



程传玲,杨淑萌,李洪涛,等.重加里料结合高温烘焙对山东低次烟叶理化特性及感官品质的影响[J].轻工学报,2026,41(2):78-88.
CHENG C L, YANG S M, LI H T, et al. Effect of heavy casing addition and high-temperature baking on physicochemical properties and sensory quality of low-grade tobacco leaves in Shandong[J]. Journal of Light Industry, 2026, 41(2): 78-88. DOI: 10. 12187/2026. 02. 007

重加里料结合高温烘焙对山东低次烟叶理化特性及感官品质的影响

程传玲¹, 杨淑萌¹, 李洪涛², 管仕栓², 于存峰², 黎桂豪³, 郑力文², 张新龙²

1. 郑州轻工业大学烟草科学与工程学院, 河南 郑州 450001;
2. 山东中烟工业有限责任公司技术中心, 山东 青岛 266100;
3. 南阳市烟草公司镇平县分公司, 河南 南阳 474250

摘要:【目的】通过重加里料和高温烘焙工艺改善山东低次烟叶杂气重、刺激性大等品质缺陷,并探究不同处理工艺对烟叶品质的影响。【方法】以山东低次烟叶为材料,选取8种工艺处理的烟叶样品,分析不同工艺条件对烟叶物理特性、化学特性、感官品质和致香物质的影响。【结果】在感官品质方面,经120℃、115℃、110℃烘焙并结合4.5%里料协同作用的改性工艺处理后,烟叶在香气质、香气量、杂气、刺激性、余味等方面表现更佳,综合评价优于其他处理组。物理特性分析表明,改性工艺提高了烟丝的平衡含水率;扫描电镜显示,施加2.5%和4.5%里料时,烟叶气孔开放,有利于料液吸收,而施加6.5%里料则导致气孔堵塞,料液无法完全吸收。化学特性分析表明,里料对烟叶化学成分的影响大于烘焙强度;改性工艺可提高总糖与还原糖含量,降低总植物碱和总氮含量,使糖碱比趋于合理,并提升除新植二烯、茄酮外的致香物质总量,有利于14种差异致香物质(VIP>1的物质)累积。【结论】较适宜的工艺条件为120℃、115℃、110℃烘焙强度和4.5%里料施加量,经此工艺处理后的低次烟叶品质较好,化学成分含量适宜,香气成分含量较高,感官品质较好。

关键词:低次烟叶;高温烘焙;重加里料;理化特性;感官品质

中图分类号:TS452 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-1553(2026)02-0078-11

0 引言

优质烟叶原料是卷烟品牌高质量发展的核心基础。山东中烟烟叶库存水平适中,但低次烟叶占比偏高,而此类烟叶的香气感官品质、燃烧性、持灰能力不佳且化学成分失衡,导致其在一、二类卷烟

配方中使用受限、消耗周期长,库存积压问题愈发突出^[1-2]。因此,如何在加工过程中有效激发低次烟叶香气质量以提升其品质,进而盘活烟叶库存、提高原料利用率,成为山东烟草加工领域亟待解决的关键技术问题。

当前,针对烟叶品质改善技术路径的研究已较

收稿日期:2024-11-18;修回日期:2025-01-15;出版日期:2026-04-15

基金项目:河南省科技攻关项目(192102110212);山东中烟工业有限责任公司科技项目(202202010)

作者简介:程传玲(1977—),女,河南省南阳市人,郑州轻工业大学教授,博士,主要研究方向为烟草烟气化学及烟草工艺。

E-mail:chuanlingcheng@163.com

通信作者:张新龙(1976—),男,山东省莱阳市人,山东中烟工业有限责任公司高级工程师,主要研究方向为卷烟产品开发。

E-mail:zhangxl222sd@163.com

为深入,包括酶制剂、微生物、工艺及香料等^[3-6]。例如,刘洪坤等^[3]针对低次烟叶特点,筛选多种酶系、菌系,并对发酵工艺条件进行优化,显著改善了杂气、刺激性、余味等感官品质,提升了低次烟叶的可用性;朱红琴等^[7]采用通氮气烘烤的方式,提高了烟叶主要化学成分和致香成分含量,从而改善了其感官品质;李金兰等^[8]研究发现,叶丝经适度烘焙处理后,地方性杂气明显下降,烘焙香与焦甜香凸显,烟气透发,口感舒适性提升。山东低次烟叶含糖量少,烟碱和总氮含量高,吃味差,刺激性大^[9],理化特点与白肋烟相似,行业曾借鉴白肋烟工艺对其进行烘焙处理^[10-11],但针对其系统性、靶向式质量提升研究仍相对薄弱。

鉴于此,基于烟叶传统加工工艺,本文提出以重加里料与高温烘焙为两大核心关键工序的低次烟叶改性加工工艺,深入探究不同处理工艺对山东低次烟叶物理特性、化学特性及感官品质的影响,建立一套适合山东低次烟叶的专用加工工艺,以期提高其使用价值,降低其库存。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

不同工艺处理的全等级配方模块烟叶、烟丝和卷烟,由山东中烟有限责任公司提供;葡萄糖、氯化钠、无水硫酸钠,天津市光复科技发展有限公司;二氯甲烷、柠檬酸、硝酸、甲醇,天津市富宇精细化工有限公司;乙酸苯乙酯(标样),北京百灵威科技有限公司;氢氧化钠,烟台市双双化工有限公司;盐酸,上海国药集团化学试剂有限公司;磷酸氢二钠,天津市科密欧化学试剂有限公司;冰乙酸,郑州派尼化学试剂厂;硫氰酸汞、硝酸铁九水合物,天津大茂化学试剂厂。以上化学试剂均为分析纯。

1.2 主要仪器与设备

KBF240 型恒温恒湿箱、FED240 型电热鼓风干燥箱,德国 Binder 公司;Regulus 8100 冷冻型高分辨率场发射扫描电镜,日立科学仪器有限公司;METLER AE200 型分析天平(感量 0.000 1 g),瑞士 METLER TOLEDO 公司;BRAN LUEBBE AA3 型连续流动分析仪,德国 BRAN LUEBBE 公司;7890B-5977A 型 GC-MS 仪,美国惠普安捷伦科技公司;同时蒸馏萃取装置,郑州赛克斯玻璃仪器有限公司;ZDHW 型调温电热套,北京中兴伟业仪器有限公司;HH-S2 型数显恒温水浴锅,江苏金怡仪器科技有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 工艺设计 结合白肋烟加工工艺,制定满足山东低次烟叶需求的加工工艺来提高其品质,具体如图 1 所示。山东低次烟叶经分片、松散回潮、叶片增温增湿处理后,在加里料机中添加适量里料(主要为质量分数 75% 的转化糖),在柜内贮存 2 h 后进行烘焙处理,通过加表料机进行加料或调节水分后作为模块烟叶使用。

不同处理工艺的主要参数见表 1,其中 AK 为常规烟叶的传统处理工艺,不加里料,不进行烘焙处理;AKD 为不加里料,但进行低强度烘焙处理的烘焙工艺;A1—A6 为不同施加量里料及进行不同烘焙强度协同处理的改性工艺。

1.3.2 烟叶感官品质评价 参照文献[12]的方法进行感官品质评价,感官评价小组由山东中烟工业有限责任公司 9 名具有评吸资格的评委组成,选取香气质、香气量、杂气、刺激性、余味这 5 个指标,采用暗评对比方式对卷烟样品进行评价,计算各指标得分。

1.3.3 烟叶物理指标测定及微观结构观察 参照文献[13]测定烟丝平衡含水率。采用高分辨率场发射扫描电镜观察烟叶的微观结构,电压为 3.0 kV。

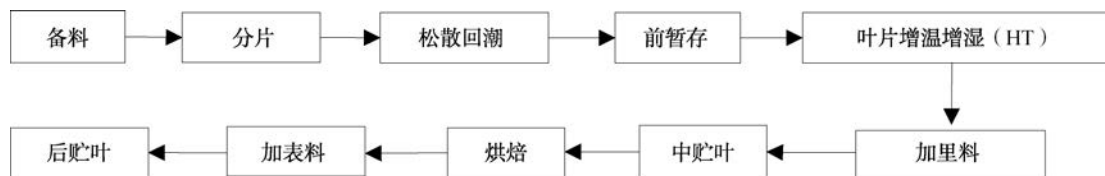


图 1 山东低次烟叶加工工艺流程图

Fig. 1 Processing flow diagram of low-grade tobacco leaves in Shandong

表1 不同处理工艺的主要参数
Table 1 Main parameters of different processing treatments

工艺简称	烘焙三区温度/℃	里料施加量/%
AK	未烘焙	0
AKD	120 115 110(低强度)	0
A1	120 115 110(低强度)	2.5
A2	130 125 120(高强度)	2.5
A3	120 115 110(低强度)	4.5
A4	130 125 120(高强度)	4.5
A5	120 115 110(低强度)	6.5
A6	130 125 120(高强度)	6.5

选取处理好的完整叶片,按照正反两面固定于样品台;将样品台放入离子溅射仪中进行喷金处理后,进行观察。电压为 3.0 kV,放大倍数为 1000 倍。

1.3.4 烟叶常规化学成分含量测定 参照文献[14-18]测定烟叶中水溶性总糖、还原糖、总氮、总植物碱、钾和氯含量,并根据上述测定数据计算钾氯比、氮碱比和糖碱比。

1.3.5 烟叶致香物质含量测定 采用同时蒸馏萃取方法提取烟丝中的致香物质:分别称取 25.0 g 烟末样品、25 g 氯化钠置于 1000 mL 圆底烧瓶中,加入 350 mL 蒸馏水和 50 mL 二氯甲烷,置于 60 ℃ 水浴锅中,萃取 2.5 h;加入无水硫酸钠干燥过夜后,用移液管加入 1 mL 质量浓度为 0.641 8 mg/mL 的乙酸苯乙酯标液进行定量,并在 60 ℃ 水浴条件下浓缩至 1 mL,将浓缩液移至色谱瓶中,待 GC-MS 进样分析。

GC-MS 分析条件如下:色谱柱为 DB-5MS (30 m×0.32 mm×0.25 μm) 毛细管柱;进样口温度为 280 ℃;传输线温度为 280 ℃;载气为 He;进样量为 1 μL;分流比为 5:1;流速为 1.00 mL/min,溶剂切除时间为 3 min。程序升温为从 50 ℃ (2 min) 以 4 ℃/min 的速率升高至 280 ℃ (20 min);EI 源电子能量为 70 eV;离子源温度为 230 ℃;四级杆温度为 150 ℃;电子倍增器电压为 1976 V;质量扫描范围为 30~550 amu。

1.4 数据处理

采用 Excel 2019 进行数据整理,利用 SPSS 27.0 软件对数据进行方差分析、主成分分析(PCA)和层次聚类分析(HCA)。使用 SIMCA 14.1 软件进行正交偏最小二乘法判别分析(OPLS-DA),计算预测变量重要性投影(Variable Importance in Projection,

VIP),以 $VIP>1$ 为标准,筛选差异致香物质。利用 Origin 2021 软件进行制图。

2 结果与分析

2.1 不同工艺处理对低次烟叶感官品质的影响

经不同工艺处理后低次烟叶的感官评价结果如图 2 所示。由图 2 可知,经不同工艺处理后,低次烟叶的感官品质存在明显差异。经 A3 处理的低次烟叶的各感官指标得分均高于其他处理组,而经 AK 处理的低次烟叶的香气质、杂气、余味得分和总分均低于其他处理组,但刺激性得分较高。感官评价总分由低到高依次为 $AK<A6<AKD<A5<A2<A1<A4<A3$,表明适宜的改性工艺处理可有效改善低次烟叶的感官质量。

2.2 不同工艺处理对低次烟叶物理特性的影响

2.2.1 烟丝平衡含水率 不同工艺处理对烟丝平衡含水率的影响如图 3 所示,其中不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$)。由图 3 可知,经 AKD 处理的烟丝平衡含水率显著大于 AK 处理,但仍低于技术指标(11.5%~13.5%)。烟丝平衡含水率低可能会导致烟叶加工性能差、刺激性大、干燥感强^[19-20]。同一烘焙强度下,施加不同比例里料后烟丝平衡含水率表现为 $A1<A3<A5$ 和 $A2<A4<A6$,整体存在显著差异;不同烘焙强度下,施加相同比例里料, A1 与 A2, A3 与 A4, A5 与 A6 的烟丝平衡含水率无显著差异,表明里料对烟丝平衡含水率的影响

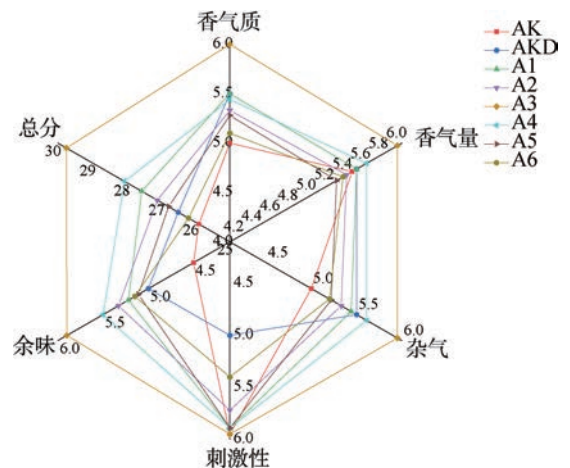


图2 经不同工艺处理后低次烟叶的感官评价结果
Fig. 2 Sensory evaluation results of low-grade tobacco leaves treated with different processing treatments

响程度大于烘焙强度。A1—A6 处理的烟丝平衡含水率均显著大于 AK 处理和 AKD 处理,表明改性工艺可明显提高烟丝平衡含水率。

2.2.2 烟叶表面微观结构 烟叶表面的整洁程度及有无颗粒状物质可直观表征里料施加量是否适宜。经不同工艺处理后低次烟叶表面的微观结构如图 4 所示。由图 4 可知,经 AK 处理的低次烟叶表面有大量的褶皱,且组织清晰,立体感强,气孔闭合;经 AKD 处理后的低次烟叶表面较 AK 处理已开始发生变化,表面较为光滑,但气孔仍处于闭合状态;对于施加不同比例里料的烟叶样品, A1、A2、A3、A4 低次烟叶表面气孔打开且形状相似,气孔缝呈狭长纺锤形,四周隆起呈心环状包围着,而烟叶表面气孔在打开状态下,能够为里料的渗透和扩散提供更好条件;A5 与 A6 低次烟叶表面附着有大量

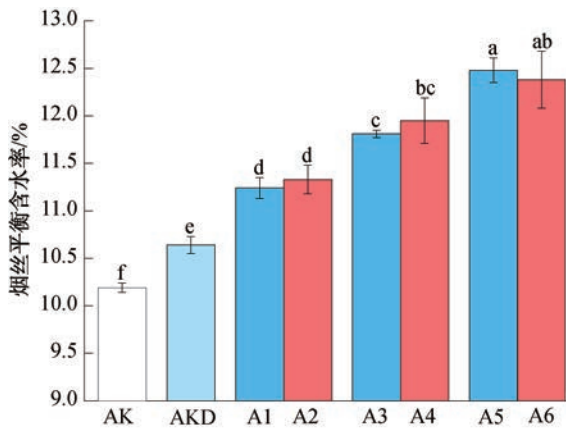


图 3 不同工艺处理对烟丝平衡含水率的影响

Fig. 3 Effects of different processing treatments on the equilibrium moisture content of cut tobacco

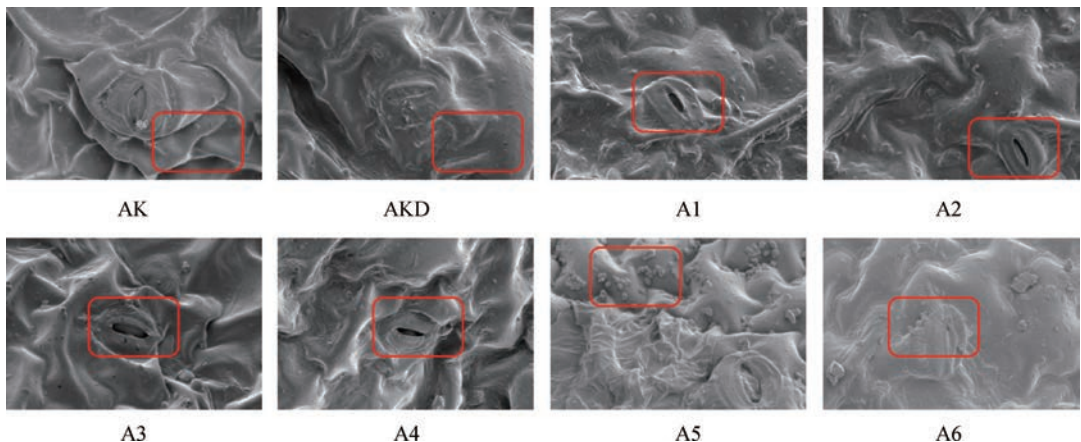


图 4 经不同工艺处理后低次烟叶表面的微观结构

Fig. 4 Surface microstructure of low-grade tobacco leaves after different processing treatments

颗粒状物质,且气孔被堵塞,可能是由于施加里料比例过于饱和,烟叶细胞无法完全吸收。

2.3 不同工艺处理对低次烟叶常规化学成分的影响

经不同工艺处理后低次烟叶常规化学成分测定结果见表 2。由表 2 可知,与 AK 处理相比,经 AKD 处理后的低次烟叶中总植物碱和总氮含量降低,而总糖和还原糖含量升高,这可能是因为高温烘焙过程中,一部分游离态烟碱和氨基酸等含氮化合物挥发^[10],一些不可溶性多糖水解生成还原糖,致使烟叶中化学成分含量发生变化。对于 A1、A3 和 A5,在同一烘焙强度下,随着里料施加量的增加,低次烟叶总植物碱和总氮含量均显著降低,而总糖和还原糖含量均显著升高,这可能是由于施加的里料主要为质量分数 75% 的转化糖,随着施加量的增加,烟叶中总糖和还原糖含量也会随之增加,而总氮和总植物碱的相对含量降低。A2、A4 和 A6 变化规律与 A1、A3 和 A5 相似。而各处理组低次烟叶中钾和氯含量均无显著差异。

对不同工艺处理后的低次烟叶常规化学成分进行 PCA 分析,结果见表 3。由表 3 可知,主成分 1 和主成分 2 的方差贡献率分别为 66.891% 和 26.721%,且主成分 2 的累计贡献率达到 93.612%。根据 PCA 分析的一般准则,即特征值大于 1,且累计贡献率大于 80%,可较好地反映烟叶常规化学成分的大部分信息,因此这 2 个主成分作为数据分析的有效成分是合理的。

表2 经不同工艺处理后低次烟叶常规化学成分测定结果

Table 2 Determination results of conventional chemical components of low-grade tobacco leaves treated with different processing treatments

样品	总植物碱含量/%	还原糖含量/%	总糖含量/%	钾含量/%	氯含量/%	总氮含量/%	氮碱比	糖碱比	钾氯比
AK	2.42 ^a	20.50 ^e	21.70 ^e	1.12 ^a	0.67 ^a	2.15 ^a	0.89 ^b	8.97 ^c	1.67 ^b
AKD	2.36 ^a	20.60 ^{de}	21.80 ^{de}	1.14 ^a	0.66 ^a	2.11 ^b	0.89 ^{ab}	9.24 ^c	1.73 ^{ab}
A1	2.39 ^a	21.00 ^e	22.05 ^e	1.18 ^a	0.65 ^a	2.05 ^{de}	0.86 ^c	9.25 ^c	1.82 ^{ab}
A2	2.38 ^a	20.85 ^{cd}	21.95 ^{cd}	1.19 ^a	0.64 ^a	2.04 ^{cd}	0.86 ^c	9.22 ^c	1.86 ^a
A3	2.27 ^b	21.70 ^b	22.75 ^b	1.17 ^a	0.63 ^a	2.03 ^c	0.89 ^{ab}	10.04 ^b	1.86 ^a
A4	2.26 ^b	21.60 ^b	22.70 ^b	1.17 ^a	0.64 ^a	2.00 ^{ef}	0.89 ^b	10.07 ^b	1.82 ^{ab}
A5	2.23 ^{bc}	22.90 ^a	23.80 ^a	1.16 ^a	0.65 ^a	1.98 ^f	0.89 ^{ab}	10.67 ^a	1.78 ^{ab}
A6	2.18 ^c	22.80 ^a	23.65 ^a	1.15 ^a	0.62 ^a	1.97 ^{ef}	0.91 ^a	10.87 ^a	1.85 ^a

注:同列不同小写字母表示组间差异显著(P<0.05)。

不同工艺处理后低次烟叶常规化学成分的主成分载荷矩阵见表4。由表4可知,总植物碱含量、还原糖含量、总糖含量、氯含量、总氮含量和糖碱比在主成分1上的载荷绝对值较高,说明主成分1基本反映了这些常规化学成分的特征信息;同样地,主成分2所反映的常规化学成分主要包括钾含量、氮碱比和钾氯比。

不同工艺处理后低次烟叶常规化学成分的主

成分载荷图如图5所示。由图5a)可知,AK与AKD,A1与A2,A3与A4,A5与A6分别分布在不同象限内,说明在里料施加量相同时,不同烘焙强度对低次烟叶的化学成分影响不大,而在同一烘焙强度下,里料施加量的影响较大,由此可知,里料对烟叶化学成分的影响作用大于烘焙强度。由图5b)可知,当聚类簇距离为5时,低次烟叶样品聚为四类,得到有效区分,且HCA分析结果与PCA分析结果较一致。

表3 不同工艺处理后低次烟叶常规化学成分2个主成分的贡献率

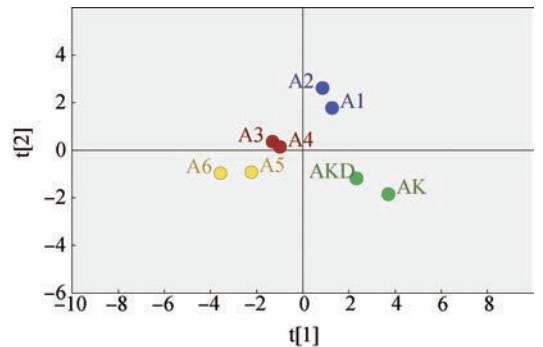
Table 3 Contribution rates of two principal components of conventional chemical components of low-grade tobacco leaves after different processing treatments

主成分	提取载荷平方和		
	特征值	方差贡献率/%	累积贡献率/%
1	6.020	66.891	66.891
2	2.405	26.721	93.612

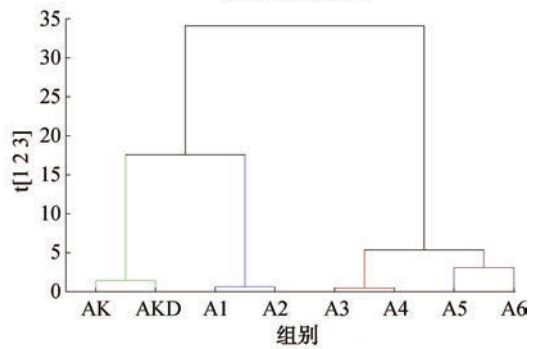
表4 不同工艺处理后低次烟叶常规化学成分的主成分载荷矩阵

Table 4 Principal component loading matrix of conventional chemical components of low-grade tobacco leaves after different processing treatments

组别	主成分1	主成分2
总植物碱含量	-0.963	-0.234
还原糖含量	0.943	0.208
总糖含量	0.940	0.234
钾含量	0.317	-0.933
氯含量	-0.839	0.331
总氮含量	-0.950	0.237
氮碱比	0.484	0.811
糖碱比	0.966	0.244
钾氯比	0.668	-0.706



a)PCA分析结果



b)HCA分析结果

图5 不同工艺处理后低次烟叶常规化学成分的主成分载荷图

Fig.5 Principal component loading diagram of conventional chemical components of low-grade tobacco leaves after different processing treatments

2.4 不同工艺处理对低次烟叶致香物质的影响

烟叶致香物质种类和含量是反映烟叶及其制品品质的重要指标。在烘焙过程中,糖类物质与氨基化合物间的棕色化反应、大分子物质降解等均可生成致香物质^[21-22]。经不同工艺处理后低次烟叶致香物质的总离子流图如图6所示。由图6可知,各样品的色谱峰在强度、保留时间及峰形上相似,仅峰面积存在差异,说明各样品中致香物质组成相近而含量有差异,正是这些致香物质的含量差异导致了卷烟感官品质的不同。

经不同工艺处理后低次烟叶主要致香物质含量见表5。由表5可知,共检出30种对低次烟叶香味有影响的主要致香物质。按香气前体物可分为美拉德反应产物、类胡萝卜素降解产物、芳香族氨基酸降解产物、西柏烷类降解产物和叶绿素降解产物。不同类别的致香物质含量变化趋势不同,含量最高的致香物质是新植二烯,约占致香物质总量的85%以上,能增加烟气丰满度,产生一种微弱的令人愉悦的气味,但经高温烘焙后其含量降低,可能是降解转化成植物呋喃等致香物质所致^[23]。除新植二烯外,其他各类致香物质中类胡萝卜素降解产物总量最多,该类物质是烟叶重要的香气前体物,其降解产物的香气阈值较低,对烤烟的香气贡献率大,是形成烤烟细腻、高雅和清新香气的主要成分,其中含量较高的是巨豆三烯酮和 β -大马酮,经烘焙和改性工艺处理后,这2种物质含量升高,其中经A3处理后类胡萝卜素降解产物总量相对较高。美

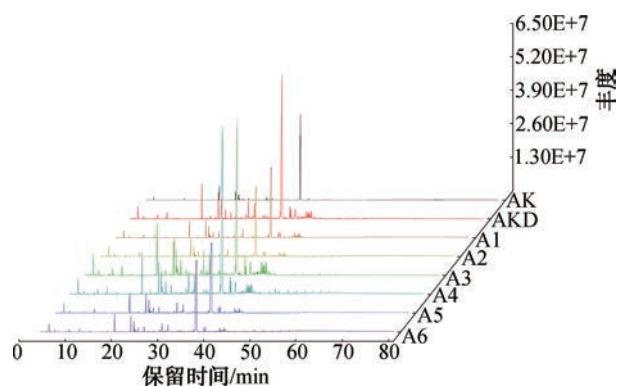


图6 经不同工艺处理后低次烟叶致香物质的总离子流图

Fig. 6 Total ion chromatogram of aroma-forming substances in low-grade tobacco leaves after different processing treatments

拉德反应是烘焙过程中发生的主要反应,其产物具有焦甜香味,对烟叶香味具有重要贡献,A4处理的低次烟叶中美拉德反应产物含量高于其他处理组。茄酮本身具有干草香、烟草本香,带果香、辛香韵,是作为单体香用于卷烟香料的重要物质之一,可改善烟香、增强吃味,A3处理的低次烟叶中其含量高于其他处理组。芳香族氨基酸降解产物一般具有花香、杏仁味、坚果香和焦香味,对烤烟的果香、清香等贡献较大^[24],其中含量较高的是苯乙醛。芳香族氨基酸降解产物总量在烘焙工艺和改性工艺处理后升高,A3处理的低次烟叶中其总量高于其他处理组。综上可知,除新植二烯总量降低之外,经烘焙和改性工艺处理后的低次烟叶中其他致香物质总量均升高,且A3处理高于其他处理组。

为进一步揭示不同工艺造成感官变化的差异致香物质,对表5中30种致香物质含量进行OPLS-DA分析,如图7所示。由图7a)可知,样品被分为四类,第I类为AK与AKD,第II类为A1与A2,第III类为A3和A4,第IV类为A5与A6,由此可知,当里料施加量相同时,烘焙强度对致香物质的影响不明显。本次分析中的自变量拟合指数(R_x^2)为0.998,因变量拟合指数(R_y^2)为0.991,模型预测指数(Q^2)为0.784, R^2 和 Q^2 超过0.5,表示模型拟合结果可接受^[25]。经过200次置换检验,如图7b)所示, Q^2 回归线与纵轴的相交点小于0,说明模型不存在过拟合,模型验证有效,因此该模型结果可鉴别不同工艺处理低次烟叶致香物质的差异性。

VIP作为衡量OPLS-DA模型变量的权重程度,可以量化模型中香气组分对样本分类的贡献度大小^[26],VIP>1表示致香物质对香气特征的贡献率较大。主要致香物质的VIP如图8所示。由图8可知,VIP>1的致香物质有14种,贡献率由大到小依次为 β -大马酮、2-乙酰基吡咯、2-乙酰基呋喃、香叶基丙酮、5-甲基-2-呋喃甲醇、茄酮、苯甲醛、巨豆三烯酮、壬醛、2-甲基四氢呋喃-3-酮、法尼基丙酮、苯乙醛、芳樟醇和5-甲基糠醛,这14种物质为差异致香物质^[26-27]。

表5 经不同工艺处理后低次烟叶主要致香物质含量

Table 5 Contents of principal aroma-forming substances in low-grade tobacco leaves treated with different processing treatments

类别	致香物质	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)							
		AK	AKD	A1	A2	A3	A4	A5	A6
美拉德反应产物	己醛	0.17	0.25	0.22	0.22	0.21	0.30	0.30	0.26
	糠醛	3.54	5.90	5.44	5.20	6.16	6.02	5.36	5.08
	壬醛	0.16	0.33	0.35	0.31	0.15	0.18	0.18	0.18
	5-甲基糠醛	—	0.58	0.59	0.58	0.86	0.83	0.95	0.92
	糠醇	—	0.91	0.91	0.93	0.85	1.21	0.82	0.88
	2-甲基四氢呋喃-3-酮	0.24	0.41	0.52	0.50	0.57	0.67	0.46	0.51
	4-环戊烯-1,3-二酮	0.12	1.63	1.72	1.76	1.71	1.76	1.86	1.85
	5-甲基-2-呋喃甲醇	—	0.16	0.22	0.21	—	0.29	—	—
	2-乙酰基呋喃	0.23	0.40	0.48	0.61	0.49	0.56	0.55	0.68
	2-正戊基呋喃	—	0.32	0.31	—	—	—	—	—
	吡咯	—	0.46	0.43	0.43	0.55	0.46	0.44	0.48
	2-乙酰基吡咯	—	0.26	0.49	0.38	0.38	0.28	0.46	0.42
	吡啶	0.13	—	—	—	—	0.21	0.09	0.06
	小计	4.59	11.61	11.68	11.13	11.93	12.77	11.47	11.32
类胡萝卜素降解产物	芳樟醇	0.45	0.55	0.51	0.48	0.63	0.64	0.67	0.59
	巨豆三烯酮	8.95	23.08	30.21	30.06	34.46	33.69	25.06	26.31
	螺岩兰草酮	0.29	1.92	1.04	1.10	1.07	0.80	1.02	0.83
	β -大马酮	9.12	11.68	12.74	11.45	15.35	12.97	11.56	10.14
	香叶基丙酮	3.13	3.62	3.16	3.91	6.94	6.31	5.94	4.43
	β -紫罗兰酮	1.39	2.66	2.96	2.66	3.51	2.69	2.82	2.63
	法尼基丙酮	2.44	5.25	7.25	7.81	7.62	7.32	7.29	6.45
	甲基庚烯酮	0.38	—	—	—	—	—	—	—
	3,4-脱氢- β -紫罗兰酮	—	—	—	—	—	0.31	0.29	—
	二氢猕猴桃内酯	0.55	1.25	1.25	1.07	1.16	0.81	0.95	0.87
愈创木酚	—	—	—	0.17	—	—	—	—	
小计	26.70	50.01	59.12	58.71	70.74	65.54	55.60	52.25	
芳香族氨基酸降解产物	苯乙醛	1.81	2.67	2.98	2.19	4.29	4.15	3.72	3.49
	苯甲醛	0.48	0.52	0.41	0.47	—	—	—	—
	苯甲醇	0.21	0.85	0.60	0.82	0.80	0.69	0.73	0.69
	苯乙醇	0.25	0.91	0.79	0.84	0.90	0.60	0.63	0.68
	小计	2.75	4.95	4.78	4.32	5.99	5.44	5.08	4.86
西柏烷类降解产物	茄酮	12.39	—	—	—	23.84	21.47	22.04	19.21
叶绿素降解产物	新植二烯	781.00	673.50	730.50	674.00	658.50	622.50	621.00	650.00
总量		827.43	740.07	806.08	748.16	771.00	727.72	715.19	737.64
除新植二烯之外,其他致香物质总量		46.43	66.57	75.58	74.16	112.50	105.22	94.19	87.64

注:—表示未检出。

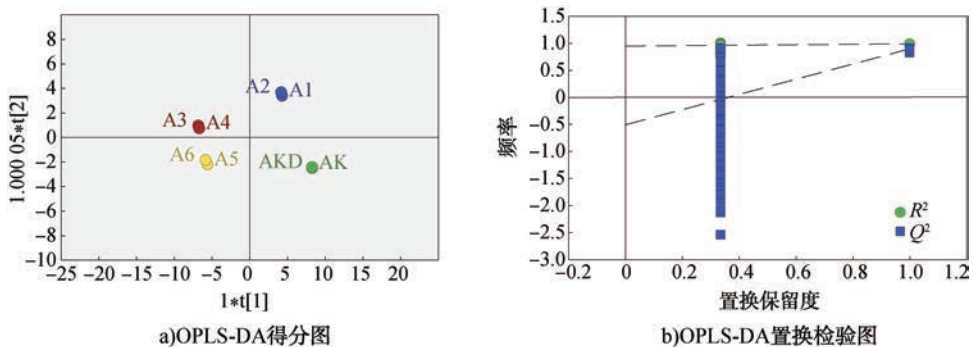


图7 经不同工艺处理后低次烟叶致香物质的 OPLS-DA 分析

Fig. 7 OPLS-DA analysis of aroma-forming substances in low-grade tobacco leaves treated with different processing treatments

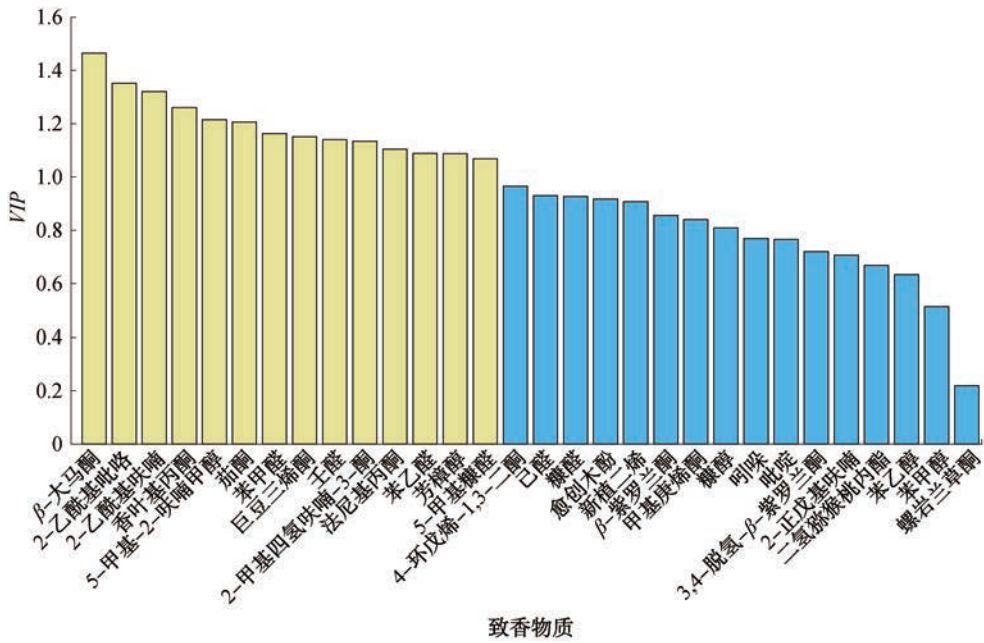


图8 主要致香物质的VIP

Fig. 8 VIP of principal aroma-forming substances

经不同工艺处理后低次烟叶关键差异致香物质的聚类热图如图9所示。由图9可知,当欧氏距离 $D=7.20$ 时,可以把样品分为5类,AK样品为第I类,其中含量较多的致香物质为苯甲醛;AKD样品为第II类,其中含量较多的致香物质为苯甲醛、壬醛和5-甲基-2-呋喃甲醇;A1和A2样品为第III类,其中含量较多的致香物质为苯甲醛、壬醛和5-甲基-2-呋喃甲醇、2-乙酰基吡咯、2-乙酰基呋喃、巨豆三烯酮、2-甲基四氢呋喃-3-酮和法尼基丙酮;A3和A4样品为第IV类,除壬醛和苯甲醛之外,其他致香物质的含量都较多;A5和A6样品为第V类,其中含量较多的致香物质为5-甲基糠醛、2-乙酰基吡咯、2-乙酰基呋喃、巨豆三烯酮、法尼基丙酮、苯乙醛、芳樟醇、香叶基丙酮和茄酮,此聚类结果与OPLS-DA模型的样品分类结果相似,由此可知,里料对烟叶致香物质的影响大于烘焙强度。对比各类样品的热图颜色,发现第IV类样品较第I、II、III和V类样品颜色更深黄,表明第IV类样品的处理工艺更有利于差异致香物质的累积,这是导致A3和A4样品感官品质优于其他样品的原因之一。

3 结论

本文从山东低次烟叶物理特性、化学成分、感

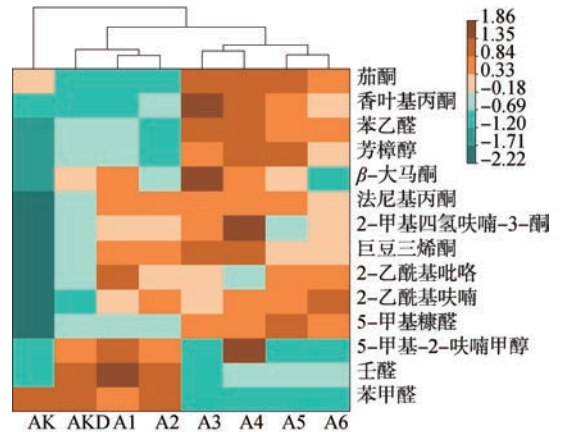


图9 经不同工艺处理后低次烟叶关键差异致香物质的聚类热图

Fig. 9 Cluster heatmap of key differential aroma-forming substances in low-grade tobacco leaves treated with different processing treatments

官品质和致香物质4个方面研究了不同工艺处理对低次烟叶品质的影响,得到以下结论:与传统烘焙工艺相比,经不同改性工艺处理后的低次烟叶平衡含水率有所提高;当里料施加量 $\geq 6.5\%$ 时,可能会导致料液在存储过程中的溢出风险。8种低次烟叶样品常规化学成分存在差异性和相似性,其中,AK与AKD,A1与A2,A3与A4,A5与A6这四大类组间存在差异,组内存在相似性。8种低次烟叶样品中共鉴定出30种致香物质,经烘焙和改性工艺处理后的低次烟叶致香物质,除新植二烯和茄酮之外,

其他致香物质含量均升高,经 A3 处理的低次烟叶致香物质总量高于其他处理组;致香物质的 OPLS-DA 分析结果与化学成分 PCA 分析结果较一致,说明里料对烟叶化学成分和致香物质的影响大于烘焙强度。以 $VIP > 1$ 为指标,从 8 种低次烟叶样品中筛选出 14 种差异致香物质,且其含量在 A3 和 A4 中比较多。结合感官品质评价确定较适宜的工艺条件为 120 °C、115 °C、110 °C 烘焙强度和 4.5% 里料施加量,经此工艺处理的低次烟叶品质较好,化学成分含量适宜,香气成分含量较高,感官品质较好。本研究通过分析不同工艺处理后烟叶的理化特性,筛选出能改善山东低次烟叶品质的工艺参数,后续可将该工艺应用到其他低次烟叶,制定出一套具有普适性的低次烟叶改性工艺技术。

参考文献:

- [1] 黄申,刘丹阳,张增辉,等. 肠杆菌和不动杆菌混菌发酵提升山东烟叶品质机制研究[J]. 轻工学报, 2023, 38(1):45-53.
HUANG S, LIU D Y, ZHANG Z H, et al. Study on improving tobacco quality mechanism of Shandong Province by *Enterobacter* and *Acinetobacter* mixed fermentation[J]. Journal of Light Industry, 2023, 38(1): 45-53.
- [2] 刘海伟,刘江,张金林,等. 山东烟叶杂气类型及其与化学成分的相关性研究[J]. 山东农业科学, 2022, 54(1):49-54.
LIU H W, LIU J, ZHANG J L, et al. Types of offensive odors in Shandong tobacco leaves and their correlations with chemical components [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2022, 54(1):49-54.
- [3] 刘洪坤,毛文龙,游敏,等. 改善低次烟叶品质的生物发酵工艺优化[J]. 中国烟草科学, 2024, 45(2):99-107.
LIU H K, MAO W L, YOU M, et al. Optimization of biological fermentation for improving the quality of discarded tobacco leaves [J]. Chinese Tobacco Science, 2024, 45(2):99-107.
- [4] 刘远上,吴攀,赵怡凡,等. 菌酶协同改善低次烟叶品质的工艺优化及对香气成分的影响[J]. 河南农业科学, 2025, 54(10):159-170.
LIU Y S, WU P, ZHAO Y F, et al. Process optimization of microbe-enzyme synergy fermentation of low-grade tobacco leaves and impact on aroma components [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2025, 54(10):159-170.
- [5] 石刚,叶林. 不同温湿度条件下蒸汽回潮对烟叶品质的影响[J]. 现代农业科技, 2024(5):165-168.
- [6] SHI G, YE L. Effect of steam regain on tobacco quality under different temperature and humidity conditions [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2024(5): 165-168.
- [6] 雷亚芳. 不同酶制剂与香料处理对烟叶品质及微生物多样性的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2021.
LEI Y F. Effects of different enzyme preparations and flavor treatments on tobacco quality and microbial diversity [D]. Shaanxi: Northwest A&F University, 2021.
- [7] 朱红琴,韩航航,张世东,等. 通氮气烘烤技术对低次烟叶品质及提取物的影响[J]. 食品工业, 2023, 44(3):48-54.
ZHU H Q, HAN H H, ZHANG S D, et al. Effects of nitrogen baking technology on quality of low-grade tobacco-leaves [J]. The Food Industry, 2023, 44(3): 48-54.
- [8] 李金兰,王道铨,罗登炎,等. 不同部位烟叶的叶丝烘焙特性[J]. 食品与机械, 2021, 37(4):195-199, 211.
LI J L, WANG D Q, LUO D Y, et al. Study on toasting characteristics of different parts of tobacco [J]. Food and Machinery, 2021, 37(4):195-199, 211.
- [9] 李萌,曾婷婷,杨金初,等. 冠突散囊菌 GT-1 固态发酵对低次烟叶品质的影响[J]. 陕西科技大学学报, 2024, 42(3):38-45.
LI M, ZENG T T, YANG J C, et al. Effect of the solid-state fermentation with *Eurotium cristatum* GT-1 on the quality of low-grade tobacco leaves [J]. Journal of Shaanxi University of Science & Technology, 2024, 42(3): 38-45.
- [10] 瞿先中,徐迎波,丁乃红,等. 低次烟叶的烘焙技术研究[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2014, 26(1):89-94.
QU X Z, XU Y B, DING N H, et al. Research of the toasting technique used in the discarded tobacco leaf [J]. Journal of Hunan University of Arts and Science (Natural Science Edition), 2014, 26(1):89-94.
- [11] 李丹,李焕威,赵瑞峰,等. 干燥方式对上部烟叶感官质量的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(9):192-195.
LI D, LI H W, ZHAO R F, et al. Effect of different drying methods on sensory quality of upper flue-cured tobacco leaves [J]. Food & Machinery, 2016, 32(9):192-195.
- [12] 国家烟草专卖局. 烟草在制品 感官评价方法:YC/T 415—2011[S]. 北京:中国标准出版社, 2012.
State Tobacco Monopoly Administration. Sensory evaluation method for tobacco products: YC/T 415—2011 [S]. Beijing: China Standards Press, 2012.
- [13] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 试样的制备和水分测定 烘箱法:YC/T 31—1996[S]. 北京:中国标准出版社, 1996.
National Tobacco Monopoly Administration. Tobacco and

- tobacco products—Preparation of test samples and determination of moisture content—Oven method: YC/T 31—1996[S]. Beijing: China Standards Press, 1996.
- [14] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 水溶性糖的测定连续流动法: YC/T 159—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- State Tobacco Monopoly Administration. Determination of water-soluble sugars in tobacco and tobacco products by continuous flow method: YC/T 159—2019[S]. Beijing: China Standards Press, 2019.
- [15] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 总氮的测定连续流动法: YC/T 161—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- State Tobacco Monopoly Administration. Tobacco and tobacco products—Determination of total nitrogen—Continuous flow method: YC/T 161—2002[S]. Beijing: China Standards Press, 2002.
- [16] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 总植物碱的测定连续流动法: YC/T 160—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- State Tobacco Monopoly Administration. Determination of total alkaloids in tobacco and tobacco products—Continuous flow method: YC/T 160—2002[S]. Beijing: China Standards Press, 2002.
- [17] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 钾的测定连续流动法: YC/T 217—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- State Tobacco Monopoly Administration. Tobacco and tobacco products—Determination of potassium by continuous flow method: YC/T 217—2007[S]. Beijing: China Standards Press, 2007.
- [18] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 氯的测定连续流动法: YC/T 162—2011[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- State Tobacco Monopoly Administration. Tobacco and tobacco products—Determination of chlorine by continuous flow method: YC/T 162—2011[S]. Beijing: China Standards Press, 2011.
- [19] 卓娅, 袁园, 代飞. 不同条件下原烟含水率对烟叶质量及重量影响的研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(18): 5954—5955, 5968.
- ZHUO Y, YUAN Y, DAI F. Effects of tobacco moisture content on quality and weight under different conditions [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(18): 5954—5955, 5968.
- [20] 牛亚军. 贵州烤烟化学成分对平衡含水率影响的研究[D]. 安徽: 安徽农业大学, 2014.
- NIU Y J. Study on the effect of chemical components of guizhou flue-cured tobacco on balanced moisture content [D]. Anhui: Anhui Agricultural University, 2014.
- [21] 张杰, 杜国荣, 矫海楠, 等. 基于美拉德反应中间产物分析的白肋烟烘焙均匀性评价方法构建[J]. 烟草科技, 2025, 58(7): 1—9, 19.
- ZHANG J, DU G R, JIAO H N, et al. An approach for assessing roasting uniformity of burley tobacco based on Maillard reaction intermediates [J]. Tobacco Science & Technology, 2025, 58(7): 1—9, 19.
- [22] 程传玲, 杨硕, 王建民, 等. 白肋烟烘焙工艺温度参数拟合优化及验证[J]. 食品与机械, 2021, 37(11): 183—187.
- CHENG C L, YANG S, WANG J M, et al. Optimization and validation of temperature parameters of Burley tobacco baking process [J]. Food & Machinery, 2021, 37(11): 183—187.
- [23] 齐永杰, 徐文兵, 张晓龙, 等. 不同打叶复烤加工强度对烤烟致香成分的影响[J]. 贵州农业科学, 2025, 53(8): 99—106.
- QI Y J, XU W B, ZHANG X L, et al. Effects of different threshing and re-drying processing intensity on aroma components of flue-cured tobacco [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2025, 53(8): 99—106.
- [24] 徐成龙, 范志勇, 胡思军, 等. 干筋期最高温度对烟叶致香物质和感官质量的影响[J]. 湖南农业科学, 2020(12): 49—51.
- XU C L, FAN Z Y, HU E J, et al. Effects of maximum temperature during stem-drying period on aroma components and sensory quality of flue-cured tobacco [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2020(12): 49—51.
- [25] 邵淑贤, 徐梦婷, 林燕萍, 等. 基于电子鼻与 HS-SPME-GC-MS 技术对不同产地黄观音乌龙茶香气差异分析[J]. 食品科学, 2023, 44(4): 232—239.
- SHAO S X, XU M T, LIN Y P, et al. Differential analysis of aroma components of Huangguanyin oolong tea from different geographical origins using electronic nose and headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Science, 2023, 44(4): 232—239.
- [26] 孙亚丽, 卞建明, 谢秋涛, 等. 基于 GC-MS 与电子鼻技术结合化学计量学方法分析不同品种桂花浸膏的挥发性成分[J]. 食品科学, 2023, 44(10): 257—264.
- SUN Y L, BIAN J M, XIE Q T, et al. Analysis of volatile components of *Osmanthus fragrans* extracts from different varieties by GC-MS and electronic nose combined with chemometrics [J]. Food Science, 2023, 44(10): 257—264.
- [27] 刘显军, 张亮, 孙海峰, 等. 基于 HS-GC-IMS 技术对不同程度霉变烟叶的判别[J]. 分析测试学报, 2024, 43(9): 1433—1441.
- LIU X J, ZHANG L, SUN H F, et al. Discrimination of different degrees of mildewed tobacco based on HS-GC-IMS technique [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2024, 43(9): 1433—1441.

Effect of heavy casing addition and high-temperature baking on physicochemical properties and sensory quality of low-grade tobacco leaves in Shandong

CHENG Chuanling¹, YANG Shumeng¹, LI Hongtao², GUAN Shishuan², YU Cunfeng²,

LI Guihao³, ZHENG Liwen², ZHANG Xinlong²

1. College of Tobacco Science and Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China;

2. Technology Center, China Tobacco Shandong Industrial Co., Ltd., Qingdao 266100, China;

3. Zhenping Branch of Nanyang Tobacco Company, Nanyang 474250, China

Abstract: **[Objective]** To mitigate the quality defects of low-grade tobacco leaves from Shandong, such as heavy off-notes and strong irritation, this study employed heavy casing addition and high-temperature baking technologies, and explored the effects of different processing techniques on their quality. **[Methods]** Taking low-grade tobacco leaves from Shandong as the test material, we selected eight leaf samples treated with different processing treatments to analyze the effects of various processing conditions on the physical properties, chemical properties, sensory quality, and aroma-forming substances of the leaves. **[Results]** In terms of sensory quality, tobacco leaves treated with the modified treatment featuring the synergistic effect of baking at 120 °C, 115 °C, and 110 °C and 4.5% casing application performed better in key aspects such as aroma quality, aroma quantity, off-notes, irritation, and aftertaste, and their comprehensive evaluation was superior to that of other treatment groups. Analysis of physical properties indicated that the modified treatment increased the equilibrium moisture content of tobacco shreds; scanning electron microscopy (SEM) showed that applying 2.5% and 4.5% casing kept the leaf pores open, facilitating the absorption of casing solution, whereas applying 6.5% casing caused pore blockage, preventing complete absorption of the casing solution. Analysis of chemical properties showed that casing had a greater impact on the chemical composition of the leaves than baking intensity. The modified treatment increased the contents of total sugars and reducing sugars, decreased the contents of total alkaloids and total nitrogen, optimized the sugar-to-alkaloid ratio, making it more reasonable. Additionally, the modified treatment increased the total content of aroma-forming substances except neophytadiene and solanone, which was conducive to the accumulation of differential aroma-forming substances (i. e., 14 substances with $VIP > 1$). **[Conclusion]** In conclusion, the optimal processing conditions are baking temperatures of 120 °C, 115 °C, or 110 °C and a 4.5% casing application rate. Leaves processed under these conditions exhibit better overall quality, appropriate chemical component contents, higher aroma-forming substance contents, and excellent sensory quality.

Key words: low-grade tobacco leaves; high-temperature baking; heavy casing addition; physicochemical property; sensory quality

[责任编辑:杨晓娟 贾学伟]