



高明奇,吴艺虹,吴剑虹,等. 乌梅复合载香颗粒的制备及滤棒加香应用研究[J]. 轻工学报,2026,41(4):57-65.
GAO M Q, WU Y H, WU J H, et al. Preparation of compound flavor-loaded granules of black plum and their application in cigarette filter rod flavoring[J]. Journal of Light Industry, 2026, 41(4): 57-65.
DOI: 10. 12187/2026. 04. 005

乌梅复合载香颗粒的制备及滤棒加香应用研究

高明奇¹, 吴艺虹², 吴剑虹¹, 黄光富¹, 王鹏飞¹, 马锋¹, 许春平²

1. 河南中烟工业有限责任公司, 河南 郑州 450016;
2. 郑州轻工业大学 烟草科学与工程学院, 河南 郑州 450001

摘要:【目的】开发一种适用于卷烟滤棒加香的新型乌梅复合载香颗粒。【方法】通过水提法制备乌梅浸膏,并与其他香料复配获得乌梅复合香料;以装载率为指标优化乌梅复合香料包合物工艺,采用滚圆造粒法制备乌梅复合载香颗粒,并分析其物理特性及稳定性;结合顶空-固相微萃取-气质联用(HS-SPME-GC-MS)技术分析该颗粒的挥发性香气成分,最后对其进行卷烟加香、烟气分析及感官评吸。【结果】乌梅复合香料香韵丰富,酸甜香韵突出,兼具花果香和膏香;乌梅复合香料的最优添加量为 300 mg/g,此时包合物的装载率最大,香料利用率最高;乌梅复合载香颗粒为浅黄色直径约为 0.6 mm 的圆形颗粒,其休止角为 31.81°,堆积密度为 0.814 3 g/cm³,平均水分含量为 20.63%。乌梅复合载香颗粒共鉴定出苯乙醇、苯甲醛等 39 种重要挥发性香气成分,赋予其花果香、奶香等复合香韵;贮存至 30 d 时香气成分总残留量 60.82%,显著高于乌梅复合香料(23.01%)。滤棒中添加 10 mg 该颗粒可显著提升香气质、香气量,降低刺激性和杂气,协调性良好。【结论】制备的新型乌梅复合载香颗粒能有效负载与稳定香料香气,可显著改善卷烟的感官抽吸品质。

关键词:包合物;乌梅;复合载香颗粒;滤棒加香

中图分类号:TS452 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-1553(2026)04-0057-09

0 引言

近年来,随着消费者健康意识的增强和烟草行业降焦减害技术的发展,降低卷烟的焦油含量成为业界普遍关注的趋势,但这会导致卷烟香气减弱、口感变差,影响消费者的抽吸体验^[1]。烟用香精香料具有丰富烟草香气、改善抽吸质量、提高烟叶品质等作用,因此卷烟加香技术成为改善“降焦减害”导致香气减弱问题的重要手段。传统的卷烟加香

方式主要包括烟丝加香、滤棒加香、包装材料加香等^[2],其中滤棒加香因具有香气损失小和转移率高的优势受到广泛关注。例如,杨龙彦等^[3]优化了 13 种醇类香料单体在卷烟滤棒中的萃取条件,建立了气相色谱-质谱联用(GC-MS)分析方法,并考查了其转移行为,发现十五醇综合表现最优,适宜滤棒加香;香料转移行为与分子结构相关,同系物中分子质量越大,持留率越高,散失率越低。

在滤棒加香技术中,香精的稳定负载和可控释

收稿日期:2025-08-31;修回日期:2025-10-16;出版日期:2026-08-15

基金项目:中国烟草总公司重大科技项目(110202201005(JY-05));河南省重大科技专项项目(231100310200)

作者简介:高明奇(1984—),男,河南省新乡市人,河南中烟工业有限责任公司高级工程师,主要研究方向为卷烟材料。
E-mail: gaomq1984@126.com。

通信作者:许春平(1977—),男,河南省焦作市人,郑州轻工业大学教授,博士,主要研究方向为生物化工与烟草工程,E-mail: xuchunping05@163.com。

放是核心挑战。颗粒材料因其良好的吸附性能和缓释特性,成为滤棒加香的重要载体,其主要包括本身含香的固体颗粒和吸附香精的多孔载体颗粒^[4]。常用的吸附剂有活性炭、多孔淀粉、植物纤维、环糊精等。例如,贾学伟等^[5]利用改良的甘草固体颗粒有效改善了卷烟香气并降低了刺激性,提升了卷烟的整体感官品质;杨继等^[6]利用环糊精包合技术获得了稳定性良好的烟草香精微胶囊;肖微等^[7]则通过多孔淀粉包合技术解决了石榴籽油的氧化酸败问题。这些研究充分证明了固体颗粒在保护敏感香料和实现缓释效果方面的显著优势。然而,目前多数研究集中于流动性差、机械强度低的粉末状包合物或简单混合颗粒,在实际滤棒成型加工中易产生粉尘和脱落,导致填充不均和载香量不稳定;另外,目前研究多为对单一香料或单一植物提取物的包埋,缺乏针对卷烟口感风格多样化需求的复配型香料体系的设计与应用研究。

鉴于此,本研究拟通过水提法制备乌梅浸膏,并将其与甘草提取物、丙位癸内酯等复配制备乌梅复合香料;采用多孔淀粉作为吸附剂,以装载率为指标优化乌梅复合香料包合物制备工艺;采用滚圆造粒法制备乌梅复合载香颗粒,并分析其物理特性及稳定性;结合顶空-固相微萃取-气质联用(HS-SPME-GC-MS)技术分析该颗粒的香气成分,并对该颗粒进行卷烟加香、烟气分析及感官评吸,旨在开发一种兼具香气稳定性与加工适应性的新型乌梅复合载香颗粒,以实现香料在卷烟滤棒中的高效负载与可控释放,改善卷烟滤棒加香品质。

1 材料和方法

1.1 主要材料与试剂

纯乌梅粉,杭州丫迷农业科技有限公司;多孔淀粉、 β -环状糊精,孟州市华兴生物化工有限责任公司;微晶纤维素,湖州市菱湖新望化学有限公司;苯乙醇、乙醇、乙酸苯酯,天津市富宇精细化工有限公司;甘草提取物,西安明朗生物科技有限公司;呋喃酮、丙位癸内酯、乙基麦芽酚,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;空白卷烟,广西中烟工业有限责任公司。除特别标注外,其余试剂均为分析纯。

1.2 主要仪器与设备

DGX-9143 型电热恒温鼓风干燥箱,上海福玛实验设备有限公司;EL204 型电子天平、HH-4 型恒温水浴锅,梅特勒-托利多仪器有限公司;E-25 型挤出机、MiNi-S 型滚圆造粒机,深圳市信宜特科技有限公司;R-M20 H 型转盘式吸烟机,德国博瓦特凯西有限公司;SP-756P 型紫外光谱分析仪,上海光谱仪器有限公司;Agilent 7890 型 GC-5975 型 MS 仪,美国 Agilent 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 乌梅复合香料及其载香颗粒制备 1) 乌梅复合香料制备。按照质量比 1 : 15 将 100 g 乌梅粉加入 1500 g 去离子水中,搅拌均匀,采用实验室前期确定的提取条件,将乌梅水溶液在 45 ℃ 水浴锅中水提 4 h,取水提液 500 g 旋蒸浓缩至 10 g,得到乌梅浸膏。为丰富香韵、增加烟气醇厚感并降低刺激性,将上述乌梅浸膏与甘草提取物、丙位癸内酯、苯乙醇、呋喃酮和乙基麦芽酚进行复配,得到乌梅复合香料,通过预实验对各组分比例进行优化调整,以嗅香评价综合得分为指标,确定了增香配方的质量分数配比为:乌梅浸膏(55%)、甘草提取物(15%)、苯乙醇(0.1%)、呋喃酮(0.1%)、丙位癸内酯(0.05%)、乙基麦芽酚(0.03%)、70%乙醇溶液(29.72%)。

2) 乌梅复合香料包合物制备^[8]。分别配制 100 mL 质量浓度为 10 mg/mL、15 mg/mL、20 mg/mL、25 mg/mL、30 mg/mL、35 mg/mL 的乌梅复合香料。取 10 g 多孔淀粉溶于乙醇水溶液中,将上述调配完成的乌梅复合香料加入其中,在室温下以 500 r/min 吸附 1 h,使香料充分负载至多孔淀粉载体上。抽滤后,于 50 ℃ 烘干 2 h,得到乌梅复合香料包合物,磨粉并避光保存。

3) 乌梅复合载香颗粒制备。称取一定量最优工艺下制备的乌梅复合香料包合物、 β -环状糊精和微晶纤维素(后两者充当黏合剂,为颗粒提供机械强度,使粉末能够滚圆成粒),搅拌均匀,加入挤出转速为 140 r/min、挤出孔径为 1 mm 的挤出机中,再将挤出的条状样品加入滚圆造粒机中,于 1400 r/min 条件下滚圆造粒 2.5 min,取出大小合适形态均匀的载

香颗粒,备用。

1.3.2 乌梅复合香料嗅香评价 由9位受过专业训练的人员组成嗅香评价小组,通过嗅觉,从甜香、酸香、果香、花香和膏香5个方面对乌梅复合香料进行评价,分辨香气特色,评定其类型、风格及典型性强弱程度^[9],每个方面最高5分,最低0分,评分结果以雷达图的形式呈现。

1.3.3 包合物装载率和装载量测定 1)标准曲线绘制。准确称取1g乌梅复合香料,加入纯水溶解后移至50mL容量瓶内进行定容,得到20mg/mL乌梅香料水溶液;分别精确移取0.25mL、0.50mL、0.75mL、1.00mL、1.25mL、2.50mL、12.50mL、25.00mL乌梅香料水溶液并用水定容至50mL容量瓶中,制成0.1~10.0mg/mL系列标准溶液。使用纯水作为空白对照,用紫外光谱分析仪于425nm波长处测定吸光度^[8]。以质量浓度(mg/mL)为横坐标,吸光度(A)为纵坐标绘制标准曲线。

2)装载率和装载量测定。参考王寒等^[10]的方法,稍作修改。称取0.50g乌梅香料包合物溶解于100mL纯水中,经超声处理10min后,于3500r/min条件下离心10min,取上清液,重复该步骤,合并两次上清液,于425nm波长处测定吸光度,根据标准曲线计算包合物的装载量和装载率。装载量(mg/g)即每g多孔淀粉吸附的乌梅香料质量,装载率(%)即被装载的复合乌梅香料在添加的复合乌梅香料中所占的百分比。计算公式如下:

$$\text{装载量} = \frac{m_1}{m_2}$$

$$\text{装载率} = \frac{m_1}{m_3} \times 100\%$$

式中, m_1 为吸附的乌梅香料质量/g; m_2 为多孔淀粉质量/g; m_3 为添加的复合乌梅香料质量/g。

1.3.4 乌梅复合载香颗粒表征 1)水分含量测定。利用烘干法,精确称取3.000g乌梅复合载香颗粒于培养皿中,质量记为 m' (g),将其放入100℃烘箱中干燥1h取出,冷却至室温后,准确称重,重复该操作,至相邻2次称重结果之差小于0.010g,记最后2次质量为 m'_1 (g)、 m'_2 (g),按下式计算乌梅复合载香颗粒含量($W/\%$)。进行3次平行实验,取平

均值。

$$W = \frac{m' - (m'_1 + m'_2)/2}{m'} \times 100\%$$

2)堆积密度测定。参考曹芸等^[11]的方法,准确称取一定质量的乌梅复合载香颗粒(m/g),倒入5mL量筒中,摇晃振荡约1min,确保其在量筒中已紧实,记录此时量筒的填充体积(V/cm^3),按下式计算乌梅复合载香颗粒的堆积密度(g/cm^3)。进行3次平行实验,取平均值。

$$\text{堆积密度} = \frac{m}{V}$$

3)休止角测定。在固定好的漏斗正下方放置圆形培养皿,将乌梅复合载香颗粒经漏斗落入培养皿形成锥体,直到锥体尖端不再变化为止,测量此时形成的圆锥体半径(r/cm),测量圆锥体高度^[12](h/cm),休止角(F)计算公式如下:

$$F = \arctan\left(\frac{h}{r}\right)$$

1.3.5 乌梅复合载香颗粒稳定性测试 通过检测不同存放时间下挥发性香气成分含量可以测定乌梅复合载香颗粒的持香能力。精确称取乌梅复合载香颗粒和乌梅复合香料各4份,每份1g,置于顶空瓶中,在温度22℃、相对湿度60%的恒温恒湿箱中分别敞口存放0d、10d、20d、30d后,进行HS-SPME-GC-MS分析,对比样品的挥发性香气成分散失情况。

另取1g乌梅载香颗粒置于顶空瓶中,添加100μL质量浓度为1mg/mL的乙酸苯酯内标溶液,压紧瓶盖密封,进行HS-SPME-GC-MS分析。

HS-SPME条件:萃取纤维头为65μm PDMS/DVS纤维头,平衡温度为80℃,平衡时间为20min^[5],解吸温度为260℃,解吸时间为3min。

GC条件:载气为He,流速1mL/min;不分流进样;DB-5毛细管柱(30m×0.32mm×0.25μm);进样口温度250℃;升温程序为初始温度40℃,保持2min,以2℃/min升至150℃,保持5min,以5℃/min升至230℃,保持10min。

MS条件:电离源EI;离子化能量70eV;扫描范围30~550amu;离子源温度230℃;四极杆温度150℃;接口温度260℃。

1.3.6 烟气成分测定 选取 10 mm 的空白卷烟滤棒,将丝束从滤嘴筒中抽出后,沿横断面剪开,平均分为 2 段。准确称量 10 mg 乌梅复合载香颗粒,将其均匀铺于滤棒截面,再将滤棒回填至滤嘴筒中,使乌梅复合载香颗粒在两端丝束中间,以空白卷烟滤棒为空白组,用转盘式吸烟机,参考《常规分析用吸烟机定义和标准条件》(GB/T 16450—2004)^[13] 规定方法进行抽吸,抽吸容量 35 mL,持续时间 2.0 s,抽吸频率 60 s,采用 92 mm 的剑桥滤片捕集卷烟主流烟气粒相物,单张滤片有效捕集 20 支卷烟的总烟气质。

抽吸完成后,将吸附烟气粒相物的剑桥滤片置于 250 mL 锥形瓶内,加入 50 mL 二氯甲烷,超声萃取 30 min,于 50 ℃ 水浴锅中浓缩,将浓缩后的萃取液经 0.22 μm 有机滤膜过滤并移至气质瓶中,添加 100 μL 质量浓度为 1 mg/mL 的乙酸苯酯内标溶液,进行 GC-MS 分析,GC-MS 条件同 1.3.5。

根据总离子流图中各色谱峰的质谱信息,经 NIST20 标准质谱库进行串联检索,选取匹配度 80 以上的物质,对各挥发性香气成分进行定性。定量则通过与内标物峰面积进行比较,得到乌梅载香颗粒香气物质含量(μg/g)及烟气成分含量(μg/支)。选取乙酸苯酯作为内标物,计算公式如下:

$$\text{目标物质含量} = \frac{\text{目标物质峰面积}}{\text{内标物峰面积}} \times \frac{\text{内标物的质量}}{\text{样品质量}}$$

1.3.7 卷烟感官评吸 参照 1.3.6 方法,分别准确称量 5 mg、10 mg 和 15 mg 的乌梅复合载香颗粒制备加香滤棒,以空白卷烟滤棒作为空白组。在温度(22±2)℃、相对湿度(60±5)%的恒温恒湿箱中平衡 48 h。组织 9 人评吸小组,根据《卷烟 第 4 部分:感官技术要求》(GB 5606.4—2005)^[14] 进行感官评吸。

2 结果与讨论

2.1 乌梅复合香料嗅香评价分析

复合乌梅香料嗅香雷达图如图 1 所示。由图 1 可知,调配的乌梅复合香料香韵丰富,酸甜香韵突出,兼具花果香、膏香。此外,复配降低了乌梅浸膏原有枯焦味及木质杂气,香味类似蜜制梅脯般香甜。

2.2 乌梅复合香料装载条件优化结果分析

乌梅复合香料标准曲线如图 2 所示。由图 2 可

知,8 个质量浓度梯度均匀分布在曲线上,且具有良好的线性关系,经拟合得到的线性回归方程为 $y = 0.1658x + 0.1723$, $R^2 = 0.9996$ 。

以最大装载率为指标对乌梅复合香料的添加量进行优化。乌梅复合香料添加量对装载量及装载率的影响如图 3 所示。由图 3 可知,乌梅复合香料在多孔淀粉中的装载率随着添加量的增多呈先升高后降低趋势,当乌梅复合香料添加量为 300 mg/g 时装载率达到最大值。因此 300 mg/g 为最优乌梅复合香料添加量,此时香料的利用率最高。

2.3 乌梅复合载香颗粒表征结果分析

通过滚圆造粒法制得形状均匀、粒径约 0.6 mm、

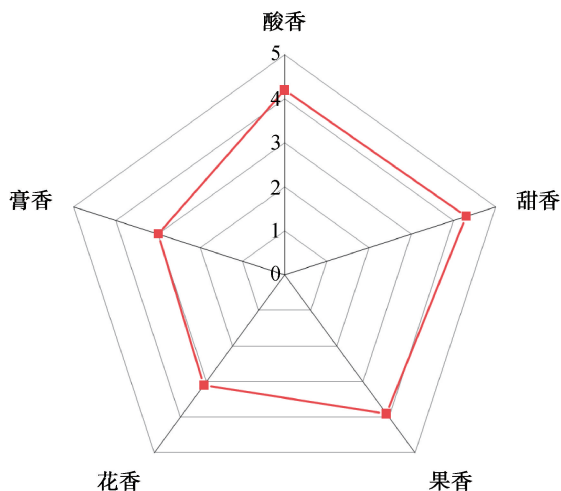


图 1 乌梅复合香料嗅香雷达图

Fig. 1 Radar chart of the aroma profile of the black plum compound flavor

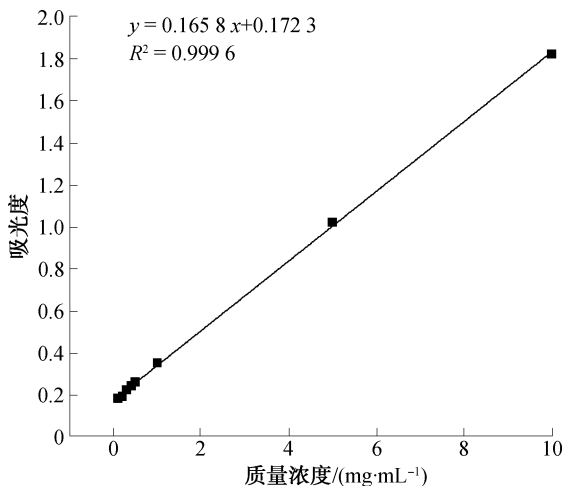


图 2 乌梅复合香料标准曲线

Fig. 2 Standard curve of the black plum compound flavor

休止角为 31.81°、堆积密度为 0.814 3 g/cm³ 的浅黄色乌梅复合载香颗粒。休止角可反映颗粒的流动性,颗粒的休止角越小则其流动性越好,而休止角≤40°代表流动性良好^[15],可满足大多数常规工业生产需求;较大的堆积密度能反映颗粒具有较高的机械强度^[16],不易破损,且形态均一,使单位体积内能容纳更多颗粒。此外,乌梅复合载香颗粒的平均水分含量为 20.63%,而较低的水分含量更有利于其储存^[17]。

2.4 乌梅复合载香颗粒挥发性香气成分分析

乌梅复合载香颗粒的挥发性香气成分见表 1。由表 1 可知,乌梅复合载香颗粒中成功保留了乌梅复合香料中的关键致香成分,其中丙位癸内酯(37.99 μg/g)、苯乙醇(18.22 μg/g)和呋喃酮(8.98 μg/g)均被检出且含量较高,证明滚圆造粒法并未导致这些核心香料的损失,实现了配方致香成分的成功负载。

乌梅复合载香颗粒中共检测出 39 种挥发性香气成分:醛类 12 种,醇类 4 种,酯类 10 种,酮类 2 种,酚类 5 种,烷烃类 5 种,酸类 1 种。醛类物质中,苯甲醛具有清甜苦杏仁香气,在低浓度时具有花香;5-甲基糠醛具有焦糖样焦甜香,可增加卷烟抽吸时的焦甜香味^[18]。酯类物质中,丙位癸内酯具有甜美的蜜桃香甜气息,并有花香、甜香,可以增加烟草的花果香^[19]。醇类物质中,芳樟醇具有类似薰衣草的花甜香韵及轻微温和木香^[20],可以增加卷烟抽吸时的花木香,提高香气的丰富感;苯乙醇具有

玫瑰蜜甜、蜂蜜甜香气^[21],能够很好地衬托烟草本香,赋予清新的花香质地。酮类物质中,呋喃酮具有焦糖香气、草莓甜香,可以增加卷烟烟气的甜香、焦甜香及果香。

综上所述,乌梅复合载香颗粒完整保留了设计配方中的关键致香成分,并具有焦甜香、果香和花甜香韵,有助于为卷烟提供丰富香韵。

2.5 乌梅复合载香颗粒稳定性分析

不同存放时间下乌梅复合香料及乌梅复合载香颗粒的香气成分残留量变化如图 4 所示。由图 4a)可知,乌梅复合香料和乌梅复合载香颗粒的香气成分总残留量随存放时间延长而降低,降低速率为先快后慢,在第 10 d 开始放缓。乌梅复合香料的降低速率远大于载香颗粒,而存放至第 10 d 时,乌梅复合香料香气成分总残留量为初始总量的 38.00%,同期乌梅复合载香颗粒香气成分总残留量则为 76.09%;而存放至第 30 d 时,乌梅复合香料香气成分总残留量仅为 23.01%,而乌梅复合载香颗粒香气成分总残留为 60.82%。

表 1 乌梅复合载香颗粒的挥发性香气成分
Table 1 Volatile aroma components of the black plum compound flavor-loaded granules

类别	名称	含量/(μg·g ⁻¹)
醛类	苯甲醛	16.77
	顺式-柠檬醛	2.37
	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	4.98
	辛醛丙二醇缩醛	1.40
	香兰素	0.26
	5-甲基糠醛	5.54
酯类	水杨酸甲酯	0.65
	水杨酸乙酯	3.90
	丙位癸内酯	37.99
	月桂酸乙酯	0.55
醇类	芳樟醇	1.64
	桉叶油醇	2.11
	苯乙醇	18.22
酮类	呋喃酮	8.98
	香叶基丙酮	0.65
酚类	香芹酚	1.12
	4-乙基愈创木酚	0.41
	乙基麦芽酚	2.22
其他	油酸	1.07
	D-柠檬烯	0.55

注:仅列出对香气有贡献的挥发性成分。

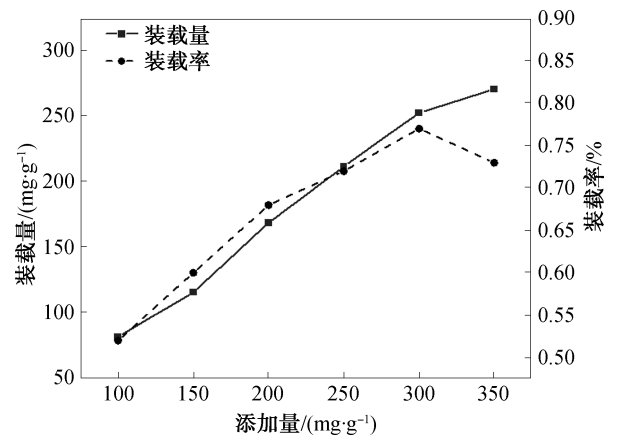


图 3 乌梅复合香料添加量对装载量及装载率的影响
Fig.3 Effect of black plum compound flavor addition on the loading capacity and loading rate

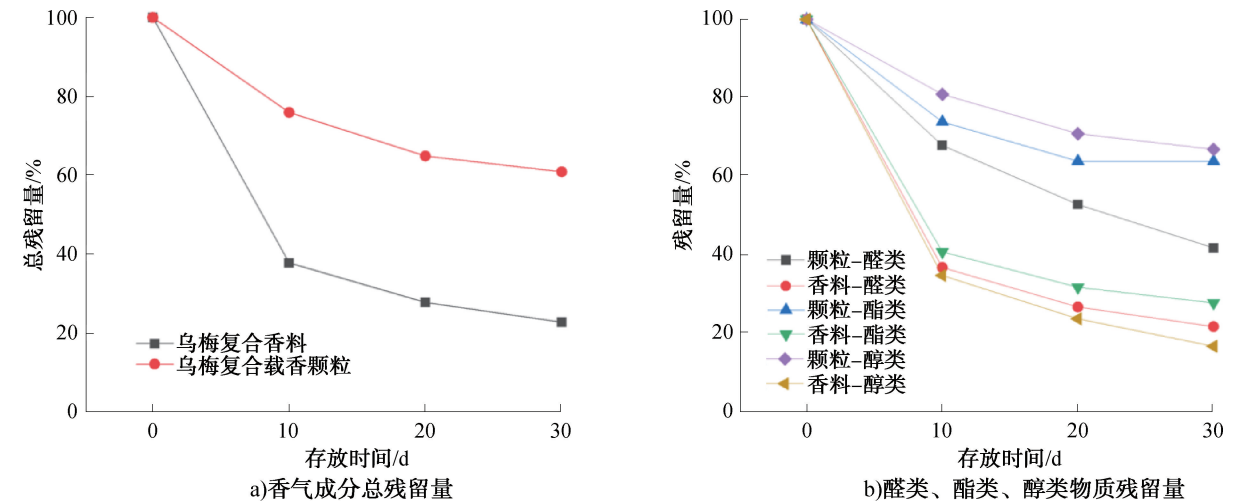


图 4 不同存放时间下乌梅复合香料及乌梅复合载香颗粒的香气成分残留量变化
Fig. 4 Changes in residual aroma component contents of the black plum compound flavor and the compound flavor-loaded granules under different storage times

选取醇类、酯类和醛类 3 类关键香气成分进行对比分析,结果如图 4b) 所示。由图 4b) 可知,乌梅复合载香颗粒中各类成分的残留量均明显高于同期乌梅复合香料。对于挥发性较强的醛类物质,保存至第 30 d,乌梅复合香料中醛类残留量仅 22.03%,而乌梅复合载香颗粒中残留量约 42.48%。对于酯类和醇类物质,乌梅复合载香颗粒也表现出较好的稳定性。乌梅复合香料中的酯类物质在第 30 d 时残留量约 27.81%,而乌梅复合载香颗粒中的酯类物质残留量约 63.75%;醇类物质的变化趋势与之类似。综上所述,多孔淀粉制备的乌梅复合载香颗粒对不同挥发性香气成分均具有良好的稳定作用,其原因可能是多孔淀粉丰富的孔隙可有效吸附乌梅复合香料,能起到定香的作用,使载香颗粒的香味成分释放更加缓慢。

2.6 乌梅复合载香颗粒加香后烟气成分分析

乌梅复合载香颗粒加香后烟气中共检出 59 种挥发性成分,其中生物碱类 2 种,杂环类 5 种,醇类 6 种,酚类 8 种,酮类 9 种,烷烃类 2 种,酯类 9 种,醛类 4 种,萜类 4 种,酸类 5 种,其他类 5 种。主要烟气成分含量见表 2,由表 2 可知,对比空白组,加香组烟气中多种关键致香成分含量明显增加,表明乌梅复合载香颗粒在燃吸过程中能有效释放其负载的香气物质。同时,丙位癸内酯、苯乙醇、呋喃酮等多种关键致香成分成功转移至烟气中。加香组中,丙位癸内酯(0.54 $\mu\text{g}/\text{支}$)使其奶甜香韵得以体现;

表 2 乌梅复合载香颗粒加香后烟气成分含量
Table 2 Comparison of smoke component contents between the granule-flavored group and the blank group $\mu\text{g}/\text{支}$

类别	名称	空白组	加香组
醇类	苯乙醇	\	0.35
	糠醇	0.50	3.82
	酪醇	\	1.16
酮类	2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮	8.35	7.29
	烟叶酮	2.22	2.43
	法尼基丙酮	0.68	0.79
	呋喃酮	\	0.05
	四氢紫罗兰酮	\	0.50
	9-羟基-4,7-巨豆二烯-3-酮	\	1.03
	棕榈酸甲酯	0.52	1.39
酯类	丙位癸内酯	\	0.54
	亚麻酸甲酯	0.92	3.42
醛类	5-甲基呋喃醛	0.47	0.48
	5-羟甲基糠醛	9.11	10.04
	异香兰素	\	1.44
	2-十三(碳)烯醛	\	1.07
萜类	B-广藿香烯	0.41	1.08
	d-柠檬烯	0.30	1.12
	新植二烯	6.41	7.48
酸类	棕榈酸	8.83	16.69
	肉豆蔻酸	0.57	3.96
其他	4-乙基苯酚	\	0.56
	丁香酚	\	1.86
	吡啶	0.52	1.37

注:仅列出对香气有贡献的或含量增加的烟气成分,\表示未检测出。

苯乙醇(0.35 μg/支)的玫瑰花香气息增加其抽吸时的花香、清甜香;呋喃酮(0.05 μg/支)与5-羟甲基糠醛(10.04 μg/支)共同贡献了烟气浓郁的焦甜香风格。

丁香酚、异香兰素等成分虽未在乌梅复合载香颗粒中检出,但在加香组烟气中检出,其来源可能是乌梅复合载香颗粒中的某些成分与通过滤嘴的烟气成分之间进行了转化反应,生成了新的香气物质。其中,丁香酚具有花甜香韵及辛香^[22],可提升卷烟香气质、降低刺激性;异香兰素呈现浓郁奶香^[23],能丰富烟气的奶香韵调。此外,加香组烟气成分中,烟叶酮、苯乙醇等成分含量增加,烟叶酮具有烟草香、甜香和暖香,有助于增强烟草本香的醇厚感^[24];苯乙醇贡献玫瑰花香,赋予烟气清甜花香。从成分类别看,加香组酸类物质总量较空白组增加13.06 μg/g,酸类成分可调节烟气酸碱性,使其更为醇和,同时丰富烟草香气。

2.7 乌梅复合载香颗粒感官评吸结果分析

卷烟感官评吸结果见表3。由表3可知,不同添加量乌梅复合载香颗粒的卷烟均较好地保持了空白卷烟的浓香型烟草本香特征,烟气醇厚焦甜,且较空白卷烟具有更低的刺激性和杂气,余味更显甜润舒适。当乌梅复合载香颗粒添加量为5 mg时,其特征果香和甜香表现较弱,对香气质和香气量的提升有限;随着添加量增至10 mg和15 mg,果甜和花甜香气显著增强,有效丰富了烟草香气质。其中10 mg添加量展现出最佳的香韵协调性,在凸显特征香调的同时不掩盖烟草本香,香气质、香气量丰富饱满,刺激性、

杂气降低,舒适性得到改善,余味回甜;而15 mg添加量则出现残留的情况,且掩盖烟草本香。综上所述,10 mg的乌梅复合载香颗粒添加量在全面提升感官品质与保持香韵协调性之间达到了最佳平衡。

3 结论

本研究通过水提法制备乌梅浸膏,并将其与其他香料复配,制备出香韵丰富,酸甜香韵突出,兼具花果香、膏香的乌梅复合香料。以装载率为指标优化多孔淀粉包合物工艺,确定乌梅复合香料最佳添加量为300 mg/g。采用滚圆造粒法制备的乌梅复合载香颗粒呈形状均匀的浅黄色球形,粒径0.6 mm、休止角31.81°、堆积密度0.814 3 g/cm³、水分含量20.63%,表明该颗粒具有良好的流动性和机械强度,适用于滤棒加香。HS-SPME-GC-MS分析鉴定出39种如苯乙醇、苯甲醛等重要挥发性香气成分,赋予该颗粒花果香、奶香等复合香韵。稳定性实验表明,该颗粒存放至30 d时的香气成分总残留为60.82%,显著高于乌梅复合香料的23.01%。卷烟加香评吸实验表明,添加10 mg该颗粒可显著提升香气质和香气量,降低刺激性和杂气,使协调性良好。本研究开发的新型乌梅复合载香颗粒对提升卷烟品质和拓展天然香料应用具有重要参考价值。后续可深入研究该颗粒在卷烟燃吸过程中的香气释放动力学及热解行为,揭示其缓释机理,并系统评价其对卷烟烟气有害成分释放量的影响,以为该技术的安全性评价与产业化应用提供支撑。

表3 不同添加量乌梅复合载香颗粒加香卷烟感官评吸结果
Table 3 Sensory evaluation results of cigareties flavored with different addition levels of compound flavor-loaded granules of black plum

添加量/mg	光泽/分	香气/分	协调/分	杂气/分	刺激性/分	余味/分	总分/分
0	4	27.0	4.5	8	15.0	20.0	78.5
5	4	28.5	5.0	9	16.0	21.5	84.0
10	4	29.0	5.5	10	16.5	22.0	87.0
15	4	29.0	4.5	10	15.0	20.0	82.5

参考文献:

- [1] 蔡洁云,李伟雪,顾丽莉,等. 烟用香精香料来源与应用研究进展[J]. 现代化工,2023,43(S1):66-70.
CAI J Y, LI W X, GU L L, et al. Sources and applications of tobacco flavors and fragrances[J]. Modern Chemical Industry, 2023, 43(S1):66-70.
- [2] 朱亚峰,胡军,唐荣成,等. 卷烟滤嘴加香研究进展[J]. 中国烟草学报,2011,17(6):104-109.
ZHU Y F, HU J, TANG R C, et al. Recent advances in research and development in cigarette filter flavoring technique[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2011, 17(6):104-109.
- [3] 杨龙彦,张珂婕,宁振兴,等. 醇类香料单体应用于滤棒加香的转移行为研究[J]. 轻工学报,2022,37(1):87-94.
YANG L Y, ZHANG D J, NING Z X, et al. Study on the transfer behavior of alcohol flavors used in filter stick perfuming[J]. Journal of Zhengzhou University of Light Industry (Natural Science Edition), 2022, 37(1):87-94.
- [4] 王坤,姚彬彬,王胜晓,等. 滤棒加香技术研究进展[J]. 精细化工中间体,2023,53(5):12-16.
WANG K, YAO B B, WANG S X, et al. Progress in the technology of flavoring cigarette filter[J]. Fine Chemical Intermediates, 2023, 53(5):12-16.
- [5] 贾学伟,代玉祥,崔春,等. 甘草固体颗粒香料的改良及卷烟加香应用[J]. 中国烟草学报,2025,31(1):30-39.
JIA X W, DAI Y X, CUI C, et al. Improvement of licorice solid granular spice and its application in cigarette flavoring[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2025, 31(1):30-39.
- [6] 杨继,陆欣宇,朱瑞芝,等. 正交试验法优选烟草香精的 β -环糊精微胶囊制备工艺[J]. 食品工业,2021,42(7):29-32.
YANG J, LU X Y, ZHU R Z, et al. Application of orthogonal array design to optimize the preparation of tobacco flavor microcapsules using β -cyclodextrin[J]. The Food Industry, 2021, 42(7):29-32.
- [7] 肖薇,郝豪奇,耿逸婉,等. 石榴籽油绿色提取及其包合物的制备[J]. 粮食与油脂,2021,34(12):56-60.
XIAO W, HAO H Q, GENG Y W, et al. Green extraction of pomegranate seed oil and preparation of its inclusion compound[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(12):56-60.
- [8] 常庆. V型多孔淀粉的制备与及其在姜黄素包载中的应用研究[D]. 无锡:江南大学,2021.
- CHANG Q. Preparation of V-type porous starch and its application in the inclusion of curcumin[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.
- [9] 芦昶彤,杨雯静,冯颖杰,等. 加热温度对红薯焦甜香原料中挥发性成分的影响[J]. 香料香精化妆品, 2024(2):133-141.
LU C T, YANG W J, FENG Y J, et al. Effect of heating temperature on volatile components of sweet potato caramel flavor[J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2024(2):133-141.
- [10] 王寒,于华忠,罗庆华,等. 大鲵油微胶囊制备工艺优化及其理化性质研究[J]. 中国油脂,2018,43(10):69-73.
WANG H, YU H Z, LUO Q H, et al. Optimization of preparation process and physicochemical properties of Chinese giant salamander oil microcapsule[J]. China Oils and Fats, 2018, 43(10):69-73.
- [11] 曹芸,张劲,王成虎,等. 烟叶原料种类对烟草颗粒热解和释烟特性的影响[J]. 烟草科技,2022,55(4):42-50.
CAO Y, ZHANG J, WANG C H, et al. Effects of tobacco types on pyrolysis and smoke release of tobacco granules[J]. Tobacco Science & Technology, 2022, 55(4):42-50.
- [12] 焦国瑞,刘晏玲,李洋洋,等. Box-Behnken 响应面法优化芍葛颗粒的干法制粒工艺及质量控制研究[J]. 天津中医药,2025,42(6):760-767.
JIAO G R, LIU Y L, LI Y Y, et al. Optimization of dry granulation process for Shaoge Granules using Box-Behnken response surface methodology and quality control research[J]. Tianjin Journal of Traditional Chinese Medicine, 2025, 42(6):760-767.
- [13] GB/T 16450—2004 常规分析用吸烟机 定义和标准条件[S].
GB/T 16450—2004 Routine analytical cigarette-smoking machine—Definitions and standard conditions[S].
- [14] GB 5606.4—2005 卷烟 第4部分:感官技术要求[S].
GB 5606.4—2005 Cigarettes—Part 4: technical requirements for sense evaluation[S].
- [15] 沈乔眉,毕先洪,林可为,等. 不同制粉工艺对芒果粉理化性质和结构特征的影响[J]. 食品工业科技, 2026, 47(3):99-108.
SHEN Q M, BI X H, LIN K W, et al. Effects of different grinding processes on the physicochemical properties and structural characteristics of mango powder[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(3):99-108.
- [16] LI X G, HE C H, LV (LYU) Y, et al. Effect of sintering temperature and dwelling time on the characteristics of

lightweight aggregate produced from sewage sludge and waste glass powder[J]. *Ceramics International*, 2021, 47(23):33435-33443.

[17] 陈斌,陈丽娟,唐建新,等. 响应面法优化茶叶籽仁霉变色选工艺[J]. *中国油脂*, 2025, 50(5):5-10.

CHEN B, CHEN L J, TANG J X, et al. Optimization for color sorting process of moldy tea seed kernel by response surface methodology [J]. *China Oils and Fats*, 2025, 50(5):5-10.

[18] 张文娟,史清照,崔凯,等. 基于感官导向的乌梅浸膏特色风味组群产品开发[J]. *中国烟草学报*, 2025, 31(3):1-11.

ZHANG W J, SHI Q Z, CUI K, et al. Development of characteristic flavor group products from black plum (*Prunus mume*) extract based on sensory-oriented approach[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2025, 31(3):1-11.

[19] 田数,赵怡凡,董露,等. 基于S曲线和分子对接对木香、奶香原料与烘烤香相互作用研究[J]. *中国食品添加剂*, 2025, 36(7):67-80.

TIAN S, ZHAO Y F, DONG L, et al. Analysis of the interactions between bakery aroma and raw material aromas (woody, milk) based on S-curve and molecular docking technology [J]. *China Food Additives*, 2025, 36(7):67-80.

[20] 刘莎,郎瑞,严梅,等. 酵母菌与不同乳酸杆菌复合发酵对野木瓜酵素品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2026, 47(4):36-48.

LIU S, LANG R, YAN M, et al. Effect of co-fermentation of yeast with different *Lactobacillus* species on the quality of *Stauntonia chinensis* ferment [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2026, 47(4):36-48.

[21] 方嘉炜,严锦申,钟帅,等. 毕节烟区不同产地烟叶的感官质量特征及关键香气成分[J]. *烟草科技*, 2024, 57(8):21-31.

FANG J W, YAN J S, ZHONG S, et al. Sensory quality characteristics and key aroma components of tobacco leaves from different tobacco planting areas in Bijie[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2024, 57(8):21-31.

[22] 罗俊华,龙勇,汪雪娇,等. 基于香气强度和活度值的贵州烟叶蜜甜香特征风味成分分析[J]. *分析测试学报*, 2025, 44(6):1055-1065.

LUO J H, LONG Y, WANG X J, et al. Analysis of flavour components of honey-sweet aroma characteristics of Guizhou tobacco based on aroma intensity and activity value [J]. *Journal of Instrumental Analysis*, 2025, 44(6):1055-1065.

[23] 李兰兰,廖卢艳,任贤龙,等. 基于电子鼻和全二维气相色谱质谱联用法分析不同稳定化米糠挥发性成分差异[J]. *现代食品科技*, 2025, 41(12):220-230.

LI L L, LIAO L Y, REN X L, et al. Analysis of the differences in volatile components of different stabilized rice brans based on electronic nose and comprehensive two-dimensional gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Modern Food Science & Technology*, 2025, 41(12):220-230.

[24] 许春平,周旺,徐达,等. 美拉德反应制备甜橙香料工艺优化及其抗氧化活性评价[J]. *粮食与油脂*, 2025, 38(6):102-109.

XU C P, ZHOU W, XU D, et al. Optimization of the preparation process of sweet orange flavor by Maillard reaction and evaluation of its antioxidant activity [J]. *Cereals & Oils*, 2025, 38(6):102-109.

Preparation of compound flavor-loaded granules of black plum and their application in cigarette filter rod flavoring

GAO Mingqi¹, WU Yihong², WU Jianhong¹, HUANG Guangfu¹, WANG Pengfei¹, MA Feng¹, XU Chunping²

1. China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou 450016, China;

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

Abstract: [Objective] To develop novel compound flavor-loaded granules of black plum for cigarette filter rod flavoring. **[Methods]** Black plum extract was first prepared by water extraction and then blended with other flavorings to obtain a black plum compound flavor. The preparation process of the inclusion complex of the black plum compound flavor was optimized using the loading rate as the indicator. The black plum compound flavor-loaded granules were prepared by a spheronization method, and their physical properties and stability were analyzed. The volatile aroma components of the granules were analyzed by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). Finally, the granules were added to cigarette filter

Abstract: [Objective]To investigate the effects of stem piece content and size on cigarette physical indicators and their underlying relationships. **[Methods]**Conventional cigarettes were used as the research object, and gradient groups varying in stem piece content and size were prepared. Three-dimensional reconstruction was employed to quantify the internal component content. Correlation analysis and the CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) weighting method were applied to evaluate the effects of stem piece parameters on cigarette physical indicators. Additionally, an extreme gradient boosting (XGBoost) model was constructed to predict these indicators. **[Results]**Larger stem piece size resulted in lower stability of stem piece content in cigarettes. Stem piece content exhibited highly significant positive correlations with cigarette weight, hardness, and porosity, a significant positive correlation with circumference, and a significant negative correlation with open draw resistance. When the stem piece content was 4% and the air damper of the cigarette maker was fully closed, the cigarette physical indicators showed optimal stability and comprehensive scores. The coefficients of determination (R^2) of the optimized XGBoost models for cigarette weight, hardness, and porosity were 0.953 1, 0.950 3, and 0.875 3, respectively, indicating high predictive accuracy and significant model improvement. **[Conclusion]**Stem piece content was positively correlated with cigarette weight, hardness, and porosity, and these three indicators could be accurately predicted using the XGBoost model.

Key words:stem piece content;stem piece size;physical indexes;predictive model;XGBoost

[责任编辑:杨晓娟 刘春奎]

(上接第 65 页)

rods for flavoring, followed by mainstream smoke analysis and sensory evaluation. **[Results]**The formulated black plum compound flavor exhibited rich aromatic notes, featuring prominent sweet and sour notes along with floral, fruity, and balsamic notes. The optimal addition amount of the compound flavor was 300 mg/g, at which the inclusion complex achieved the maximum loading rate and the highest flavor utilization rate. The black plum compound flavor-loaded granules were light-yellow spherical particles approximately 0.6 mm in diameter, with an angle of repose of 31.81°, a bulk density of 0.814 3 g/cm³, and an average moisture content of 20.63%. A total of 39 volatile aroma compounds, including phenethyl alcohol and benzaldehyde, were identified in the granules, imparting composite notes such as floral, fruity, and creamy aromas. After 30 days of storage, the total residual content of aroma compounds in the granules was 60.82%, significantly higher than that of the black plum compound flavor (23.01%). The addition of 10 mg of these granules to the filter rod significantly improved aroma quality and intensity, reduced irritation and off-flavor, and resulted in good overall harmony. **[Conclusion]**The developed compound flavor-loaded granules of black plum can effectively load and stabilize volatile aroma compounds, thereby significantly improving the sensory quality of cigarettes.

Key words:inclusion complex;black plum;compound flavor-loaded granules;filter rod flavoring

[责任编辑:刘丹丹]