

陈大江, 白羽祥, 王娜, 等. 色度值结合外观特征对红花大金元不同部位的鉴别[J]. 山西农业科学, 2026, 54(2): 81-86.

CHEN D J, BAI Y X, WANG N, et al. Identification of different parts of Honghuadajinyuan by chroma value combined with appearance characteristics[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2026, 54(2): 81-86.

doi:10.26942/j.cnki.issn.1002-2481.2026.02.10

## 色度值结合外观特征对红花大金元不同部位的鉴别

陈大江<sup>1</sup>, 白羽祥<sup>1</sup>, 王娜<sup>1</sup>, 王戈<sup>1</sup>, 杜宇<sup>1</sup>, 金楹<sup>2</sup>,

张芬芬<sup>2</sup>, 赵晓军<sup>2</sup>, 杨雅馨<sup>2</sup>, 刘正玲<sup>2</sup>, 周鹏<sup>1</sup>

(1. 云南农业大学烟草学院, 云南昆明 650201; 2. 云南省烟草公司昆明市公司, 云南昆明 650051)

**摘要:**为探究不同部位红花大金元初烤烟叶外观质量指标与色度值的关系, 建立一种可以快速、准确识别烟叶不同部位的方法, 以昆明产区初烤烟叶为材料, 选取B2F(上部叶)、C2F(中部叶)、X2F(下部叶)等3个等级的烟叶, 基于CIELAB颜色空间理论, 测定烟叶的明度值(L)、红绿色度值(a)、黄蓝色度值(b)、色泽比(H)、色相角(H<sup>0</sup>)、总色差值(ΔE), 并结合外观特征评价结果进行分析。结果表明, B2F、C2F、X2F等3个等级的外观质量综合得分分别为73.70、80.58、66.75, 即中部叶较好, 上部叶次之, 下部叶最差; 色度值方面, 总色差值从大到小依次为中部>上部>下部, 上部叶具有最高的红绿色度值和色泽比, 下部叶具有最高的明度值和色相角。烟叶外观质量与色度值相关性分析结果表明, 除叶片结构外, 其余外观质量指标均与L、H<sup>0</sup>呈极显著负相关, 与a、H呈极显著正相关; 所有外观质量指标均与ΔE呈极显著正相关。综上, 应用色度学指标L、a、b、H、ΔE建立的Fisher判别模型有较高的判别正确率, 该模型可推动初烤烟叶不同部位的鉴别从定性走向定量、从经验化转向理论化。

**关键词:**红花大金元; 色度值; 外观质量; CIELAB颜色空间理论; Fisher判别模型

中图分类号: S572 文献标识码: A 文章编号: 1002-2481(2026)02-0081-06

## Identification of Different Parts of Honghuadajinyuan by Chroma Value Combined with Appearance Characteristics

CHEN Dajiang<sup>1</sup>, BAI Yuxiang<sup>1</sup>, WANG Na<sup>1</sup>, WANG Ge<sup>1</sup>, DU Yu<sup>1</sup>, JIN Ying<sup>2</sup>, ZHANG Fenfen<sup>2</sup>,

ZHAO Xiaojun<sup>2</sup>, YANG Yaxin<sup>2</sup>, LIU Zhengling<sup>2</sup>, ZHOU Peng<sup>1</sup>

(1. College of Tobacco Science, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. Kunming City Company of Yunnan Tobacco Company, Kunming 650051, China)

**Abstract:** In order to explore the relationship between the appearance quality index and chroma value of Honghuadajinyuan primary flue-cured tobacco leaves of different parts, and establish a method to identify different parts of tobacco leaves quickly and accurately, in this study, taking primary flue-cured tobacco leaves from Kunming as materials, based on the CIELAB color space theory, a colorimeter was used to measure the color values of tobacco leaves and the values were analyzed combined with the evaluation of appearance characteristics. The results showed that the comprehensive scores of appearance quality for three levels of B2F, C2F, X2F were 73.70, 80.58, and 66.75, respectively, indicating that the middle leaves were better, the upper leaves were second, and the lower leaves were worst. In terms of chroma value, the total color difference value(ΔE) was displayed as middle > upper > lower, the upper leaves had the highest red-green chroma value(a) and color ratio(H), and the lower leaves had the highest brightness value(L) and hue Angle(H<sup>0</sup>). Through the correlation analysis of leaf appearance quality and chroma value, it was found that except for leaf structure, all other appearance quality indexes were extremely significantly negatively correlated with chroma values L and H<sup>0</sup>, extremely significantly positively correlated with a and H, and all

收稿日期: 2024-09-20

基金项目: 国家自然科学基金(32160517); 云南省烟草公司昆明市公司科技计划(昆烟办综[2023]18号 KMYC202303)

作者简介: 陈大江, 在读硕士, 研究方向: 烟草栽培与生理生化, E-mail: 3058450377@qq.com

通信作者: 刘正玲, 农艺师, 主要从事烟叶评级研究, E-mail: 542811538@qq.com

周鹏, 实验师, 博士, 主要从事烟草栽培及烟草化学研究, E-mail: zhoupeng@ynau.edu.cn

appearance quality indexes were extremely significantly positively correlated with  $\Delta E$  value. In conclusion, the Fisher discriminant model based on chroma values L, a, b, and H(color ratio) and  $\Delta E$  had higher discriminant accuracy. The model could promote the identification of different parts of primary flue-cured tobacco leaves from qualitiveness to quantitiveness, and from empiricalization to theoreticalization.

**Keywords:** Honghuadajinyuan; chroma value; appearance quality; CIELAB color space theory; Fisher discriminant model

不同部位的烟叶受到的光照、水分、温度不一样,会导致烟叶不同部位的品质不同。中部叶的烟碱含量适中,同时含有较高的糖分和香气成分,较适合作为加热卷烟原料;使用上部烟叶可有效提高加热卷烟劲头<sup>[1]</sup>,但烟碱和含氮化合物含量过高会导致上部烟叶劲头过大;下部叶由于光照不足,叶片干物质积累受限,化学成分不协调,造成叶片偏薄,香气不足,可用性偏低<sup>[2]</sup>。因此,烟叶部位与烟叶品质有直接的关系。烟叶部位的识别,是烤烟烟叶收购与分级、卷烟配方设计的重要依据<sup>[3]</sup>。但在实际烟叶分级应用中,烟叶部位混淆现象比较突出,进而影响烟叶的等级质量和工业企业的卷烟配方。长期以来,对于烟叶外观特征的鉴定评价主要凭借人的肉眼来进行,而每个人对烟叶颜色、成熟度、油分等的敏感程度也有所不同,加上受外界环境多种因素的影响,鉴定结果往往存在较大主观偏差,且费时费力。

烟叶的颜色是烟草的重要外观指标,它是烟叶内在化学品质最直观的外在表现。烟叶的部位、产地、品种、成熟度、烘烤工艺、醇化时间都对烟叶颜色的变化规律有着重要的影响<sup>[4]</sup>。CIELAB颜色空间中的任何一个颜色,都可以分解为3个正交的独立参数L、a和b,其中,L体现颜色的明暗和层次,a和b体现颜色的色彩<sup>[5]</sup>。相关研究表明,色度值L(从黑到白,表示明度值)、a(从绿到红,表示红度值)、b(从蓝到黄,表示黄度值)与烟叶中的总糖、还原糖、烟碱、钾、总氮、蛋白质、糖碱比、挥发碱、质体色素、多酚等多种内在重要化学指标存在显著或极显著相关<sup>[6-7]</sup>。说明色度值能够较好地反映烟叶原料的内在质量,这为利用色差法评价烟叶不同区段的品质差异及合理分级加工利用奠定了基础<sup>[8]</sup>。对烟叶颜色进行研究对于烟叶成熟过程中颜色变化规律、烟叶烘烤工艺的优化、烟叶部位鉴别与分级工艺提升、烟叶风格特色认定等具有重要意义<sup>[9]</sup>。

目前,关于烟叶颜色色度学指标与烤烟品质关系的研究已有报道<sup>[10-12]</sup>,但大多研究主要分析了烟叶色度学指标与烟叶化学成分的关系,很少结

合烟叶的外观质量指标结果做进一步讨论分析。因此,本研究应用CIELAB颜色空间理论,通过色差仪对烟叶颜色进行色度学指标量化测定,结合外观质量指标得分对昆明主栽品种红花大金元上中下3个不同部位的烟叶颜色进行量化分析,以期对不同部位烟叶的识别提供新的方法,减少因环境和人为等因素所造成的误差,提高测定结果的科学性和准确性,构建区分模型,为烟叶分析的智能化、数字化提供理论支撑。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

选取2023年产自昆明的红花大金元初烤烟叶,按照烟叶分级国家标准GB 2635—1992烤烟<sup>[13]</sup>进行分类,挑选出收购量大、具有代表性的B2F(上部叶)、C2F(中部叶)和X2F(下部叶)等3个等级的烟叶,每个等级选取20片烟叶进行后续的外观分析和色值分析。

### 1.2 样品外观质量分析

由中国烟草公司云南省分公司邀请5位分级专家参照文献<sup>[14]</sup>对样品进行外观特征分类。烟叶外观质量评价包括颜色(A1)、成熟度(A2)、叶片结构(A3)、身份(A4)、油分(A5)、色度(A6)等6个部分,采用0~10分评分法对烟叶进行评价。其中,颜色包括桔黄、柠檬黄、红棕、微带青、青黄、杂色;成熟度包括成熟、完熟、尚熟、欠熟、假熟;叶片结构包括疏松、尚疏松、稍密、紧密;身份包括中等、稍薄、稍厚、薄、厚;油分包括多、有、稍有、少;色度包括浓、强、中、弱、淡。外观特征评分结束后,计算出综合得分。

$$\text{综合得分} = (A1 \times 0.30 + A2 \times 0.25 + A3 \times 0.15 + A4 \times 0.12 + A5 \times 0.10 + A6 \times 0.08) \times 10 \quad (1)$$

### 1.3 色度值分析

利用Colormater pro色差仪(彩谱科技,浙江)对样品进行检测。测定的色度学指标主要包括明度值(L)、红绿色度值(a,正值代表红度,负值代表绿度)、黄蓝色度值(b,正值代表黄度,负值代表蓝度)。计算饱和度(C)、色泽比(H)、色相角( $H^0$ )以

及总色差值( $\Delta E$ )。每片烟叶使用色差仪取叶尖、叶中、叶基部对称6个点对叶片颜色进行测定,取平均值用于后续分析。

$$C = \sqrt{(a^2 + b^2)} \quad (2)$$

$$H = a/b \quad (3)$$

$$H^0 = \tan^{-1} \frac{b}{a} \quad (4)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (5)$$

式中, $L_0$ 、 $a_0$ 、 $b_0$ 分别为白板的颜色参数,其中, $L_0=91.97$ , $a_0=-2.53$ , $b_0=-5.68$ 。 $\Delta E$ 值越大表示所测样品的颜色越深。

### 1.4 统计分析

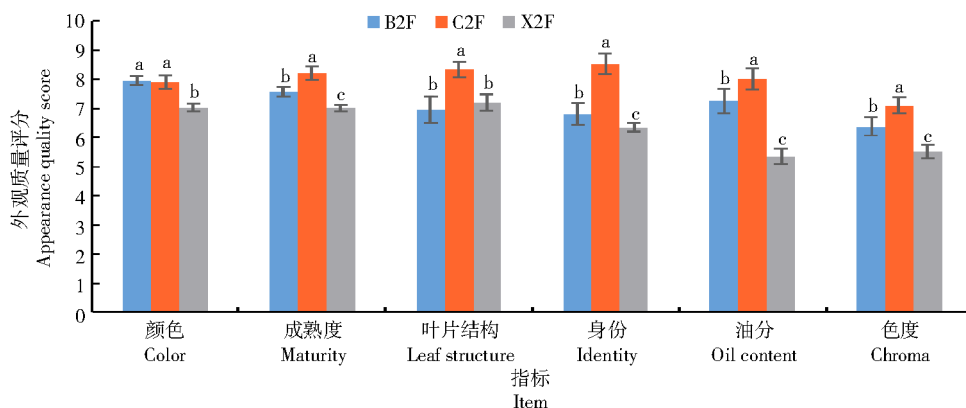
采用Excel 2010处理数据;利用SPSS 26.0进行统计分析和Fisher线性判别分析,采用单因素方差分析(One-way Anova);采用R语言进行外观质

量和色度值的相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同部位烤后烟叶外观质量分析

外观质量是烟叶分级的重要依据,也是反映烟叶质量优劣的外在特征体现。从图1可以看出,不同部位烟叶外观质量评分存在显著差异,C2F的烟外观质量总体较好,其中,主要表现在烟叶成熟度、叶片结构、身份和油分得分均较高且均显著高于B2F、X2F烟叶( $P<0.05$ ),3个部位的色度得分均较低,但C2F显著高于B2F、X2F( $P<0.05$ );B2F的烟叶外观质量评分次之,除叶片结构外,其余指标均显著高于X2F( $P<0.05$ )。综上可知,C2F除颜色指标与B2F无显著差异外,其余外观质量指标均优于其他部位。



不同小写字母表示各部位间差异显著( $P<0.05$ )

Different lowercase letters of the same index indicated significant difference among the different parts( $P<0.05$ )

图1 不同部位烤后烟叶外观质量分析

Fig.1 Analysis of appearance quality of cured tobacco leaves in different parts

### 2.2 不同部位烤后烟叶色度值分析

从表1可以看出,不同部位烟叶色度值有所差异,X2F的L值显著高于B2F和C2F( $P<0.05$ );B2F的a、H值显著高于C2F和X2F( $P<0.05$ );C2F、X2F的b值均显著高于B2F( $P<0.05$ );C2F

的C、 $\Delta E$ 值均显著高于B2F、X2F( $P<0.05$ );X2F的 $H^0$ 值显著高于B2F和C2F( $P<0.05$ )。其次,也可看出红大烟叶的3个不同部位a值均为正值,即烟叶在红绿色度中偏向红色度;b值也均为正值,说明烟叶在黄蓝色度中,偏向黄色度。

表1 不同部位烤后烟叶色度值分析

Tab.1 Analysis of chroma values of cured tobacco leaves in different parts

部位 (Position)	L	a	b	C	H	$H^0$	$\Delta E$
B2F	56.67±1.19c	15.24±0.90a	49.36±1.16b	51.67±1.25b	0.31±0.02a	72.83±0.85c	67.83±1.11b
C2F	59.19±1.61b	13.80±1.77b	52.23±1.10a	54.05±1.28a	0.26±0.03b	75.21±1.75b	68.58±1.40a
X2F	63.17±1.26a	10.91±0.98c	52.31±1.76a	53.46±1.82b	0.21±0.02c	78.22±0.93a	66.19±1.45b

注:同列不同小写字母表示各部位间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant differences among the positions( $P<0.05$ ).

### 2.3 不同部位烤后烟叶外观质量与色度值相关性分析

从图 2 可以看出,颜色与 L、b、H<sup>0</sup> 均呈极显著负相关 ( $P < 0.001$ ),且相关性以 L、H<sup>0</sup> 最强,与 a、H、 $\Delta E$  均呈极显著正相关 ( $P < 0.001$ ),且相关性以 a、H 最强;成熟度与 L、H<sup>0</sup> 均呈极显著负相关 ( $P < 0.001$ ),与 a、C、H、 $\Delta E$  均呈极显著正相关 ( $P < 0.001$ ),且正相关以 a 最强;叶片结构与 b、C、 $\Delta E$  均

呈极显著正相关 ( $P < 0.001$ );身份与 L、H<sup>0</sup> 均呈极显著负相关 ( $P < 0.001$ ),与 a、b、C、H、 $\Delta E$  均呈极显著正相关 ( $P < 0.001$ ),正相关以  $\Delta E$  最强;油分和色度均与 L、H<sup>0</sup> 呈极显著负相关 ( $P < 0.001$ ),与 a、H、 $\Delta E$  呈极显著正相关 ( $P < 0.001$ )。综上,除叶片结构外,其余外观质量指标均与 L、a、H、H<sup>0</sup> 存在相关性;所有外观质量指标均与  $\Delta E$  值呈极显著正相关性。

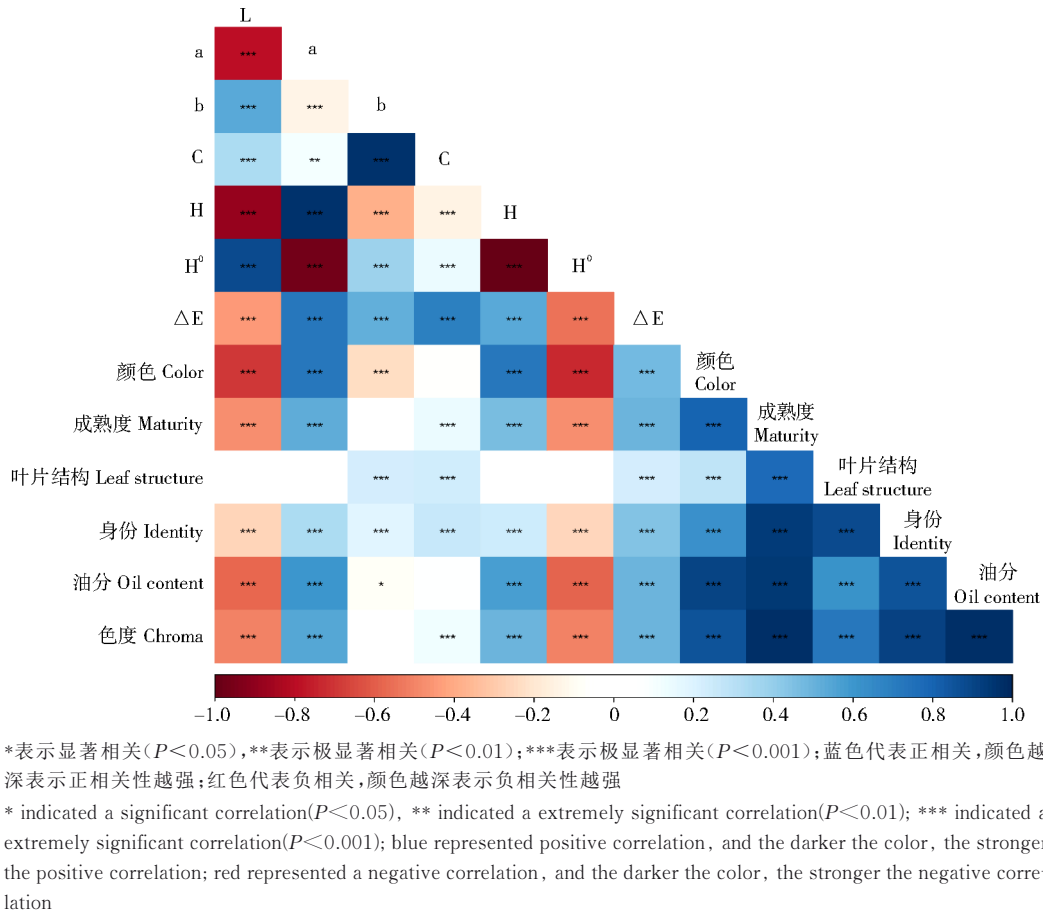


图 2 烟叶外观质量与色度值相关性分析

Fig.2 Correlation analysis between appearance quality and color value of tobacco leaves

### 2.4 不同部位烤后烟叶的判别模型构建

将 B2F、C2F、X2F 样本依次编号为 1~3,将对应的烤烟色差值录入 SPSS 26.0,得到典则判别函数系数以及各典则判别函数在不同部位红花大金元样本组别的中心值,并绘制质心图,结果表明(图 3),B2F 质心值为 3.022、0.676;C2F 质心值为 -0.199、-1.715;X2F 质心值为 -2.702、0.826。通过比较待判样本的函数值与这 3 类样本质心值之间的距离可以得出,待判样本的函数值彼此分隔,同种类型的样本以组质心为中心聚拢,且基本分布于各组质心附近。

进一步分析,最终得到不同部位烟叶的 Fisher 逐步判别函数。

$$B2F = 7135.758L + 6234.477a - 15022.919b - 494673.235H + 14722.562\Delta E - 301756.341$$

$$C2F = 7131.071L + 6265.150a - 15021.014b - 496290.751H + 14714.550\Delta E - 301016.606$$

$$X2F = 7148.141L + 6276.144a - 15052.494b - 497228.741H + 14744.988\Delta E - 302380.516$$

将烟叶的 L、a、b、H、 $\Delta E$  指标代入 3 个函数中比较 3 个函数值大小,数值最大者对应的部位即为该片烟叶的部位。

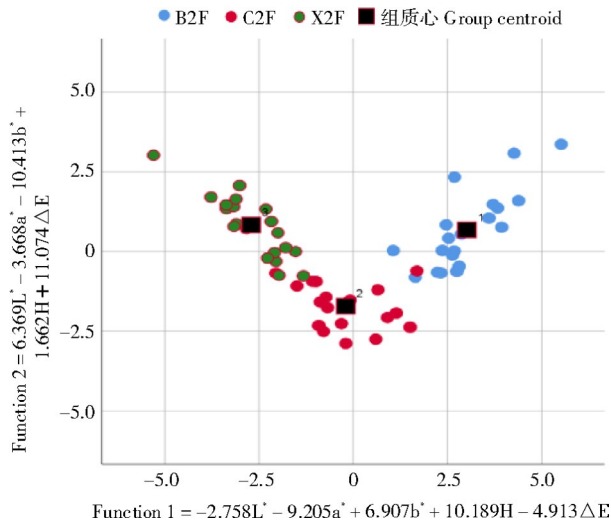


图3 不同部位烤后烟叶的判别模型

Fig.3 Discriminant models of cured tobacco leaves in different parts

采用“留一法”对模型的准确性进行交叉验证,上部叶(B2F)有2个样本被分为中部叶,其他样本均可准确分类,验证的准确率为90.0%;中部叶(C2F)有2个样本分别被分为上部叶和下部叶,其他样本均可准确分类,验证的准确率为90.0%;下部叶(X2F)有1个样本被分为了中部叶,其他样本均可准确分类,验证的准确率为95.0%。整体而言,有5个样本分类错误,其他样本均能被准确地分类,综合验证准确率为91.7%,准确率较高。

### 3 结论与讨论

近年来对烤烟外观特征方面的关注逐步提高<sup>[15]</sup>。作为评价烤后烟叶质量特征的一部分,烤烟不同部位烟叶外观特征的不同部位水分、色素、光照等差异而形成的相对稳定的外观差异特征<sup>[16]</sup>。烟株下部叶因光照少营养不充足,特征与品质表现均较弱;而上部叶由于光照营养充足,特征表现较强但品质表现较弱;只有中部叶光照与营养均衡,特征与品质表现均较好<sup>[17]</sup>。本研究得到了相似的结论,中部叶各外观质量得分均显著优于上部叶和下部叶。一般来说,烟叶颜色随部位上升而加深,部位是影响颜色的主要因素之一<sup>[18]</sup>。从成熟采收理论分析,下部叶要求适时早采,多为柠檬色,明度较高;上部叶要求化学成分成熟采收,多为红棕色,红度较高;中部叶要求成熟即可采收,多为橘黄色,黄度和饱和度均较高<sup>[1,19]</sup>。本研究结果显示,随部位上升,烟叶L值逐渐递减,a值逐渐

增加,C值、 $\Delta E$ 值呈抛物线型变化,这与烟叶各部位外观特征相一致,下部叶由于光照较少,颜色较浅,颜色饱和度较低,上部叶光照过足颜色较深。

不同部位烟叶对成熟度的要求不同进而影响不同部位烟叶的颜色参数,随着烤烟田间成熟度的提高,烤烟的颜色特征值存在较大差异<sup>[20]</sup>。本试验结果表明,中部叶 $\Delta E$ 值最大且外观质量色度指标得分也显示中部叶得分最高,与烤烟分级标准<sup>[13]</sup>中中部叶要求色度更浓一致。也有研究表明, $\Delta E$ 值与雪茄烟评吸质量特征呈极显著正相关,香气质、香气量受 $\Delta E$ 值影响<sup>[21]</sup>,这与实际生产中烤烟中部叶拥有更好的评吸质量一致。通过烟叶外观质量与色度值进行相关性分析发现,除叶片结构外,其余外观质量指标均与色度值L、a、H、 $H^0$ 存在较强的相关性,所有外观质量指标均与 $\Delta E$ 值存在极显著正相关性。

Fisher判定通过建立线性判定函数,依据判定函数预测待判样本的分类<sup>[22]</sup>,本试验中建立了Fisher判别模型,将L、a、b、 $\Delta E$ 和H引入构建判别模型。采用“留一法”对模型的准确性进行交叉验证,准确率高达91.7%。综上,应用色度值L、a、b、H、 $\Delta E$ 建立的Fisher判别模型其物理意义明确,所建模型有较高的判别正确率,在红花大金元不同部位烟叶的鉴别上具有良好的应用前景。将烟叶颜色色度值指标与外观质量结合,为烟叶不同部位的识别提供了一种新的鉴别方法。

#### 参考文献:

- [1] 刘天择,杨菁,汪旭,等.不同部位烤烟化学成分及热解产物与加热卷烟感官质量的关系[J].中国烟草科学,2023,44(1):77-84.
- [2] LIU T Z, YANG J, WANG X, et al. Relationships between chemical components and pyrolytic products and sensory quality of heated tobacco of different position flue-cured tobacco leaves[J]. Chinese Tobacco Science, 2023, 44(1): 77-84.
- [3] 宗胜杰,李伟,杨坤,等.植物生长调节剂对湘南烤烟中下部叶厚度和可用性的影响[J].河南农业科学,2022,51(9):46-55.
- [4] ZONG S J, LI W, YANG K, et al. Effects of plant growth regulators on the thickness and availability of middle and lower leaves of flue-cured tobacco in southern Hunan[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2022, 51(9): 46-55.
- [5] 杨德建,赵辽英,郝贤伟,等.基于近红外光谱和BYOL对比学习的烟叶部位识别方法[J].中国烟草学报,2023,29(6):23-30.
- [6] YANG D J, ZHAO L Y, HAO X W, et al. Tobacco leaf part recognition method based on near infrared spectroscopy and BYOL contrastive learning[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2023, 29

- (6):23-30.
- [4] 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.  
WANG T, HE F, ZHAN J, et al. Color parameters and chemical components in different leaf positions of flue-cured tobacco leaves during bulk curing process[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2012, 38(2): 125-130.
- [5] LILLOTTE T D, JOESTER M, FRINDT B, et al. UV-VIS spectra as potential process analytical technology (PAT) for measuring the density of compressed materials: Evaluation of the CIELAB color space[J]. International Journal of Pharmaceutics, 2021, 603: 120668.
- [6] 柳均,汪宏毅,覃光炯,等. 初烤烟叶空间颜色指标与化学成分关系的研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2019, 34(2):284-289.  
LIU J, WANG H Y, QIN G J, et al. The linkage of colors and chemical components within flue-cured tobacco leaves[J]. Journal of Yunnan Agricultural University(Natural Science), 2019, 34(2):284-289.
- [7] MENG Y, WANG Y H, GUO W M, et al. Analysis of the relationship between color and natural pigments of tobacco leaves during curing[J]. Scientific Reports, 2024, 14: 166.
- [8] 高占勇,王慧,杨晶津,等. 初烤烟叶主脉不同区段色度及 Fisher最优分割法分析[J]. 中国烟草学报, 2020, 26(6):45-51.  
GAO Z Y, WANG H, YANG J J, et al. Chromatic value of different segments of main vein of flue-cured tobacco and analysis by Fisher optimal segmentation method[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2020, 26(6): 45-51.
- [9] 赵铭钦,陈秋会,刘国顺. 不同产区陈化香料烟中部和上部烟叶的感官质量评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(9): 65-70.  
ZHAO M Q, CHEN Q H, LIU G S. Sensory evaluation of mid and top oriental tobacco leaves during aging in different areas [J]. Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition), 2008, 36(9): 65-70.
- [10] 彭新辉,易建华,周清明,等. 同部位不同等级烤烟的色泽和化学成分及其关系[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2008, 34(1):39-43.  
PENG X H, YI J H, ZHOU Q M, et al. Research on differences of color and luster, chemical components and their relationship between differently-graded flue-cured tobacco from identical part of tobacco plants[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2008, 34(1): 39-43.
- [11] 丁根胜,张庆明,巴金莎,等. 烟叶颜色色度学指标与烤烟品质的关系分析[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(4): 14-18.  
DING G S, ZHANG Q M, BA J S, et al. Analysis of relationship between colorimetry indices and quality of flue-cured tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2011, 32(4): 14-18.
- [12] ZONG J J, HE X, LIN Z L, et al. Effect of two drying methods on chemical transformations in flue-cured tobacco[J]. Drying Technology, 2022, 40(1): 188-196.
- [13] 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.  
National Technical Committee for Tobacco Standardization. Flue-cured tobacco: GB 2635-1992[S]. Beijing: China Standards Press, 1992.
- [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.  
WANG Y T, XIE J P, LI Z H. Division of tobacco planting in China[M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [15] 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.  
XUE C Q, CAI X J, SONG J Z, et al. Regional classification by appearance of flue-cured tobacco leaves based on principal component and cluster analysis[J]. Tobacco Science & Technology, 2018, 51(6): 34-41.
- [16] 刘辉,祖庆学,王松峰,等. 不同成熟度对鲜烟素质和烤后烟叶质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2020, 41(2): 66-71.  
LIU H, ZU Q X, WANG S F, et al. Effect of different maturity on the quality features of fresh and cured tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2020, 41(2): 66-71.
- [17] 陈健,蔡宪杰,郭文,等. 西南部分清甜香型产区烤烟外观特征及其与常规化学成分和感官质量的关系分析[J]. 烟草科技, 2020, 53(8): 7-14.  
CHEN J, CAI X J, GUO W, et al. Appearance characteristics of flue-cured tobacco of fresh-sweetness flavor type from some planting areas in southwest China and their relationships with routine chemical components and sensory quality[J]. Tobacco Science & Technology, 2020, 53(8): 7-14.
- [18] 《烟叶分级工专业知识》编写组. 烟叶分级工专业知识[M]. 北京:北京出版社, 2015.  
The writing group of《Professional knowledge of tobacco leaf grading workers》. Professional knowledge of tobacco leaf grading workers[M]. Beijing: Beijing Publishing Press, 2015.
- [19] 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.  
LI Y, FU Y P, ZHEN H J, et al. Analysis on color value and appearance color variation of tobacco leaves[J]. Chinese Tobacco Science, 2017, 38(1): 78-84.
- [20] 单嘉焯,王秋领,李春光,等. 烘烤过程中烟叶不同区段色度信号值与质体色素关系研究[J]. 河南农业科学, 2025, 54(2): 163-173.  
SHAN J Y, WANG Q L, LI C G, et al. Study on the relationship between chromaticity signal values and plastid pigments in different sections of tobacco leaves during curing process[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2025, 54(2): 163-173.
- [21] 郭文龙,琚绍焯,丁松爽,等. 雪茄烟叶发酵过程中颜色参数与发酵品质的关系[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2022, 50(4): 50-57.  
GUO W L, JU S X, DING S S, et al. Relationships of color with fermentation quality of cigar tobacco leaves during fermentation[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2022, 50(4): 50-57.
- [22] ZHOU P, HU O, FU H Y, et al. UPLC-Q-TOF/MS-based untargeted metabolomics coupled with chemometrics approach for Tieguanyin tea with seasonal and year variations[J]. Food Chemistry, 2019, 283: 73-82.