

## 烟叶褐变表观颜色值及其判别函数研究

柳均<sup>1</sup>, 汪宏毅<sup>1</sup>, 张婷<sup>1</sup>, 卢红良<sup>2\*</sup>, 肖少红<sup>1</sup>, 王康<sup>1</sup>, 陈慧<sup>1</sup>

(1.湖北省烟草公司烟草质量监督检测站, 湖北 武汉 430030; 2.湖北省烟草公司襄阳市公司, 湖北 襄阳 441000)

**摘要:**以 100 份陈化的湖北烤烟烟叶样品正反面 5 种颜色值(亮度值、红度值、黄度值、饱和度值、色调角)为指标, 采用逐步判别分析的方法, 对不同褐变档次烟叶样品进行判别分析, 建立判别函数。结果表明: 烟叶正面亮度值  $L$ 、红度值  $a$ 、饱和度值  $c$  和色调角  $h$  进入判别函数并建立判别模型。用自身验证法和交互检验法对原样品进行回判, 回判准确率为 99.0%, 对 25 个验证样品的判别准确率达到 100%。

**关键词:** 烟叶; 褐变; 颜色; 判别分析

中图分类号: TS41+3

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2018)06-0587-05

## Study on color space data-based discriminating functions for tobacco leaf browning

LIU Jun<sup>1</sup>, WANG Hongyi<sup>1</sup>, ZHANG Ting<sup>1</sup>, LU Hongliang<sup>2\*</sup>, XIAO Shaohong<sup>1</sup>, WANG Kang<sup>1</sup>, CHEN Hui<sup>1</sup>

(1.Hubei Province Tobacco Quality Supervision & Test Station, Wuhan, Hubei 430030, China; 2.Xiangyang Tobacco Company of Hubei Province, Xiangyang, Hubei 441000, China)

**Abstract:** To classify the browning degree of tobacco leaves, the stepwise discriminant analysis was used to discriminate the different browning grades of tobacco leaves on the positive and negative sides of 100 aged Hubei tobacco leaves based on 5 color values including brightness ( $L$ ), red ( $a$ ), yellowness ( $b$ ), saturation value ( $c$ ) and hue angle ( $c$ ), and the discriminant function was established. The result showed that color value  $L$ ,  $a$ ,  $c$  and  $h$  on the positive of tobacco leaves entered the discriminant function. Self-verification and cross-examination were used to judge the original samples, the total accuracy was 99.0%, and the discriminant accuracy for the 25 validation samples reached 100%.

**Keywords:** tobacco leaves; browning; color; discriminatory analysis

烟叶在陈化过程中颜色逐渐加深甚至变成黑色的过程称为烟叶碳化<sup>[1-2]</sup>或烟叶褐变<sup>[3]</sup>, 与烟叶组织中酚类物质<sup>[4]</sup>、碳水化合物<sup>[5]</sup>、蛋白质、氨基酸等含氮化合物<sup>[6]</sup>的变化密切相关。烟叶存储过程中自身的水分、环境温湿度、氧气等都会对烟叶褐变产生影响<sup>[2,7-8]</sup>。烟叶褐变的程度, 实质是烟叶中类黑素<sup>[9]</sup>、类胡萝卜素等色素含量的差异在烟叶表现的反映。对烟叶中类黑素的检测过程复杂繁琐, 且通过检测烟叶中类黑素的含量来判断烟叶褐变程度还存在诸多不确定因素, 无法快速、准确判断烟叶褐变程度。

通过感观分析对烟叶褐变程度进行判断会由于个体视觉的差异对烟叶颜色特征的区分存在一定的偏差。CIE LAB颜色值<sup>[10-11]</sup>能够直接量化烟叶外观颜色变化, 在烟草领域应用的实例<sup>[12-17]</sup>也越来越多。

判别分析<sup>[18]</sup>目前已运用于鲜烟叶成熟度<sup>[19-20]</sup>、烤烟香型<sup>[21]</sup>、卷烟叶组配方设计<sup>[22]</sup>、卷烟类型<sup>[23]</sup>和品质风格特征区分<sup>[24]</sup>等方面。笔者以库存的湖北烤烟片烟样品为试验材料, 测定不同褐变程度烟叶正反面的 5 种表观颜色值, 采用判别分析的方法建立以表观颜色值为基础的不同褐变程度烟叶的判

别函数，并进行回判验证和前瞻性预测，以期为陈化烟叶褐变程度量化判别提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

中国烟草湖北进出口有限责任公司烟叶仓库 2012 年出口等级为 LBD、尺寸约为 50 mm×40 mm 的不同褐变程度烤烟片烟样品 125 份，其中校正样

品 100 份，验证样品 25 份。感观判断烟叶褐变程度，将烟叶褐变分为 5 个档次：B1，烟叶呈柠檬黄或橘黄色，无黑棕褐色；B2，烟叶黑棕色、棕褐色面积 20% 以内；B3，烟叶黑棕色、棕褐色面积大于 20%~50%；B4，烟叶黑棕色、棕褐色面积大于 50%~80%；B5，烟叶黑棕色、棕褐色面积大于 80%。如图 1 所示。



图1 褐变烟叶的外观特征  
Fig.1 The appearance of tobacco leaves with different browning grades

1.2 方法

采用美国爱色丽 color i5 色差仪对褐变烟叶正反面的颜色值进行测定。测定时避开烟叶支脉，正反面随机检测 3 个点，测定亮度值  $L$ 、红度值  $a$ 、黄度值  $b$ 、饱和度值  $c$  和色调角  $h$ ，以 3 个点的平均值作为最终测定值。其中正面颜色值分别表示为  $L_1$ 、 $a_1$ 、 $b_1$ 、 $c_1$  和  $h_1$ ，反面的表示为  $L_2$ 、 $a_2$ 、 $b_2$ 、 $c_2$  和  $h_2$ 。

1.3 数据处理

采用 Excel 2007 进行数据处理；用 SPSS 13.0 进行统计分析，用 LSD 法进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 褐变烟叶表观颜色值的差异

不同褐变档次烟叶的表观颜色值不同，由表 1 可知，随着烟叶褐变程度的加深，烟叶正反面亮度值、黄度值、饱和度值、色调角均表现为逐步降低趋势，不同褐变档次间差异显著。烟叶正反面红度值的变化不明显，其中正面红度值以轻度褐变最高，严重褐变最低；反面红度值以重度褐变最高，正常烟叶最低，重度褐变、中度褐变和轻度褐变间差异不显著。

表1 不同褐变档次烟叶正反面的颜色值

Table 1 Color values on positive and negative sides of tobacco leaves with different browning grades										
褐变档次	$L_1$	$L_2$	$a_1$	$a_2$	$b_1$	$b_2$	$c_1$	$c_2$	$h_1$	$h_2$
B1	54.11a	61.92a	14.59b	8.74c	45.03a	37.59a	47.33a	38.78a	71.93a	76.85a
B2	41.08b	51.63b	17.40a	12.23a	28.72b	31.48b	33.50b	33.78b	58.69b	68.56b
B3	34.73c	45.69c	15.08b	12.13a	20.70c	27.29c	26.11c	29.94c	53.93c	65.64c
B4	30.83d	40.28d	13.84b	12.36a	15.74d	24.01d	21.00d	27.03d	48.58d	62.46d
B5	26.63e	34.50e	9.91c	10.29b	9.53e	17.10e	13.78e	20.02e	43.18e	57.60e

同列不同字母表示组间差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

比较不同褐变档次烟叶正反面各颜色值，褐变烟叶的正面亮度值、色调角均小于反面的；除了严

重褐变的正面外，其他褐变档次正面红度值均大于反面的；除正常烟叶外，其他褐变档次烟叶正面黄

度值和饱和度值，均小于反面的。

不同褐变档次烟叶正反面颜色值除红度值在部分褐变档次间无显著差异外，其他表观颜色值均表现出显著差异，说明不同褐变档次烟叶的分类清晰、适宜，排除了混杂的其他情况。

2.2 褐变烟叶的颜色特征

5个褐变档次烟叶共100个样本的各个指标的测定及描述统计结果列于表2。由表2可以看出，5种褐变档次烟叶正反面5种表观颜色值的变幅较大，标准差为2.08~12.77，反面以红度值的标准差最小，正面以黄度值的标准值最大，峰度系数为-0.93~0.01，偏度系数为-0.65~0.73，表明各颜色特征值均接近正态分布。

表2 褐变烟叶颜色值的描述性统计

Table 2 Descriptive statistical analysis of color values of browning tobacco leaves							
颜色值	样本数	最小值	最大值	均值	标准差	偏度系数	峰度系数
$L_1$	100	24.34	59.82	37.48	9.77	0.73	-0.62
$a_1$	100	6.26	19.55	14.16	3.09	-0.65	0.01
$b_1$	100	4.94	51.64	23.94	12.77	0.65	-0.59
$c_1$	100	7.97	53.28	28.34	12.12	0.43	-0.72
$h_1$	100	34.50	76.51	55.26	10.23	0.39	-0.58
$L_2$	100	25.51	67.12	46.80	10.61	0.11	-0.93
$a_2$	100	6.33	15.18	11.15	2.08	-0.46	-0.53
$b_2$	100	8.48	41.67	27.50	8.25	-0.45	-0.52
$c_2$	100	11.20	42.82	29.91	7.77	-0.62	-0.34
$h_2$	100	49.05	80.73	66.22	7.25	-0.01	-0.32

对100个褐变烟叶样本各表观颜色值的相关分析结果见表3。从表3可知，除烟叶正面的饱和度值和黄度值、反面的饱和度值和黄度值相互之间的相

关系数大于0.8外，其余各参数相关系数均小于0.8，表明指标之间不存在多重共线性。

表3 褐变烟叶颜色值简单相关系数

Table 3 Correlation analysis of color value of browning tobacco leaves										
颜色值	相关系数									
	$L_1$	$a_1$	$b_1$	$c_1$	$h_1$	$L_2$	$a_2$	$b_2$	$c_2$	$h_2$
$L_1$	1									
$a_1$	0.212	1								
$b_1$	0.653	0.682	1							
$c_1$	0.577	0.762	0.850	1						
$h_1$	0.550	0.070	0.545	0.427	1					
$L_2$	0.250	0.449	0.443	0.408	0.093	1				
$a_2$	-0.051	0.423	0.104	0.155	-0.082	0.351	1			
$b_2$	0.180	0.520	0.454	0.441	0.114	0.758	0.658	1		
$c_2$	0.149	0.521	0.419	0.414	0.094	0.733	0.708	0.894	1	
$h_2$	0.254	0.416	0.459	0.428	0.200	0.780	0.245	0.733	0.796	1

烟叶正反面各颜色值组均值的均等性检验见表4。从表4可知，各表观颜色值均表现为极显著性水平，不同褐变档次烟叶各表观颜色值变量接近正

态分布，且相互之间相关性较弱，组间均值没有差异，进行判别分析有意义。

表4 褐变烟叶颜色值组均值的均等性检验结果

Table 4 Equalization test of color value group for browning tobacco leaves

颜色值	Wilks-Lambda 值	F 值	自由度 1	自由度 2	显著性水平
$L_1$	0.029	804.309	4	95	0.000
$a_1$	0.371	40.314	4	95	0.000
$b_1$	0.066	335.229	4	95	0.000
$c_1$	0.095	226.866	4	95	0.000
$h_1$	0.069	318.304	4	95	0.000
$L_2$	0.198	95.992	4	95	0.000
$a_2$	0.527	21.329	4	95	0.000
$b_2$	0.293	57.242	4	95	0.000
$c_2$	0.331	48.007	4	95	0.000
$h_2$	0.203	93.264	4	95	0.000

2.3 不同褐变档次烟叶表观颜色值的判别

基于陈化烟叶正反面颜色值(10个变量),采用距离判别法(马氏距离法)对5种不同褐变档次烟叶样品进行多步判别,依据样品数据,每次增加1个对判别影响最大的变量,引入判别函数,当Wilks-Lambda值不再降低时停止引入,建立数学判别模型,最终有4个变量引入判别函数,剔除了6个变量。引入判别函数的4个变量依次为烟叶正面亮度值 $L_1$ 、烟叶正面红度值 $a_1$ 、烟叶正面黄度值 $b_1$ 和烟叶正面色度角 $h_1$ 。通过判别分析最终得到5种不同褐变档次烟叶的Fisher 线性判别函数系数(表5)。

表5 Fisher判别函数系数

变量	判别函数系数				
	B1	B2	B3	B4	B5
$L_1$	26.143	22.947	20.405	19.036	17.179
$a_1$	16.928	20.845	20.319	19.717	17.573
$b_1$	-15.860	-18.058	-17.752	-17.269	-16.006
$h_1$	10.383	10.982	11.033	10.498	9.677
常数项	-848.717	-717.330	-622.860	-550.668	-450.146

依据判别函数系数,最终得到5种褐变档次烟叶的判别函数为:

$$F_1=26.143 L_1+16.928 a_1-15.860 b_1+10.383 h_1-848.717 ;$$
$$F_2=22.947 L_1+20.845 a_1-18.058 b_1+10.982 h_1-717.330 ;$$
$$F_3=20.405 L_1+20.319 a_1-17.752 b_1+11.033 h_1-622.860 ;$$

$$F_4=19.036 L_1+19.717 a_1-17.269 b_1+10.498 h_1-550.668 ;$$
$$F_5=17.179 L_1+17.573 a_1-16.006 b_1+9.677 h_1-450.146。$$

利用所建立的判别函数,采用交互验证法对100个样本进行回判。将不同褐变档次烟叶的 $L_1$ 、 $a_1$ 、 $b_1$ 、 $h_1$ 值带入判别函数,计算函数值。若函数值最大,就说明该样本属于该褐变档次。由表6可知,严重褐变档次有1个样本判给了其他褐变档次,正确率为95.0%,其余各褐变档次正确率均为100%。总褐变档次判断正确率为99.0%。

表6 不同褐变档次烟叶回判结果

Table 6 Results of the regression analysis of tobacco leaves with different browning grades

褐变档次	样本数		正确率/%
	原组别	错判组别	
B1	20	0	100
B2	20	0	100
B3	20	0	100
B4	20	0	100
B5	19	1	95.0
总计	99	1	99.0

对5种不同褐变档次烟叶的25份验证样品进行褐变档次检测,将其 $L_1$ 、 $a_1$ 、 $b_1$ 、 $h_1$ 值代入判别函数,进行不同褐变档次烟叶判别函数的前瞻性预测,相关结果见表7。从表7可知,各档次烟叶判别正确率均为100%,总计判别正确率为100%。

表7 不同褐变档次烟叶的前瞻性预测结果

Table 7 Prospective prediction of tobacco leaves with different browning grades

褐变档次	样本数		正确率/%
	原组别	错判组别	
B1	5	0	100
B2	5	0	100
B3	5	0	100
B4	5	0	100
B5	5	0	100
总计	25	0	100

3 讨论

本研究结果表明,随着褐变程度的加深,陈化片烟正反面的亮度值、黄度值、饱和度、色调角逐步降低,不同褐变程度间差异显著,正反面的红度值表现

出先升高后降低的趋势。这与复烤片烟在存储过程中的醇化关系密切。研究<sup>[25-26]</sup>表明,复烤片烟在醇化过程中色素不断分解,类胡萝卜素大量降解,叶绿素、新黄质在醇化后的烟叶中几乎很少存在,而烟叶组织中酚类、碳水化合物、蛋白质、氨基酸等含氮化合物在不良条件下经过棕色化反应生成的类黑素越来越多,最终导致陈化片烟外观质量和物理特性发生明显的变化,烟叶外观颜色逐渐加深,逐渐由橘黄向深橘黄、红棕和褐色转变。

烟叶褐变或碳化档次暂无标准可循,生产实际中,对烟叶碳化或褐变档次的判断可能和本研究结果不一致,但通过烟叶表观颜色值建立不同褐变档次烟叶的Fisher 线性判别函数,并采用交互验证法及前瞻性预测对建立的判别函数进行检验,判别函数能够准确地判别陈化烟叶褐变档次。由于试验过程中判别函数建立的样本数量及检验函数的样本数量偏少,且仅局限于湖北烟区陈化烤烟片烟;因此,在实际应用过程中需考虑增加模型建立和检验的样本数量和多样性,以提高陈化烟叶褐变程度判别函数的实际应用能力。

本研究显示陈化烟叶随着褐变程度的加深,其正反面颜色值均不断降低,且呈现显著性差异,这为应用色差仪检测陈化烟叶褐变提供了相关数据支持,表观颜色值能够成为烟叶褐变的量化指标。基于表观颜色值建立烟叶褐变的判别函数,能够判别陈化烟叶发生褐变的严重程度,且判别正确率较高。

#### 参考文献:

- [1] 闫克玉,赵铭钦.烟草原料科学[M].北京:科学出版社,2008.
- [2] 孔祥,易百灵.初探成品片烟碳化现象形成原因[J].农业与技术,2017,37(11):43-44,57.
- [3] 王长征,陈少滨,徐燕,等.WLS-2比较比色仪测定烤烟烟叶不同陈化时间的褐变程度[J].安徽农业科学,2007,35(9):2643-2645.
- [4] 王长征,陈少滨,李清禄.不同陈化时期烤烟K326、云烟85绿原酸含量与褐变关系的研究[J].安徽农业科学,2008,36(7):2794-2795.
- [5] 李宇翔,张争鸣,董美,等.不同陈化条件下烤烟褐变与还原糖含量变化关系[J].安徽农业科学,2010,38(13):7153-7155.
- [6] 李宇翔,董美,洪伟健,等.不同陈化条件下烤烟褐变与氨基酸含量变化关系[J].亚热带农业研究,2010,6(2):126-129.
- [7] 范坚强,宋纪真,赖成连,等.密封降氧抑制醇化过程中烟片颜色转深试验[J].烟草科技,2005(12):3-5,26.
- [8] 董美.福建烤烟陈化过程影响烟叶褐变的相关因素分析[D].福州:福建农林大学,2010.
- [9] 王瑞新.烟草化学[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [10] 戴雄泽,王利群,陈文超,等.辣椒果实发育过程中果色与类胡萝卜素的变化[J].中国农业科学,2009,42(11):4004-4011.
- [11] 朱书香,杨建民,王中华,等.4种李属彩叶植物色素含量与叶色参数的关系[J].西北植物学报,2009,29(8):1663-1669.
- [12] 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.
- [13] 梁太波,张艳玲,尹启生,等.山东烤烟烟叶颜色量化分析及与多酚和类胡萝卜素含量的关系[J].烟草科技,2012(4):67-71.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 张军刚,王永利,吕国新,等.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.
- [18] 胡建鹏,陈强,黄容.逐步贝叶斯判别分析中的变量优化方法研究[J].计算机工程与应用,2014(21):63-67.
- [19] 李佛琳,赵春江,刘良云,等.烤烟鲜烟叶成熟度的量化[J].烟草科技,2007(1):54-58.
- [20] 高宪辉,王松峰,孙帅帅,等.鲜烟成熟度颜色值指标及其判别函数研究[J].中国烟草学报,2017,23(1):77-85.
- [21] 詹军,周芳芳,邓国宾,等.基于化学成分和致香物质的烤烟上部叶香型判别分析[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2013,39(3):232-241.
- [22] 张天兵,付金存,胡宗玉,等.基于逐步判别分析的卷烟叶组配方的定向模块设计[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2018,44(3):256-260.
- [23] 朱力军,王鹏,施丰成,等.基于化学成分的卷烟类型逐步判别分析[J].西南大学学报,2012,34(3):9-13.
- [24] 李庆华,王玉,于振华,等.卷烟烟丝化学指标的逐步判别分析[J].中国烟草学报,2009,15(6):27-30.
- [25] 朱大恒,韩锦峰,张爱萍,等.自然醇化人工与发酵对烤烟化学成分变化的影响比较研究[J].烟草科技,1999(1):3-5.
- [26] 陈万年,宋纪真,范坚强,等.福建和云南烤烟烟片的最佳醇化期及适宜贮存时间[J].烟草科技,2003(7):9-12.

责任编辑:罗慧敏

英文编辑:罗维