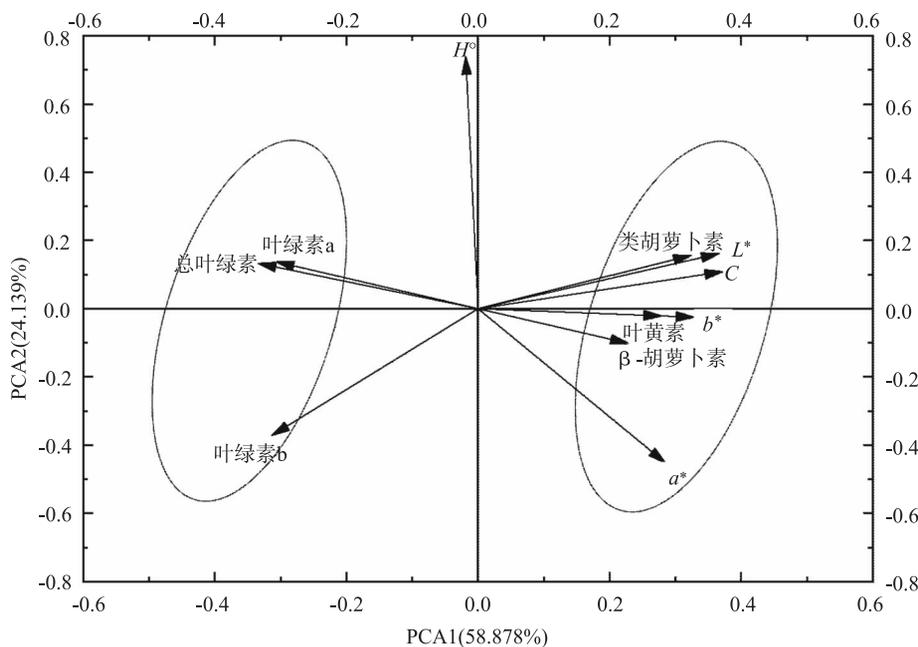


图2 颜色指标在前2个主成分上的载荷图

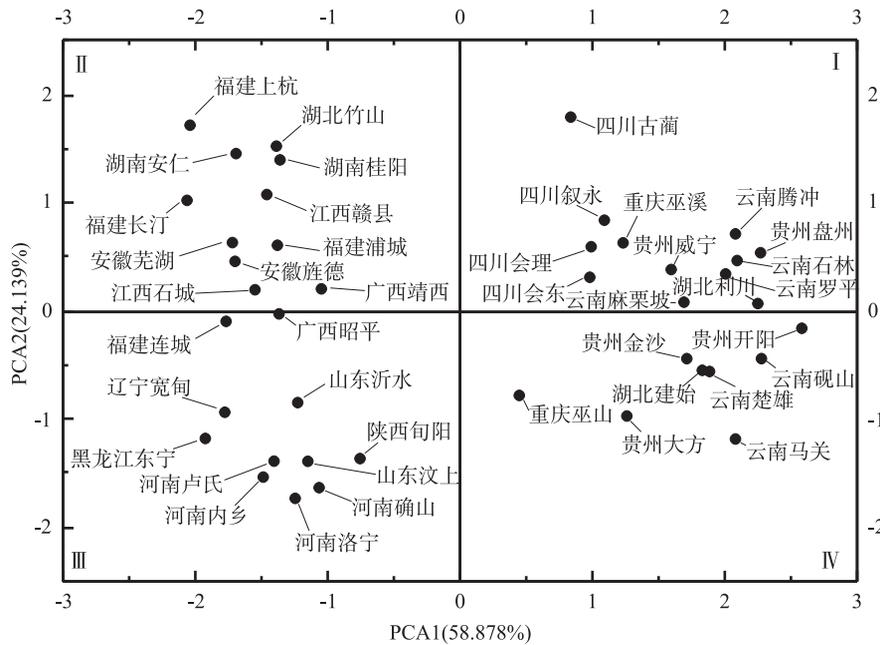


图 3 供试烤烟样品在前 2 个主成分上的分布图

2.4 不同产地烤烟颜色指标的聚类分析

相关分析表明，颜色参数与质体色素具有极好的相关性，而且颜色参数可直观的描述颜色的细微变化。因此，以烟叶样品的 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C 、 H° 等颜色参数指标为变量，以 42 个县（区）为观测值，采用最短距离法对各产地烟叶样品进行聚类分析，结果见图 4。在平方欧式距离为 5.0 处，可将烟叶样品分为 4 类：第 1 类为云南腾冲、罗平、石林、麻栗坡、楚雄、砚山、马关，贵州威宁、盘州、金沙、大方、开阳，湖北利川、建始，重庆巫山、巫溪；第 2 类为四川会东、会理、叙永、古蔺；第 3 类为广西靖西、昭平，福建浦城、上杭、

连城、长汀，江西石城、赣县，安徽旌德、芜湖，湖南桂阳、安仁，湖北竹山；第 4 类为山东沂水、汶上，陕西旬阳，河南洛宁、确山、卢氏、内乡，黑龙江东宁和辽宁宽甸。

根据聚类分析结果，统计不同类别烟叶样品的主要分布区域及颜色参数范围，并采用方差分析统计类别间差异的显著性，统计结果见表 6。由表 6 可知，1 类和 2 类的 L^* 值明显高于 3 类和 4 类，且差异有统计学意义；4 类的 a^* 值明显低于其余类别，可作为判别的主要指标；1 类的 b^* 值极显著高于其余类别；类别间饱和度 C 的差异无统计学意义；1 类和 4 类的 H° 极显著高于 2 类和 3 类。

表 6 不同类别颜色参数特征

类别	主要分布区域	颜色参数				
		L^*	a^*	b^*	C	H°
1	西南烟区（云南、贵州），长江中上游烟区（重庆、湖北恩施）	60.47 ± 1.39 aA	15.56 ± 0.82 bA	51.78 ± 1.69 aA	53.45 ± 2.53 aA	72.26 ± 1.00 aA
2	西南烟区（四川）	60.29 ± 1.42 aA	17.74 ± 0.78 aA	48.78 ± 1.31 bB	52.33 ± 1.24 aA	70.01 ± 0.89 bB
3	东南烟区（福建、安徽、湖南、江西），西南烟区（广西）	53.49 ± 1.32 cB	16.82 ± 0.80 bA	46.33 ± 1.30 cC	50.39 ± 2.78 aA	70.03 ± 1.17 bB
4	黄淮烟区（山东、河南），北方烟区（辽宁、黑龙江）	55.39 ± 1.61 bB	14.24 ± 0.36 cB	45.66 ± 0.71 cC	50.53 ± 3.70 aA	72.68 ± 0.55 aA

注：表中数据用（平均值 ± 标准差）表示；不同大、小写字母分别表示类别间差异有统计学意义（ $P < 0.01$ 、 $p < 0.05$ ）。

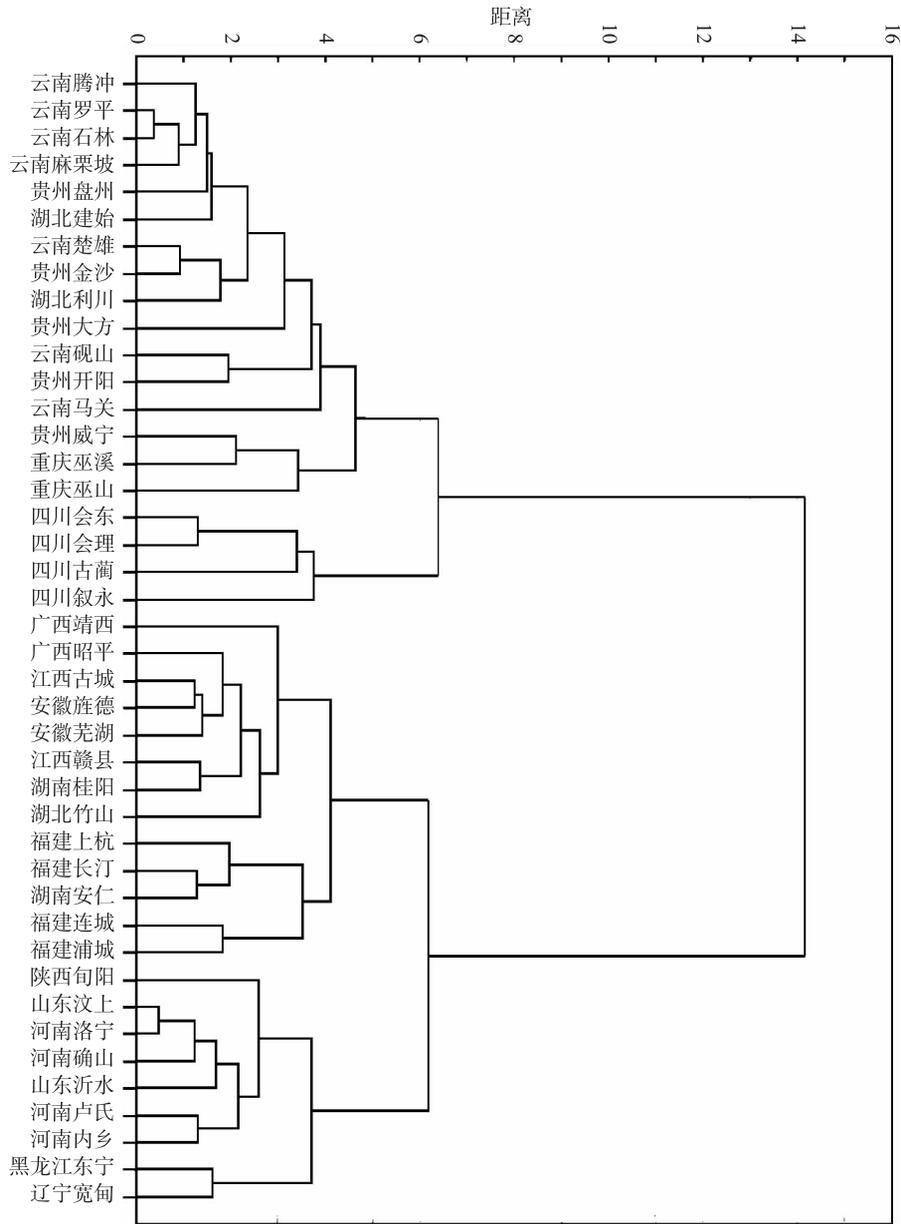


图4 不同产区烤烟样品颜色参数的聚类分析

为了更加直观的描述各类别颜色的差异, 以各类别烟叶样品的 Lab 值为基础, 计算出总色差 $\Delta E^{[7]}$, 统计结果见表7. 有研究^[17]表明, 当 $\Delta E > 2$ 时, 视觉很容易区分出颜色的差异. 由

表7可以看出, 1类和2类的 ΔE 最小, 但也达到了3.23; 1类和3类的 ΔE 最大, 达到8.86. 表明通过聚类分析划分的各个类别烟叶表观颜色差异明显.

表7 不同类别烤烟总色差值 ΔE 统计

类别	1	2	3	4
1	0.00	3.23 ± 0.21	8.86 ± 0.43	8.29 ± 0.49
2		0.00	7.29 ± 0.33	6.78 ± 0.27
3			0.00	3.28 ± 0.14
4				0.00

注: 表中数据用 (平均值 ± 标准差) 表示.

3 讨论与结论

相关性分析得出, 烤烟颜色参数与质体色素的关系密切, L^* 、 a^* 、 b^* 、 C 与叶黄素、 β -胡萝卜素、类胡萝卜素均呈显著或极显著正相关, 与叶绿素指标均呈显著或极显著负相关. 主成分分析结果表明, 提取的两个主成分累计贡献率达到 83.017%, 颜色指标的载荷图与相关性分析结果基本一致, L^* 、 a^* 、 b^* 、 C 、叶黄素、 β -胡萝卜素、类胡萝卜素聚集在 PCA1 的正向端, 叶绿素指标聚集在 PCA1 的负向端, H° 与其余各项颜色指标的距离较远, 表明叶绿素与其他颜色指标呈负相关关系, H° 与其余颜色指标的相关性较弱. 分别以两个主成分为横、纵坐标轴划分 4 个象限, 从图 3 可以看出, 西南烟草种植区主要分布在 I、III 象限, 东南烟草种植区分布在第 II 象限, 黄淮烟草种植区和北方烟草种植区分布在第 III 象限, 长江中上游烟草种植区分布较为松散. 因此, 根据样品分布结果, 可用相关颜色指标判别不同产区烟叶.

聚类分析将不同产区烤烟样品分为 4 类: 第 1 类为云南、贵州、重庆及湖北恩施; 第 2 类为四川; 第 3 类为福建、安徽、湖南、江西、广西; 第 4 类为河南、山东、辽宁、黑龙江. 基于聚类结果分析不同烟草种植区划烤烟外观颜色特征, 除广西外, 西南烟草种植区和长江中上游烟草种植区的 L^* 值和 b^* 值明显高于其他产区, 黄淮烟草种植区和北方烟草种植区的 a^* 值较低, 西南烟草种植区的四川、广西和东南烟草种植区的 H° 明显偏低, 各产区饱和度 C 的差异无统计学意义, 不适合作为区分烟叶产区的颜色指标. 由表 7 可知, 不同类别间, 总色差 ΔE 较大, 表明归属于不同类别的产区烤烟颜色差异明显. 因此, 今后的研究将进一步扩大烤烟等级范围及样品采集数量, 构建基于颜色等指标判别不同产区烤烟的方法体系.

[参考文献]

[1] 全国烟草标准化技术委员会. 烤烟: GB 2635—1992 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1992.
[2] 薛超群, 蔡宪杰, 宋纪真, 等. 基于主成分分析和聚类分析的烤烟烟叶外观特征区域归类 [J]. 烟草科技, 2018, 51 (6): 34—41.

[3] 李生栋, 谭方利, 黄克久, 等. 不同素质烟叶烘烤过程中颜色值与含氮化合物的关系分析 [J]. 河南农业大学学报, 2016, 50 (6): 709—714.
[4] 甄焕菊, 周清明, 魏春阳, 等. 不同产区烤烟表面颜色光谱分析 [C] //中国烟草学会. 2015 年度优秀论文汇编. 2015: 1520—1526.
[5] 李艳, 李峥, 张永辉, 等. 基于 CIE 色度空间的烟叶烘烤过程中色素含量预测研究 [J]. 昆明学院学报, 2019, 41 (3): 20—25.
[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] 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.
[8] 李贤慧, 俞镛, 李峥, 等. 成熟度对烟叶烘烤特性及烤后品质的影响 [J]. 天津农业科学, 2020, 26 (4): 60—63.
[9] 徐小青, 颜奕华, 范坚强, 等. 不同产地 C3F 烟叶色域、底色和色差的量化分析 [J]. 作物研究, 2019, 33 (6): 554—560.
[10] 危月辉, 黄化刚, 杨军杰, 等. 烤烟不同栽培模式对色素动态变化和成熟期色素降解及质量的影响 [J]. 西南农业学报, 2016, 29 (2): 248—254.
[11] 陶永胜, 张莉. 不同种类红葡萄酒 CIELab 参数与花色素苷化合物的相关分析 [J]. 中国农业科学, 2010, 43 (20): 4271—4277.
[12] 李悦, 符云鹏, 甄焕菊, 等. 烤后烟叶表面颜色特征参数及其与外观质量指标的关系 [J]. 河南农业大学学报, 2017, 51 (1): 1—7.
[13] 于国锋, 冯媛, 郑宏伟, 等. CIE $L^*a^*b^*$ 颜色模型在烟草中的应用研究进展 [J]. 河南农业科学, 2019, 48 (2): 1—7.
[14] 王彦亭, 谢剑平, 李志宏. 中国烟草种植区划 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
[15] 过伟民, 张骏, 刘阳, 等. 烤烟质体色素及多酚与外观质量关系研究 [J]. 中国烟草学报, 2009, 15 (2): 33—40.
[16] 李峥, 谭方利, 贺帆, 等. 基于 CIE 颜色空间构建烤烟外观质量预测模型 [J]. 河南农业科学, 2018, 47 (8): 149—154.
[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.