



张子颖,过伟民,徐文韬,等. 基于偏最小二乘回归的烤烟感官品质关键外观特征指标筛选[J]. 轻工学报, 2023,38(4):90-97.

ZHANG Z Y, GUO W M, XU W T, et al. Screening of key appearance characteristics affecting sensory quality of flue-cured tobacco based on partial least squares regression[J]. Journal of Light Industry, 2023,38(4):90-97.

DOI: 10. 12187/2023. 04. 012

基于偏最小二乘回归的烤烟感官品质关键外观特征指标筛选

张子颖¹, 过伟民², 徐文韬¹, 常乃杰², 许衡¹, 彭玉富¹, 张书伟¹

1. 河南中烟工业有限责任公司 技术中心, 郑州 450000;

2. 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 郑州 450001

摘要:为明确影响烤烟感官品质的关键外观特征指标,采用偏最小二乘回归等方法对6个产区共计265份烟叶样品的外观特征与其感官品质间的关系进行分析。结果表明:外观特征指标中仅上部叶样品油润感分值服从正态分布,其他外观特征指标分值均未通过正态性检验;中部叶外观指标除身份外均与总体感官品质在0.1%水平显著正相关;上部叶颜色纯正度、成熟度、叶片结构、光泽度、柔软度、油润感与总体感官品质在0.1%水平显著正相关,身份与总体感官品质在0.1%水平显著负相关;油润感、柔软度、叶片结构3项外观特征对中部叶香气和总体感官品质的累计贡献率分别为49.62%和51.07%,对上部叶香气和总体感官品质的累计贡献率分别为43.19%和44.30%。叶片结构、柔软度和油润感是影响中、上部叶感官品质的关键指标,可在烟叶原料的工业分选研究中进一步应用。

关键词:烤烟;外观特征;感官品质;偏最小二乘回归

中图分类号:TS44⁺2 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-1553(2023)04-0090-08

0 引言

烟叶外观特征是指通过人的感官感触可识别出的烟叶外部特征,能够在一定程度上反映烟叶的内在品质^[1]。我国烟叶种植区域范围较大,仅通过烤烟等级难以体现不同产区相同等级烟叶的外观特征差异^[2],并且在范围较小的地理区域内,相同等级烟叶也存在部分外观特征差异较大的情况。因此,探究烟叶外观特征指标与工业企业感官品质需求间

的关系是烟叶原料研究的关键点之一。

关于烟叶外观特征与感官品质,两者间关系的研究一直备受瞩目^[3-4]。王俊等^[5]对四川凉山、攀枝花烟区初烤烟叶的外观与感官品质进行了典型相关分析,发现最能体现该地区烤烟感官品质的指标是成熟度和颜色,其次是叶片结构和部位,再次是身份。魏春阳等^[6]对烤烟样品的外观、感官品质进行了灰色关联分析,发现与上部叶感官品质关联度较大的是叶片色度、油分和结构;与中部叶感官品质关

收稿日期:2022-06-07;修回日期:2022-08-08;出版日期:2023-08-15

基金项目:中国烟草总公司重大科技项目(110202101084);河南中烟工业有限责任公司科技项目(AW201917)

作者简介:张子颖(1993—),男,河南省叶县人,河南中烟工业有限责任公司工程师,主要研究方向为烟叶原料质量评价。

E-mail: zzy19930329@163.com

通信作者:张书伟(1976—),男,河南省许昌市人,河南中烟工业有限责任公司高级技师,主要研究方向为烟叶原料与质量控制。

E-mail: zhsw11@163.com

联度较大的是色度、身份和油分。江厚龙等^[7]对重庆产区烤烟外观特征与感官品质进行典型相关分析,发现烤烟颜色和身份与香气呈正相关,油分和身份与烟气浓度、劲头呈正相关。陈健等^[8]采用相关、回归、通径分析等方法对西南清甜香烟区烤烟外观特征与感官品质进行研究,发现叶片光泽与清甜香之间、叶片结构与香气量和圆润感之间,均呈极显著正相关。前述研究多采用典型相关分析等方法,这些方法对数据分布均有一定要求^[9-12],而不同区域烟叶外观特征差异较大^[2,6],进行量化后可能出现数据不符合正态分布的情况,此外,烟叶外观特征间存在一定关联性,在进行多元线性回归时自变量间可能存在多重共线性的问题。

偏最小二乘回归(Partial Least Squares Regression)对样本要求较为宽松^[13],当自变量间存在严重多重共线性时仍能有效构建模型^[14],且具有多元线性回归、典型相关和主成分分析的基本功能。基于此,本文拟采用偏最小二乘回归方法筛选影响烤烟感官品质的关键外观特征指标,以期明确烟叶外观特征与感官品质间的关系,进而建立基于关键外观特征的烟叶工业分选方法。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2019年度选自河南襄城、河南灵宝、湖南桂阳、福建邵武、云南麒麟和重庆黔江6个产区具有不同外观特征的中上部烤烟样品共计265份,其中中部叶样品142份(灵宝23份、襄城25份、桂阳24份、邵武24份、麒麟23份、黔江23份),上部叶样品123份(灵宝20份、襄城21份、桂阳21份、邵武21份、麒麟19份、黔江21份)。每份烤烟样品20~40片,在进行外观评价前置于温度(22±2)℃、相对湿度(70%±5%)的环境中平衡水分。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备 按照颜色(划分为微带青、轻度挂灰、柠檬黄、柠檬黄至浅橘黄、浅橘黄、深橘黄6个类型)、柔软度(划分为柔软、较柔软、较硬脆3个类型)、油润感(划分为强、较强、一般3个类型)、身份(划分为中等、稍薄、稍厚3个类型)、叶片结构(划

分为疏松、尚疏松、稍密3个类型)、成熟度(划分为高度成熟、成熟、尚熟3个类型)、叶位(划分为下二棚、腰叶、上二棚厚叶、上二棚薄叶4个类型)分别准备不同产区不同外观特征的烟叶样品,样品等级包括C1F、C2F、C3F、C3L、B1F、B2F,在制备某一外观特征不同等级样品时,尽量保证其他外观特征一致,单个样品在产区初选100片左右,平衡水分后于标准条件下复选20~40片作为代表性样品。

1.2.2 外观特征评价 参考文献[1]中外观特征评价指标体系,选取颜色(X_1)、颜色纯正度(X_2)、含青程度(X_3)、含杂程度(X_4)、成熟度(X_5)、叶片结构(X_6)、光泽度(X_7)、柔软度(X_8)、油润感(X_9)、身份(X_{10})作为样品外观特征评价指标。颜色(X_1)赋值越高,颜色越深;身份(X_{10})分值5.0为中等,分值越高,烟叶越厚,分值越低,烟叶越薄,颜色和身份两项外观特征的分值仅为标度,并不代表质量档次的高低,其余外观指标分值越高,质量档次越高。样品外观特征量化赋分方法见表1。外观评价小组由5位分级专家组成,参照表1采用10分制对样品进行外观特征评价,取专家评价分值的平均值作为各烟叶样品的各项外观指标分值。

1.2.3 感官品质评价 以香气质(A)、香气量(B)、杂气(C)、刺激性(D)、干燥感(E)、回甜(F)、浓度(G)、细腻程度(H)作为样品感官品质评价指标,分值越高,表明样品质量档次越高。由河南中烟工业有限责任公司技术中心组织9位专家采用9分制进行感官品质评价,取评价分值的平均值作为各项指标分值。参考文献[1]中,中部与上部烤烟样品感官品质侧重的分项指标有所不同,因此采用不同的分项指标和权重计算中、上部样品感官评价总得分,中部叶感官品质总得分 $Y_{\text{中部}} = (0.25A + 0.25B + 0.15C + 0.1D + 0.05E + 0.15F + 0.05H) \times 11.1$,上部叶感官品质总得分 $Y_{\text{上部}} = (0.25A + 0.25B + 0.15C + 0.05D + 0.05E + 0.15F + 0.05G + 0.05H) \times 11.1$ 。

1.3 数据处理与分析

采用R 4.0.2进行描述统计、Spearman相关分析、偏最小二乘法回归分析,通过Shapiro-Wilk进行正态性检验。将10项外观特征指标作为自变量,9项感官品质指标作为因变量,为消除量纲不同产生

表1 样品外观特征量化赋分方法
Table 1 Quantitative assignment method for appearance characteristics of flue-cured tobacco samples

指标	档次	分值	指标	档次	分值
X ₁	正黄	2~4	X ₆	疏松	7~10
	金黄	4~6		尚疏松	4~7
	深黄	6~8		稍密	2~4
	红棕	8~10		紧密	0~2
X ₂	正黄	6~9	X ₇	鲜亮	8~10
	金黄、深黄	7~10		较鲜亮	5~8
	红棕	5~8		较暗	3~5
	微带青	3~8		暗	0~3
	杂色	0~6		X ₈	柔软
X ₃	无	8~10	较柔软		5~8
	轻微(隐含)	5~8	较硬脆		3~5
	有(V)	3~5	硬脆		0~3
	较重(G)	0~3	X ₉	强(多)	8~10
X ₄	无	8~10		较强(有)	5~8
	轻微(隐含)	5~8		一般(稍有)	3~5
	有(20%内)	3~5		弱(少)	0~3
	较重	0~3	X ₁₀	厚	8~10
X ₅	完熟	10~8		稍厚	6~8
	成熟	7~10		中等	4~6
	尚熟	4~7		稍薄	2~4
	欠熟	0~4		薄	0~2

的影响,将原始数据中心化和标准化后进行偏最小二乘回归,首次回归将主成分个数设置为自变量总个数,采用留一法交叉验证,计算预测误差平方根(RMSEP),依据一倍标准差法^[15]选择模型中需要保留的成分数。

2 结果与分析

2.1 烤烟外观特征指标与感官品质指标的描述统计

烤烟外观特征及感官品质指标描述统计及正态性检验结果见表2。由于外观特征与感官品质评分的量纲不同,故采用变异系数比较指标间的相对离散程度。由表2可知,外观特征变异系数普遍高于感官品质指标的变异系数,表明外观特征的评价得分相对比较离散,而感官品质的评价得分相对比较集中。

正态性检验结果表明,中部叶样品感官品质指标中刺激性和浓度分值服从正态分布,其他感官品质和外观特征指标不服从正态分布;上部叶外观特征中的油润感及感官品质指标中的香气质、香气量、刺激性、干燥感、回甜、细腻程度和总体感官品质的分值服从正态分布,其他指标不服从正态分布。外

表2 烤烟外观特征指标与感官品质指标的描述统计

Table 2 Descriptive analysis of appearance characteristic and sensory quality indexes

指标	中部(n=142)								上部(n=123)							
	均值	标准差	偏度	峰度	变异系数/%	正态性检验		均值	标准差	偏度	峰度	变异系数/%	正态性检验			
						W	P						W	P		
X ₁	5.04	0.66	-0.27	0.87	13.18	0.96	4.38×10 ⁻⁴	5.68	0.88	-0.40	0.13	15.54	0.96	9.02×10 ⁻⁴		
X ₂	8.02	0.75	-2.24	5.92	9.40	0.75	3.75×10 ⁻¹⁴	8.03	0.85	-2.27	5.40	10.53	0.72	5.98×10 ⁻¹⁴		
X ₃	8.40	0.88	-3.38	13.14	10.44	0.61	9.00×10 ⁻¹⁸	8.48	0.96	-3.20	10.82	11.38	0.60	7.25×10 ⁻¹⁷		
X ₄	8.35	0.94	-3.27	11.44	11.30	0.59	3.57×10 ⁻¹⁸	8.25	1.01	-2.91	8.68	12.27	0.62	2.27×10 ⁻¹⁶		
X ₅	7.86	0.74	-1.64	2.53	9.38	0.82	5.33×10 ⁻¹²	7.98	0.83	-1.30	1.45	10.40	0.86	3.14×10 ⁻⁹		
X ₆	7.71	0.82	-1.37	1.67	10.59	0.86	2.99×10 ⁻¹⁰	5.61	1.18	-0.59	-0.57	21.07	0.92	1.22×10 ⁻⁶		
X ₇	6.32	0.90	-0.07	0.35	14.21	0.98	0.03	6.10	0.93	0.04	0.02	15.26	0.98	0.03		
X ₈	6.25	1.15	0.08	-0.25	18.41	0.97	8.48×10 ⁻³	5.88	1.12	0.06	-0.59	19.08	0.98	0.03		
X ₉	5.87	1.01	-0.42	-0.10	17.17	0.97	6.99×10 ⁻³	6.04	0.94	-9.34×10 ⁻⁵	-3.7×10 ⁻³	15.64	0.98	0.14		
X ₁₀	4.88	0.84	-0.03	0.52	17.24	0.96	1.42×10 ⁻⁴	6.61	0.64	0.21	0.25	9.69	0.97	0.01		
A	6.18	0.18	-0.61	1.22	2.94	0.98	0.01	6.21	0.16	0.13	-0.48	2.64	0.99	0.66		
B	6.09	0.17	-0.77	1.65	2.77	0.97	1.88×10 ⁻³	6.25	0.16	-0.09	-0.68	2.48	0.99	0.21		
C	6.01	0.18	-0.68	1.33	2.99	0.97	3.91×10 ⁻³	6.01	0.15	-1.20	5.86	2.53	0.92	3.23×10 ⁻⁶		
D	6.11	0.14	-0.24	-0.25	2.32	0.99	0.33	6.05	0.10	-0.19	-0.05	1.65	0.99	0.48		
E	6.05	0.15	-0.39	-0.01	2.45	0.98	0.02	6.00	0.11	0.18	-0.64	1.86	0.98	0.13		
F	6.14	0.19	-0.46	0.31	3.06	0.98	0.03	6.13	0.15	-0.04	-0.65	2.46	0.99	0.44		
G	6.10	0.16	-0.18	0.54	2.62	0.99	0.70	6.32	0.14	-0.58	-0.27	2.17	0.96	2.18×10 ⁻³		
H	6.17	0.16	-0.27	-0.64	2.57	0.98	0.01	6.08	0.10	0.25	0.05	1.70	0.99	0.40		
Y	67.84	1.69	-0.80	1.42	2.49	0.96	9.92×10 ⁻⁴	68.36	1.36	-0.03	-0.80	2.00	0.98	0.12		

注:正态性检验的P>0.05表明该组数据分布服从正态分布。

观特征指标中仅上部叶样品油润感分值服从正态分布,其他外观特征指标分值均未通过正态性检验,多数烤烟外观指标间存在高度相关性^[16-17],若采用逐步回归法则会剔除部分自变量,且剔除依据带有主观性^[18],因此采用 Spearman 相关、偏最小二乘回归法对样品外观和感官品质间的关系进行分析。

2.2 烤烟外观特征指标与感官品质指标间的相关性分析

中部叶外观特征指标与感官品质指标间的相关性分析结果见图 1,其中.表示达到 10%显著水平;*表示达到 5%显著水平;**表示达到 1%极显著水平;

***表示达到 0.1%极显著水平;图中左下方为一元线性拟合曲线,对角线为频数统计直方图,右上方为 Spearman 相关系数,下同。由图 1 可知:1) 中部叶烤烟颜色深浅分值与香气质、香气量、浓度、中部叶总体感官品质在 0.1%水平显著正相关,与杂气在 5%水平显著正相关;2) 颜色纯正度分值与香气质、香气量、杂气、干燥感、回甜、总体感官品质在 0.1%水平显著正相关,与浓度在 1%水平显著正相关;3) 含青程度分值与香气质、香气量、浓度、总体感官品质在 0.1%水平显著正相关,与杂气、干燥感分别在 1%和 5%水平显著正相关;4) 含杂程度分值与香气



图 1 中部叶外观特征指标与感官品质指标的相关性

Fig. 1 Correlation between appearance characteristic and sensory quality indexes of middle flue-cured tobacco leaves

质、香气量、杂气、干燥感、回甜、总体感官品质在 0.1%水平显著正相关,与刺激性、浓度分别在 1%和 5%水平显著正相关;5)成熟度分值与刺激性、细腻程度在 5%水平显著正相关,与其他感官指标均在 0.1%水平显著正相关;6)叶片结构分值与除浓度外的其他感官指标均在 0.1%水平显著正相关;7)光泽度分值与刺激性、细腻程度在 1%水平显著正相关,与浓度在 5%水平显著正相关,与其他感官指标均在 0.1%水平显著正相关;8)柔软度分值与所有感官指标均在 0.1%水平显著正相关;9)油润感分值与细腻程度在 5%水平显著正相关,与其他感官指标均在 0.1%水平显著正相关;10)身份分值与香

气量在 0.1%水平显著正相关,与刺激性、细腻程度在 0.1%水平显著负相关,与干燥感在 1%水平显著负相关,与浓度在 1%水平显著正相关。

上部叶外观特征指标与感官品质指标间的相关性分析结果见图 2。由图 2 可知:1)上部叶颜色深浅分值与浓度在 0.1%水平显著正相关,与细腻程度在 0.1%水平显著负相关,与香气量在 1%水平显著正相关,与刺激性、回甜在 5%水平显著负相关;2)颜色纯正度分值与浓度在 1%水平显著正相关,与其他感官指标均在 0.1%水平显著正相关;3)含青程度分值与香气量、浓度在 0.1%水平显著正相关,与总体感官品质在 1%水平显著正相关,与香气



图 2 上部叶样品外观特征指标与感官品质指标的相关性
 Fig. 2 Correlation between appearance characteristic and sensory quality indexes of upper flue-cured tobacco leaves

质在 5%水平显著正相关;4)含杂程度分值与除浓度外的其他感官指标均在 0.1%水平显著正相关;5)成熟度分值与香气质、香气量、杂气、浓度、总体感官品质在 0.1%水平显著正相关,与干燥感、回甜在 5%水平显著正相关;6)叶片结构分值与所有感官指标均在 0.1%水平显著正相关;7)光泽度分值与除浓度外的其他感官指标均在 0.1%水平显著正相关;8)柔软度分值与浓度在 1%水平显著正相关,与其他感官指标均在 0.1%水平显著正相关;9)油润感分值与浓度在 5%水平显著正相关,与其他感官指标均在 0.1%水平显著正相关;10)身份分值与除浓度外的其他感官品质指标均在 0.1%水平显著负相关。

综上所述,中部叶外观特征指标除身份外均与总体感官品质显著正相关;上部叶颜色纯正度、含杂程

度分值、成熟度、叶片结构、光泽度、柔软度、油润感与总体感官品质显著正相关,身份与总体感官品质显著负相关,含青程度分值与总体感官品质显著正相关,即含青面积越小或含青程度越轻微,样品总体感官品质得分越高。这与已有的研究结果相似^[6,17,19]。

2.3 影响感官品质的外观特征指标重要性分析

偏最小二乘回归将主成分个数设置为自变量总个数,采用留一法进行交叉验证,并计算预测误差平方根,依据一倍标准差法^[14]确定不同模型中需要保留的成分,再次进行偏最小二乘回归,采用参考文献[20]中 Jack knife test 检验各回归系数的显著性,根据回归系数计算外观特征对不同感官品质指标的相对贡献率,排前三位的外观特征指标见表 3。由表 3

表 3 中、上部叶外观特征指标相对贡献率

Table 3 Relative importance of middle and upper leaves appearance indexes

因变量	中部叶				上部叶			
	外观特征指标	相对贡献率/%	回归系数符号	显著性检验	外观特征指标	相对贡献率/%	回归系数符号	显著性检验
香气质	油润感	17.87	+	***	油润感	16.17	+	***
	柔软度	17.67	+	***	柔软度	14.61	+	***
	叶片结构	14.08	+	***	身份	13.64	-	***
香气量	油润感	17.66	+	***	叶片结构	15.28	+	***
	颜色深浅	17.14	+	***	油润感	14.30	+	***
	柔软度	14.36	+	***	柔软度	13.61	+	***
杂气	柔软度	17.01	+	***	油润感	14.96	+	***
	油润感	15.93	+	***	柔软度	13.85	+	***
	叶片结构	15.13	+	***	身份	13.48	-	***
刺激性	叶片结构	21.71	+	***	身份	15.97	-	***
	柔软度	18.24	+	***	油润感	15.19	+	***
	身份	14.51	-	**	叶片结构	13.55	+	***
干燥感	叶片结构	19.15	+	***	油润感	14.46	+	***
	柔软度	18.96	+	***	柔软度	14.08	+	***
	油润感	14.69	+	***	身份	14.07	-	***
回甜	柔软度	18.38	+	***	油润感	16.15	+	***
	油润感	16.99	+	***	光泽度	14.57	+	***
	光泽度	15.89	+	***	柔软度	13.27	+	***
浓度	颜色深浅	25.25	+	***	颜色深浅	24.68	+	.
	身份	19.79	+	**	叶片结构	14.03	+	**
	油润感	17.42	+	***	成熟度	12.24	+	**
细腻程度	叶片结构	20.19	+	***	光泽度	16.15	+	***
	身份	17.82	-	**	油润感	14.80	+	***
	柔软度	17.08	+	***	身份	12.58	-	***
感官品质总分	柔软度	18.48	+	***	油润感	15.95	+	***
	油润感	18.17	+	***	柔软度	14.41	+	***
	叶片结构	14.42	+	***	叶片结构	13.94	+	***

可知,中部叶外观特征对感官品质的相对贡献率分析表明,油润感、柔软度、叶片结构3项外观特征对香气质、杂气、干燥感及总体感官品质得分的累计贡献率分别达到49.62%、48.07%、52.80%、51.07%,这3项外观特征对香气量、回甜等其他感官品质指标得分的相对贡献率也较高,表明油润感、柔软度、叶片结构是影响中部叶样品感官品质的重要外观特征。上部叶外观特征对感官品质的相对贡献率分析表明,油润感和柔软度2项外观特征对香气质、杂气、干燥感及回甜得分的累计贡献率分别达到30.78%、28.81%、28.54%、29.42%;油润感、柔软度、叶片结构3项外观特征对香气量及总体感官品质得分的累计贡献率分别达到43.19%、44.30%,表明油润感、柔软度、叶片结构是影响上部叶总体感官品质的重要外观指标。

影响中、上部烟叶总体感官品质的前三位关键指标均为油润感、柔软度和叶片结构,柔软度对中部叶总体感官品质的正向影响更为关键,而油润感对上部叶总体感官品质的正向影响更为关键,叶片结构对中上部烟叶总体感官品质的重要性均排在第三位。已有研究表明^[21],烟叶油润感与总氮含量存在极显著负相关,与水溶性糖含量存在极显著正相关,烟叶油润感的多寡可以反映烟叶糖碱比是否协调。上部叶由于着生位置等指标的影响,烟碱含量与中部叶相比较,因此上部叶糖碱比协调与否对其感官品质产生较大影响,这也可能是油润感在影响上部叶感官品质关键外观指标中最为重要的原因。研究表明^[22],烟叶柔软度与总糖、还原糖关系密切,烟叶越柔软,其总糖、还原糖含量越高,而还原糖含量与中部叶感官品质存在正相关关系^[23],这可能是柔软度在影响中部叶感官品质关键外观指标中排在首位的原因。张小利等^[24]研究发现,叶片结构与初烤烟叶吸食品质中的定性综合评价及香气量、香气质等6项单项指标间均存在极显著相关,但未考虑叶片结构对不同部位烟叶感官品质的差异化影响。本文研究结果表明,叶片结构对中部叶感官品质的影响侧重于香气质和烟气的口感特性,而对上部叶感官品质的影响侧重于香气量和烟气浓度。

3 结论

对2019年度6个代表性烤产区的中、上部烤烟烟叶外观特征及感官品质指标进行描述统计及正态性检验,结果表明,外观特征指标中仅上部叶样品油润感分值服从正态分布,其他外观特征指标分值均未通过正态性检验。通过Spearman相关分析方法对烤烟外观特征指标与感官品质指标间的相关性进行分析,发现中部叶外观指标除身份外均与总体感官品质在0.1%水平显著正相关;上部叶颜色纯正度、成熟度、叶片结构、光泽度、柔软度、油润感与总体感官品质在0.1%水平显著正相关,身份与总体感官品质在0.1%水平显著负相关。采用偏最小二乘回归分析方法对影响烟叶感官品质的外观特征指标进行筛选,结果表明,油润感、柔软度、叶片结构3项外观特征对中部叶香气质和总体感官品质的累计贡献率分别为49.62%和51.07%,对上部叶香气量和总体感官品质的累计贡献率均高于40%,叶片结构、柔软度、油润感是影响中部叶和上部叶感官品质的关键外观指标,即中上部烤烟的叶片结构越疏松、叶片越柔软、油润感越强,其感官品质越高,该结果可进一步应用在后续烟叶原料的工业分选过程中。

参考文献:

- [1] 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,2010:25-26.
- [2] 王信民,李锐,魏春阳,等.烤烟外观区域特征感官评价指标的筛选[J].烟草科技,2011(3):59-68.
- [3] 王桂瑶,郭文,李玉娥,等.不同香型区烤烟外观区域特征差异及其与感官质量的关系[J].中国烟草科学,2022,43(3):64-70.
- [4] 左伟标,蔡宪杰,王皓,等.沂蒙丘陵生态区蜜甜焦香烤烟外观特征及与烟叶品质的关系[J].中国烟草科学,2022,43(1):75-81.
- [5] 王俊,赵宇,肖勇,等.烤烟分组级因素与化学、感官质量的典型相关分析[J].中国烟草科学,2018,39(4):80-86.
- [6] 魏春阳,罗朝鹏,李锋,等.初烤烟叶主要外观性状与评吸质量的灰色关联分析[J].烟草科技,2010(10):48-51.
- [7] 江厚龙,陈涛,马红辉,等.重庆烟区烤烟感官品质主要影响因子分析[J].烟草科技,2014(6):87-92.

- [8] 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.
- [9] 金林,李研.几种相关系数辨析及其在R语言中的实现[J].统计与信息论坛,2019,34(4):3-11.
- [10] 梁吉业,冯晨娇,宋鹏.大数据相关分析综述[J].计算机学报,2016,39(1):1-18.
- [11] KOWALSKI C J. On the effects of non-normality on the distribution of the sample product-moment correlation coefficient[J]. Journal of the Royal Statistical Society Series C, 1972, 21(1):1-12.
- [12] YOHANAN W. Collinearity diagnosis for a relative risk regression analysis: An application to assessment of diet cancer relationship in epidemiological studies[J]. Statistics in Medicine, 1992, 11(10):1273-1287.
- [13] WISE B M, GALLAGHER N B. The process chemometrics approach to process monitoring and fault detection[J]. Journal of Process Control, 1986, 6(6):329-348.
- [14] HOSKULDSON A. PLS regression methods[J]. Journal of Chemometrics, 1988, 2(3):211-228.
- [15] HASTIE T, TIBSHIRANI R, FRIEDMAN J. The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction[M]. New York: Springer Press, 2013.
- [16] 邓小华,周冀衡,杨虹琦,等.湖南烤烟外观质量量化评价体系的构建与实证分析[J].中国农业科学,2007(9):2036-2044.
- [17] 蔡宪杰,王信民,尹启生.成熟度与烟叶质量的量化关系研究[J].中国烟草学报,2005,11(4):42-46.
- [18] 游士兵,严研.逐步回归分析法及其应用[J].统计与决策,2017(14):31-35.
- [19] 闫铁军,马俊桃,刘文锋,等.烟叶外观质量与感官舒适性的相关性分析[J].湖北农业科学,2021,60(23):109-113.
- [20] 林顺顺,张晓鸣.基于PLSR分析烟叶化学成分与感官质量的相关性[J].中国烟草科学,2016,37(1):78-82.
- [21] 郭文,左伟标,蔡宪杰,等.武陵秦巴部分醇甜香型产区烤烟外观特征及其与常规化学成分和感官品质的关系[J].烟草科技,2021,54(6):30-36.
- [22] 张书伟,过伟民,陈祥,等.烤烟柔韧性与内在品质的相关性分析[J].中国烟草科学,2022,43(1):82-88,95.
- [23] 杜娟,张楠,许自成,等.烤烟不同部位烟叶主要化学成分与感官质量的关系[J].郑州轻工业学院学报(自然科学版),2011,26(2):16-20.
- [24] 张小利,汤朝起,王平,等.河南初烤烟叶外观性状与内在品质的关系研究[J].中国烟草科学,2011,32(1):80-83.

Screening of key appearance characteristics affecting sensory quality of flue-cured tobacco based on partial least squares regression

ZHANG Ziyang¹, GUO Weimin², XU Wentao¹, CHANG Naijie², XU Heng¹, PENG Yufu¹, ZHANG Shuwei¹

1. Technology Center, China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China;

2. Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou 450001, China

Abstract: In order to clarify the key appearance factors affecting sensory quality of flue-cured tobacco, 265 middle and upper leaf samples with different appearance factors were collected from 6 planting areas. The appearance characteristics and their relationship of sensory quality were analyzed using Spearman correlation and partial least squares regression. The results showed that appearance characteristics data except oil of upper leaves did not conform to the normal distribution. Appearance quality scores of middle leaf samples except leaf body had significant positive correlation with sensory quality total scores at the level of 0.1%. The color purity, maturity, leaf structure, luster, softness and oil of upper leaf samples had significant positive correlation with sensory quality total scores at the level of 0.1%. The body of upper leaves had significant negative correlation with sensory quality total scores at the level of 0.1%. The cumulative contribution rate of oil, softness and leaf structure to aroma quality and total sensory quality of middle leaves accounted for 49.62% and 51.07% respectively. The cumulative contribution rate of these 3 appearance characteristics (oil, softness and leaf structure) to aroma quantity and total sensory quality of upper leaves accounted for 43.19% and 44.30% respectively. Leaf structure, softness and leaf oil were the key factors affecting the sensory quality of the upper and middle leaves, which could be applied to industrial grading research.

Key words: flue-cured tobacco; appearance characteristics; sensory quality; partial least squares regression

(责任编辑:吴晓亭)