

沉香成分在造纸法再造烟叶中的应用研究*

宁 勇¹ 吕晓萍² 张 朝¹ 朱慧霞² 杨仁党²

(1.烟草化学安徽省重点实验室,安徽 合肥 230088;
2.华南理工大学制浆造纸工程国家重点实验室,广东 广州 510640)

摘 要:以沉香木粉、沉香精油和沉香精油微胶囊为添加物,利用造纸法制备不同形式沉香成分的再造烟叶,将其制成卷烟样品用吸烟机抽吸,通过气相色谱仪(GC)、电子鼻和气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)进行烟气成分分析。结果表明:添加沉香成分的再造烟叶中,沉香特征致香成分增加,包括倍半萜类、色酮类、硫化类物质和芳香有机硫化物质;涂布沉香精油的卷烟,主流烟气中有害成分含量不同程度地降低:总粒相物、烟碱、焦油、CO含量最高分别降低25.88%、20.83%、26.81%和7.61%。

关键词:沉香; 成分; 再造烟叶; 造纸法; 应用

中图分类号:TS6 文献标识码:A 文章编号:1001-5299(2022)01-0058-07

DOI:10.19531/j.issn1001-5299.202201010

Application of Agarwood Components in Reconstituted Tobacco Prepared by Papermaking Method

NING Yong¹ LV Xiao-ping² ZHANG Chao¹ ZHU Hui-xia² YANG Ren-dang²

(1. Anhui Key Laboratory of Tobacco Chemistry, Hefei 230088, Anhui, P.R.China; 2. State Key Laboratory of Pulp and Paper Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, Guangdong, P.R.China)

Abstract: The reconstituted tobacco flakes with different forms of agarwood components were prepared by papermaking methods. The agarwood powder, agarwood essential oil, and agarwood essential oil microcapsules were used as additive. The reconstituted tobacco flakes were made into cigarette samples and pumped by a smoking machine, and Gas Chromatography (GC), Electronic Nose and Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) were used to analyze the gas composition. The results showed that in the reconstituted tobacco flakes with agarwood components, the aroma components increased, including sesquiterpenes, chromones, sulfurized substances and aromatic organic sulfurized substances. For the cigarettes coated with agarwood essential oil, the content of harmful components in mainstream smoke reduced. The total particulate matter content nicotine content, tar content, and CO content reduced by 25.88%, 20.83%, 26.81%, and 7.61%, respectively.

Key words: Agarwood; Composition; Reconstituted tobacco flakes; Papermaking method; Application

沉香属瑞香科植物,是我国传统的保健中药材。此外,沉香也可以指白木香中含有树脂的木材^[1]。沉香对消化道系统及中枢神经系统均有药理功效,并且沉香香味独特,也被视作一种名贵香料,被广泛应用于医药、化妆、食品和造纸等行业^[2-4]。研究表明,将沉香

木材的组织或提取物以一定形式添加在卷烟中,可有效降低烟气中焦油、烟碱、总粒相物等有害物质的含量,达到香薰、降焦减害的作用^[5-8]。

造纸法再造烟叶因具有填充值高、焦油释放量低、品质相对稳定等优点,已成为卷烟配方中不可缺少的组成部分^[9-11]。随着人们生活质量的提高,生产低焦油低烟碱的香烟是烟草业今后发展的必然趋势。林凯等^[12-13]研究将野茄子叶、番木瓜叶应用在再造烟叶中,结果表明,可以提高产品的香气量,降低刺激和热辣感,改善卷烟的品质。饶国华等^[14]发现,将一定量的甜

*基金项目:烟草化学安徽省重点实验室2017年度开放课题
作者简介:宁 勇,男,工程师,研究方向为香精香料技术研究和开发
E-mail: 1060317720@qq.com
通讯作者:朱慧霞,女,博士,研究方向为生物质资源综合利用
E-mail: shanyue5230@126.com
修回日期:2021-09-27

叶菊添加到再造烟叶中,具有降低烟草薄片焦油和CO释放量的效果。陈超等^[15]以甘草渣为原料与烟梗和烟末混合制成烟草薄片纸基,切丝添加到卷烟中,明显改善了其烟气、香气、口味等。

本文从提升再造烟叶的品质,生产功能性的香薰保健卷烟角度出发,将具有药用价值的沉香以添加物的形式,通过造纸法与烟梗、烟末制备具有香薰、降焦减害功效的再造烟草薄片,并对其燃烧过程中产生的烟气进行分析,为烟草行业的产品多元化和技术的发展提供助力,为开发生产高档功能性香薰和低焦油低烟碱的卷烟提供一种新途径。

1 材料与方法

1.1 材料

越南芽庄1A级沉香木片、漂白针叶木浆,由浙江景兴纸业股份有限公司提供;纤维素酶、果胶酶、碱性蛋白酶,由上海源叶生物科技有限公司提供;其他化学试剂均为分析纯。

1.2 设备

万能粉碎机(WF-130,江阴市康和机械制造有限公司);恒温水浴锅(HWS26,上海一恒科学仪器有限公司);台式高速冷冻离心机(H2050R,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司);旋转蒸发仪(Hei-VAP Value, Heidolph);微波仪[P70F20CL-DG(BO),广东格兰仕(企业)集团有限公司];气相色谱-质谱仪(Agilent 5975,美国Agilent);电子鼻(PEN3,德国AIRSENSE);吸烟机(SM450 直线型,英国Cerulean);Agilent 气相色谱仪(7890A,美国Agilent)。

1.3 沉香木粉化学成分组成测定

将沉香木片洗净、晾干、粉碎至80目,然后对其进行成分分析,灰分含量测定参考GB/T 742—2018《造纸原料、纸浆、纸和纸板灼烧残余物(灰分)的测定(575℃和900℃)》方法进行,有机溶剂抽出物含量测定参考GB/T 2677.6—1994《造纸原料有机溶剂抽出物含量的测定》,纤维素含量测定参考硝酸-乙醇纤维素测定方法,综纤维素质量分数测定参考GB/T 2677.10—1995《造纸原料综纤维素含量的测定》,木质素含量测定参考GB/T 2677.8—1994《造纸原料酸不溶木素含量的测定》和GB/T 10337—2008《造纸原料和纸浆中酸溶木素的测定》进行,果胶含量和蛋白质含量测定分别参考GB/T 10742—2008《造纸原料果胶含量的测定》和GB/T 35809—2018《林业生物质原料分析方法 蛋白质

含量测定》。

1.4 沉香精油提取

称取100 g(以绝干计)沉香木粉,按固液比1:4加入去离子水,于微波仪中微波反应80 s。反应结束后依次用纤维素酶、果胶酶和碱性蛋白酶进行生物酶处理,用1M HCl溶液和1M NaOH溶液调节至最佳pH值,在设定温度下恒温水浴加热一定时间(纤维素酶50℃,4 h、果胶酶50℃,3 h、碱性蛋白酶40℃,3 h),每隔15 min搅动一次。反应结束常温下离心分离,用无水乙醚静置萃取收集上层液体,重复多次。将上层液体用无水硫酸钠除水,抽滤。采用旋转蒸发仪进行低温浓缩得到沉香精油。

1.5 沉香精油微胶囊制备

用1 M NaOH水溶液(及1 M HCL水溶液)调节甲醛pH至8.00±0.02,取37 wt%甲醛和尿素以2.68:1的比例于70℃的水浴中溶解,反应1 h,获得预聚体。称取50 mL去离子水及12.55 g聚-(乙烯-马来酸酐)水溶液,置于500 mL的烧杯中,在600 r/min的机械搅拌下,加入20 g沉香精油,获得乳液。将18.875 g预聚体加入乳液中,并调节pH至2.0。将上述体系升温至34℃,适当添水(第1小时内分4次分别添水15、15、50、50 mL)反应3 h。最后用去离子水将微胶囊清洗干净自然烘干,备用。

1.6 含沉香成分再造烟叶制备

分别将烟梗和烟末以1:7的比例加入水,放于恒温水浴锅中在70℃下浸渍60 min,每隔10 min揉搓一次。浸渍处理完毕进行固液分离,固体在高浓磨浆机KRK中进行2段磨浆,使其打浆度为23°SR;液体进行旋转蒸发浓缩,得到密度为1.16 g/cm³的烟末浸渍液和

表1 再造烟叶配抄工艺
Tab.1 Preparation technology of reconstituted tobacco flakes

样品编号	烟梗/%	烟末/%	针叶木浆/%	添加物质/%
1-1	50	40	10	0
1-2	50	39	10	1(沉香木粉)
1-3	50	35	10	5(沉香木粉)
1-4	50	30	10	10(沉香木粉)
2-1	50	39	10	1(沉香精油)
2-2	50	35	10	5(沉香精油)
2-3	50	30	10	10(沉香精油)
3-1	50	39	10	1(沉香精油微胶囊)
3-2	50	35	10	5(沉香精油微胶囊)
3-3	50	30	10	10(沉香精油微胶囊)

注:添加物质的百分比相对于再造烟草薄片重量。

密度为 1.235 g/cm^3 的烟梗浸渍液,以5:3的体积比混合制得涂布液^[16]。

将烟梗、烟末、23 °SR针叶木漂白浆与不同形式的沉香成分(沉香木粉、沉香精油、沉香精油微胶囊)进行配抄,定量为 70 g/m^2 ,涂布液喷涂量为再造烟叶重量的50%,在60 °C下进行真空干燥。配抄工艺如表1所示。

1.7 烟气化学组成测定

1.7.1 电子鼻检测

如表2所示,R1-R10分别代表不同传感器检测的不同物质种类。其大小代表该类物质的响应强度,值越小,说明响应强度越弱,反之越强。可通过比较不同样品各类物质的显著性差异来达到区分各类样品的目的。

表2 电子鼻传感器代表种类
Tab.2 Types of electronic nose sensors

阵列序号	传感器名称	代表的物质种类	敏感气体举例
R1	W1C	芳香成分,苯类	甲苯,10 mg/L
R2	W5S	灵敏度大,对氮氧化物很灵敏	NO_2 ,1 mg/L
R3	W3C	芳香成分灵敏,氨类	苯,19 mg/L
R4	W6S	主要对氢化物有选择性	H_2 ,100 mg/L
R5	W5C	短链烷烃芳香成分	丙烷,100 mg/L
R6	W1S	对甲基类灵敏	CH_4 ,100 mg/L
R7	W1W	对硫化物灵敏	H_2S ,1 mg/L
R8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏	CO ,100 mg/L
R9	W2W	芳香成分,对有机硫化物灵敏	H_2S ,1 mg/L
R10	W3S	对长链烷烃灵敏	CH_3 ,100 mg/L

准确称取1 g样品置于15 mL顶空瓶中,加盖密封,26 °C下静置平衡30 min后检测。电子鼻测定参数:清洗时间120 s,归零时间5 s,预进样时间8 s,测定时间60 s,载气流速400 mL/min。每个样品测定3次。

1.7.2 气相色谱-质谱仪检测

使用色谱级乙醇溶解沉香精油,通过气相色谱-质谱仪进行样品分析。

1)色谱条件:色谱柱为RTX-5MS($30\text{ m} \times 0.25\text{ mm} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$),程序升温为80 °C保持2 min,以20 °C/min升至160 °C,以2 °C/min升至230 °C,再以5 °C/min升至290 °C,保持2 min,进样温度290 °C;载气He,流速1.0 mL/min,分流比为25:1,进样量1 μL 。

2)质谱条件:EI离子源,电子能量为70 eV。在气质联用色谱图库中检测有效化学成分。

1.7.3 常规烟气成分检测

将制备好的再造烟叶置于恒温恒湿条件下平衡至少48 h后进行切丝和手工打烟,确保烟支充实、均匀,无空头,筛选出烟丝质量为 $(0.70 \pm 0.02)\text{ g}$ 的烟支,以备烟气检测。按照GB/T 19609—2004《卷烟 用常规分析用吸烟机测定总粒相物和焦油》和GB/T 23203.1—2013《卷烟 总粒相物中水分的测定 第一部分:气相色谱法》开展相应的烟气成分检测。

2 结果与分析

2.1 沉香木粉化学成分组成分析

表3 沉香木粉主要化学成分组成
Tab.3 Main chemical composition of agarwood powder

成分	纤维素	半纤维素	木质素		有机溶剂抽出物	灰分
			酸溶木质素	酸不溶木质素		
含量/%	31.60	22.43	5.08	27.51	14.96	0.96

从表3可以看出,沉香木粉中纤维素含量最多,为31.60%,半纤维素含量为22.43%。纤维素是植物纤维原料的主要组分之一,也是组成纸浆的主要成分。纤维素的分子链中有大量羟基,纤维和纤维之间通过氢键紧密地结合在一起,从而保证纸页具有一定的强度^[17]。将沉香木添加在再造烟叶中,其中大量的纤维素也为保证再造烟叶的强度提供了基础。沉香木粉中木质素含量占32.59%,主要位于纤维素纤维之间,起抗压作用。沉香木有机溶剂抽出物含量高达14.96%,主要成分为萜烯类、色酮类及芳香族类化合物^[18-19],说明沉香木粉中含有较多的精油成分,为沉香精油的提取和沉香精油微胶囊的包裹提供基础。灰分含量较少为0.96%,主要是钾、钠等无机盐类,对再造烟叶性能的影响较小。

2.2 电子鼻分析

为有效对比不同卷烟纸的气味组成,体现添加不同形式的沉香成分对卷烟的影响,本文选用10%沉香含量的样品进行对比。又因添加少量沉香木粉的再造烟叶香味不明显,且沉香木粉添加量达到10%后的再造烟叶在抄造过程中滤水较慢,成纸强度相对较低,因此,在室温下对1-1、2-3、3-3再造烟叶进行电子鼻分析。

图1为电子鼻10个传感器感应强度随时间变化的特征响应曲线。由图可见,在检测的前30 s内,传感器迅速对挥发物质作出响应,在30 s之后逐渐趋于平稳而达到一个稳定的状态。传感器W1W和W2W感应强

度变化明显,传感器W6S感应强度变化不明显,这表明再造烟叶并不产生氢化物。因此,选取稳态值(30~60 s)作为特征值进行分析,在此选择第59 s的响应值利用电子鼻部分传感器进行分析。

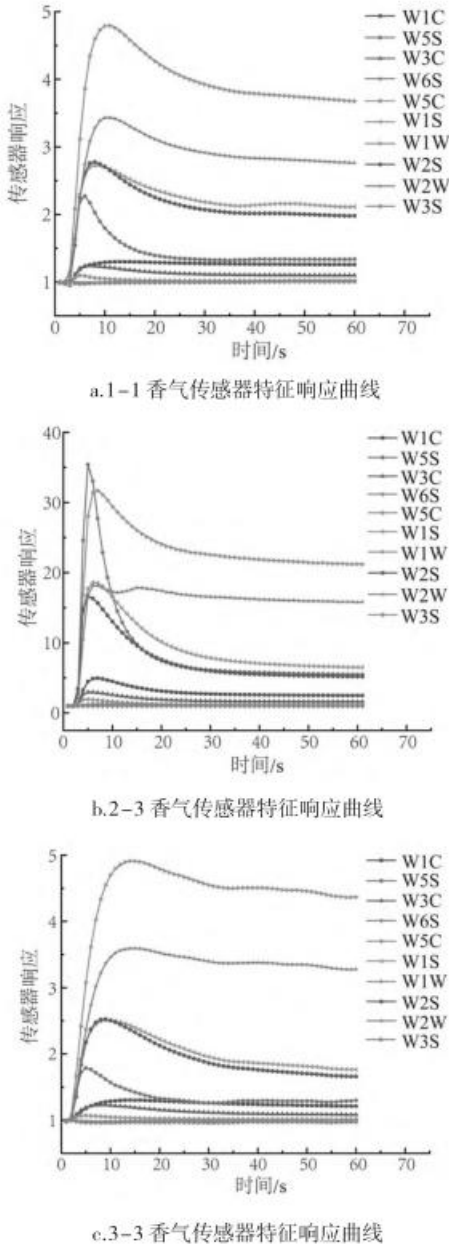
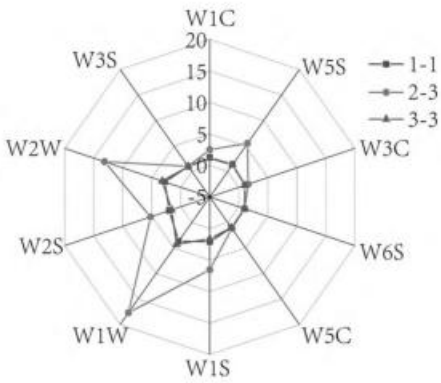


图1 电子鼻传感器对不同沉香成分再造烟叶的响应图
Fig.1 Response of electronic nose sensor to reconstituted tobacco flakes with different Aquilaria components

从图2可以看出,在室温下再造烟叶的气味成分丰富,添加沉香成分的再造烟叶对比空白组变化明显。涂布沉香精油的再造烟叶比添加沉香精油微胶囊的再造烟叶获得传感器响应值信号显著,这可能是由于微胶囊对沉香精油的挥发具有一定的阻碍和缓释作用,

室温下微胶囊几乎没有被破坏,被包裹的沉香精油挥发性小,但仍有一定的挥发,可达到控制精油缓释的目的^[20-22]。电子鼻传感器W1W(硫化类物质)、W2W(芳香有机硫化物质)对3组薄片挥发性物质响应值信号均显著较高,其中涂布沉香精油的再造烟叶挥发性物质中W1W响应值信号达到17以上,W2W响应值信号达12以上,说明再造烟叶中硫化类物质和芳香有机硫化物质浓度高,是片基的主体香味物质成分;W1S(甲基类)、W2S(醇类、醛酮类)、W5S(氮氧化合物)、W1C响应值次之;W3C(芳香氨类)、W6S(氢化物)、W3S(长链烷烃)、W5C(短链烷烃芳香成分)响应值最低。



注:雷达图从中心辐射出的10个坐标点代表10个传感器,每条坐标轴上的数据代表每个传感器响应值。

图2 电子鼻传感器对不同沉香成分再造烟叶的感应强度雷达图
Fig.2 Induction intensity of electronic nose sensor to reconstituted tobacco flakes with different Aquilaria components

2.3 气相色谱-质谱仪分析

根据NIST08 质谱数据库检索并结合相关文献,对1-1、2-3、3-3再造烟叶的主要特征组分进行定性分析并分类统计,具体见表4。

从表4可以看出,不同再造烟叶均含有常规卷烟烟气成分,其成分大致相同,都含有主要的含氮杂环化合物,包括尼古丁、六氢吡啶,1-甲基-4-(4-羟基-5-甲氧基苯基),2,4-二甲基(5,6)苯并吡啶;腈类化合物,3-(2-苯基乙基)苯甲腈;以及羧酸化合物,苯甲酸。含氮杂环化合物是烟草中一类重要的成分,提供烟草抽吸强度和满足感,可调配豆香、辛香、焦甜香,提高香气浓郁度等。再造烟叶中羧酸对于吸味口感特征而言具有积极的贡献作用,低分子量的羧酸赋予烟气气味和芳香特征。

添加沉香成分的再造烟叶对比空白组(1-1)的烟
气种类丰富程度增加,其中含硫化合物增加,2-3 的
六氢-1-甲基-2H-氮杂-2-硫酮和3-3 的6-氨基-2-
硫脲嘧啶的存在与结果2.2 电子鼻获得结果相一致。
除了含有常规烟草的香气,还含有沉香特有的挥发性
香气成分。2-3 再造烟叶涂布沉香精油,气味成分丰

表4 不同沉香成分再造烟叶主要成分分析
Tab.4 Analysis of main components in reconstituted
tobacco flakes with different Agarwood components

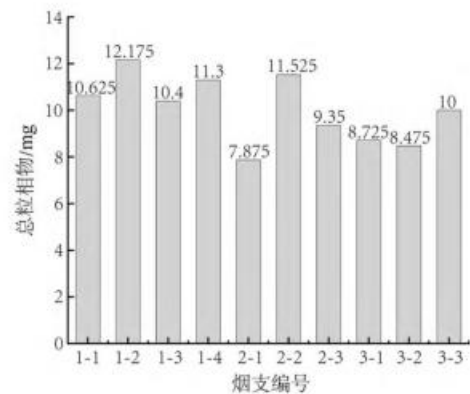
样品编号	类别	化合物名称
1-1	常规烟气成分	尼古丁
		六氢吡啶, 1-甲基-4-(4-羟基-5-甲氧基苯基)-
		2,4-二甲基(5,6)苯并吡啶
		3-氧代-2,3-二氢-1H-异吲哚-4-羧酸
		苯达酸
		3-(2-苯基乙基)苯甲腈
		噻吩-2-硫代甲酰胺
		5-乙酰基-2-(苯硫基芳基)-6-甲基烟酰胺
		(3aR,8bS)-3,3a,4,8b-四氢-2H-茚并[1,2-b]呋喃-2-酮
2-3	常规烟气成分	尼古丁
		六氢吡啶, 1-甲基-4-(4-羟基-5-甲氧基苯基)-
		2,4-二甲基(5,6)苯并吡啶
		苯达酸
		3-(2-苯基乙基)苯甲腈
		氰乙酰胺
		N,N-二甲基甲磺酰胺
		3-[(3-氨基-3-氧代丙基)硫代]丙酰胺
		六氢-1-甲基-2H-氮杂-2-硫酮
	沉香成分	2,6-二叔丁基苯酚
		β -紫罗兰酮
		柳杉二醇
		三环[4.3.1.1 ^{3,8}]十一烷-1-羧酸
		6,7-二甲氧基-2-(苯基乙基)色酮
3-3	常规烟气成分	尼古丁
		六氢吡啶, 1-甲基-4-(4-羟基-5-甲氧基苯基)-
		2,4-二甲基(5,6)苯并吡啶
		3-(2-苯基乙基)苯甲腈
		苯达酸
		6-氨基-2-硫脲嘧啶
		2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮
		(3aR,8bS)-3,3a,4,8b-四氢-2H-茚并[1,2-b]呋喃-2-酮
	沉香成分	6,7-二甲氧基-2-(苯基乙基)色酮

富,含有沉香精油特有的萜烯类化合物(柳杉二醇、三
环[4.3.1.1^{3,8}]十一烷-1-羧酸)和色酮类物质[6,7-二
甲氧基-2-(苯基乙基)色酮],以及芳香类物质(2,6-二
叔丁基苯酚、 β -紫罗兰酮)。3-3 再造烟叶添加沉香精
油微胶囊,微胶囊壳材的包裹使得再造烟叶香味挥发
性弱于直接涂布沉香精油,所获的沉香成分物质过少
以致质谱仪难以检出,但仍能通过GC-MS观察到其含
有沉香精油特有的6,7-二甲氧基-2-(苯基乙基)色酮
物质,说明沉香精油能有效增加芳香物质。

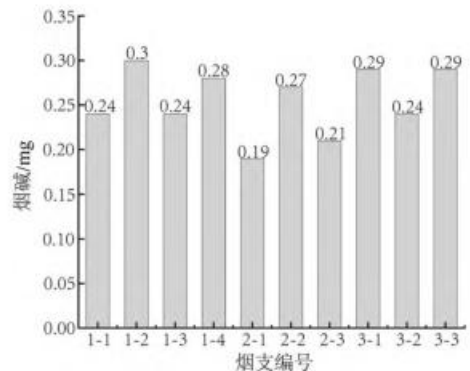
因此,沉香成分再造烟草薄片具有沉香典型的萜
类、色酮类和芳香族类物质,具有柔和、温暖而甜的木
香,这些成分具有谐调和增加卷烟烟香、缓和刺激性、
掩盖杂气的作用^[5, 23]。其中沉香精油比沉香精油微胶
囊增加的物质种类多,这与结果2.2 电子鼻获得结果
相一致。

2.4 卷烟主流烟气分析

按照GB/T 5606.1—2004《卷烟 第1 部分:抽样》和
GB/T 16447—2004《烟草及烟草制品 调节和测试的大
气环境》的方法抽样并调节卷烟样品。分别在ISO抽
吸模式下,对卷烟样品进行抽吸测试,结果图3 所示。



a.总粒相物



b.烟碱

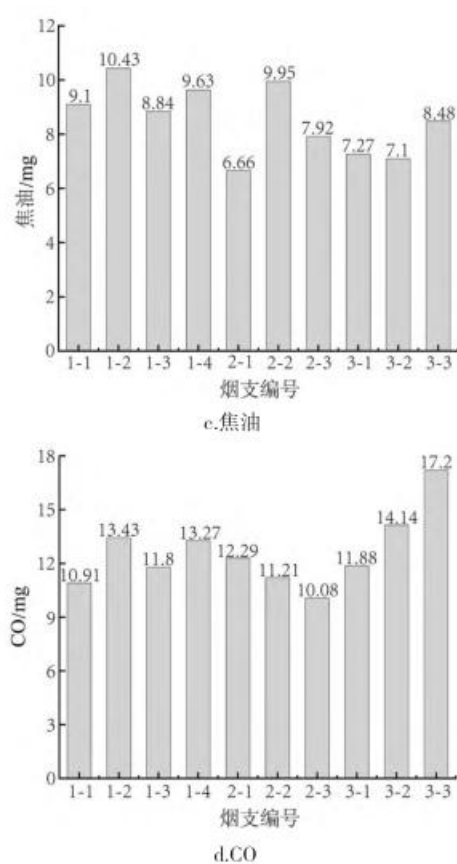


图3 不同沉香成分对再造烟叶卷烟主流烟气成分的影响
Fig. 3 Effects of different *Aquilaria* components on mainstream smoke components of reconstituted tobacco flakes

从图3可以看出,与空白组(1-1)对照对比,添加了沉香木粉的卷烟,随着沉香木粉用量的增加,其总粒相物、烟碱、焦油和CO含量均呈现先下降后上升的趋势。其中,再造烟叶添加了5%沉香木粉的卷烟烟气中总粒相物、烟碱和焦油含量最少,这是因为沉香木粉的添加提高了再造烟叶片基结构的疏松度,在烟支抽吸过程中,烟丝燃烧比较充分,所以使焦油量释放量下降^[24-27]。但由于沉香木粉中含有较多的木质素、纤维素等细胞壁成分,从热力学角度会有更多的残余焦炭成分,从而当沉香木粉含量增加后会引发焦油及CO释放量的上升^[25]。分析可知,沉香木粉的添加可在一定程度上降低卷烟烟碱和焦油的含量,但用量控制困难,效果不明显。

将沉香精油涂布在再造烟叶上,随着沉香精油用量的增加,再造烟叶卷烟烟气中总粒相物、烟碱和焦油含量均呈现先上升后下降的趋势。当沉香精油用量为1%时,卷烟主流烟气中总粒相物含量降低25.88%,烟碱含量降低20.83%,焦油含量降低26.81%。烟气中

CO的含量随着精油用量的增加而降低,可能是因为沉香精油燃烧过程中生成的物质与CO作用,从而降低了CO的排放。当沉香精油用量达到10%时,CO含量降低7.61%。

添加了沉香精油微胶囊的再造烟叶,其卷烟随着沉香精油微胶囊用量的增加,主流烟气中总粒相物、烟碱和焦油含量均呈现先下降后上升的趋势,其中总粒相物和焦油含量均低于空白组。沉香精油微胶囊添加量为5%时,总粒相物和焦油含量下降最为明显,分别降低了20.23%和21.98%。随着沉香精油微胶囊添加量的增加,卷烟主流烟气中的CO含量逐渐上升,这可能是由沉香精油微胶囊壁材燃烧所致。

3 结论

1) 沉香木具有独特香气并具有一定药理功效,其含有31.6%纤维素和22.43%半纤维素,为后续制成再造烟草薄片提供强度保障;其含有14.96%有机溶剂抽出物,主要成分为萜烯类、色酮类及芳香族类化合物,为实现香薰保健作用提供基础。

2) 不同沉香添加物对再造烟叶主流烟气成分均有一定程度的影响。沉香木粉的添加可以轻微降低卷烟焦油的释放量,但由于木质素、纤维素等细胞壁成分的存在,使得CO的量轻微增加。沉香精油的添加为再造烟叶附加了沉香特有的倍半萜类(柳杉二醇)、色酮类(6,7-二甲氧基-2-(苯基乙基)色酮)和芳香类(2,6-二叔丁基苯酚、 β -紫罗兰酮)物质,并且具有挥发性较大的硫化类物质和芳香有机硫化物质,可有效降低再造烟叶主流烟气中总粒相物、烟碱、焦油和CO的含量。在试验范围内,总粒相物、烟碱、焦油和CO含量最高可分别降低25.88%、20.83%、26.81%和7.61%。

3) 添加沉香成分可以增加再造烟叶独特的清神香气,同时还能实现降焦减害作用。

参考文献

- [1] 潘质洪. 白木香植物激素诱导结香解剖学及化学成分的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学.
- [2] 田程飘, 宋雅玲, 许海棠, 等. 超临界和水蒸气蒸馏提取沉香精油成分分析及抗氧化、抑菌活性对比研究[J]. 中国中药杂志, 2019, 44(18): 170-178.
- [3] 沈汝青, 朱力, 冯志豪, 等. 亚临界流体萃取沉香挥发油工艺的优化及精制精油测定[J]. 中成药, 2019(07): 1495-1501.
- [4] 周永强, 张焱. 沉香化学成分提取分离技术分析[J]. 临床医药文献电子杂志, 2019, 6(42): 203-203.

- [5] 秦艳,康林芝,云帆,等.沉香精油微胶囊的制备及其在卷烟纸中的应用研究[J].农产品加工,2016,47(214):14-18+21.
- [6] 韦献飞,唐荣兰,甘运生,等.中草药保健香烟的减毒及抗突变作用初步研究[J].癌变·畸变·突变,2007,19(01):70-72.
- [7] 周璐.一种人工结香沉香在燃香、卷烟及精油中的应用基础研究[D].广州:华南理工大学,2016.
- [8] 李全才.沉香香烟添加物及其制作方法、使用方法和含有香烟添加物的沉香香烟:中国,CN107874317A[P],2018-04-06.
- [9] 孙德平,姚元军,王学文,等.广金钱草在造纸法薄片中的应用:中国,CN 201010235319 [P],2012-02-01.
- [10] 周潇,李锐,马润,等.咖啡豆、咖啡种皮致香成分分析及其在再造烟叶配方中的应用研究[J].香料香精化妆品,2021(01):8-14.
- [11] 许江虹,王浩雅,孙旭海,等.造纸法再造烟叶生产废水零排放关键技术应用研究[J].中国给水排水,2020,36(18):113-117.
- [12] 林凯.番木瓜叶挥发油化学成分分析及其在卷烟中的应用[J].江西农业学报,2013,25:104-106.
- [13] 赵金涛,张云龙,林瑜,等.几种禾本科纸浆纤维在造纸法再造烟叶中的应用研究[J].林产工业,2019,46(05):37-41+58.
- [14] 饶国华,管传莉,赵瑞峰,等.甜叶菊在造纸法烟草薄片中的应用研究[J].广东农业科学,2014,41:14-19.
- [15] 陈超,田英姿.甘草渣在造纸法烟草薄片纸基中的应用研究[J].现代食品科技,2011,27:1130-1133.
- [16] 赵翠.罗布麻全秆纤维烟草薄片纸基应用研究[D].广州:华南理工大学.
- [17] WANG Y, SHENG J, CHENG Z, et al. Effective improvement of the Chinese ink diffusion properties of Xuan paper by cellulose microfibrils precipitated calcium carbonate composite filler[J]. Cellulose, 2020, 27: 1695-1704.
- [18] 李凯明,马清温,孙震晓.中药沉香主要化学成分与质量评价研究进展[J].中国新药杂志,2017(13):1538-1545.
- [19] 弓宝,杨云,黄立标.沉香精油化学成分和药理学研究关系的探讨[J].香料香精化妆品,2012(05):45-48.
- [20] 葛艳蕊.缓释型香精微胶囊的研制[D].北京:北京化工大学,2003.
- [21] 马涛,孙哲,张小军,等.微胶囊释放机制概述[J].现代农药,2017,16(05):4-9.
- [22] 万帅.壳聚糖-PLGA纳微胶囊香精在芳香墙纸中的应用及缓释性能研究[D].上海:上海应用技术大学,2020.
- [23] 左满兴,薛磊,崔洪亮.增香复合微生物对造纸法再造烟叶香味成分的影响[J].安徽农业科学,2020,48(19):194-197+234.
- [24] 郑彬炜,章伟伟,关丽涛,等.废纸回收材料化利用研究进展[J].林产工业,2020,57(01):5-7.
- [25] 罗海涛,刘思奎,何力,等.不同酶处理对再造烟叶梗膏的提质效果[J].贵州农业科学,2020,48(08):123-128.
- [26] 王艳红,周桂园,屠彦刚,等.造纸法再造烟叶感官质量评价有效性研究[J].湖北农业科学,2020,59(16):122-125.
- [27] 李鹏.造纸法再造烟叶浆料的湿部化学特性[J].当代化工研究,2020(15):153-154.

(责任编辑 张国萍)

(上接第57页)

- [17] 刘德增.也谈汉代“黄肠题凑”葬制[J].考古,1987(04):66-70.
- [18] 友之.说“黄肠题凑”及其它[J].森林与人类,2000(10):11-12.
- [19] 鲁琪.试谈大葆台西汉墓的“梓宫”、“便房”、“黄肠题凑”[J].文物,1977(06):32-35.
- [20] 张澍.三辅旧事[M].西安:三秦出版社,2006:57.
- [21] 李莉.中国传统松柏文化[M].北京:中国林业出版社,2006:111-115.
- [22] 稲畑環.渡邊大志.日本の建築学における失われた建築家像についての考察:伊東忠太「法隆寺建築論」と岸田日出刀による「建築學者伊東忠太」「法隆寺建築論」を介して[J].日本建筑学会技术报告集,2017,23:815-816.
- [23] 江西省木材工业研究所.长沙马王堆一号汉墓棺槨木材的鉴定[J].林业科技,1973(01):1-2.
- [24] 史为.长沙马王堆一号汉墓的棺槨制度[J].考古,1972(06):25+49-53.
- [25] 邱百明.从安阳隋墓中出土的围棋盘谈围棋[J].中原文物,1981(03):61-62.
- [26] 孙志刚.诘棋新作(66)[J].围棋天地,2016(20):87-87.
- [27] 孙志刚.诘棋新作(64)[J].围棋天地,2016(16):80-81.
- [28] 小原二郎.日本人と木の文化[M].東京:朝日選書,1984:98.
- [29] 邵晓峰.卓然而立的宋代桌[J].艺苑,2014(06):49-53.
- [30] 卢引科,曹桂梅,唐飞.成都市青羊区金沙村汉代廊桥遗址发掘简报[J].成都考古发现,2008:249-270.
- [31] 吴水丕,张书瑀.浅谈中国最美的廊桥—江西婺源彩虹桥之人性化设计[J].工作与休闲学刊,2010(02):90-96.
- [32] 刘忠旺.闽北廊桥概览[J].大众文艺,2014(15):58-59.
- [33] 华天初.可以考证的最早的小提琴制作者——安德烈亚·阿玛提[J].乐器,2000(02):26-27.
- [34] 陈鸿翔.黔东南地区侗族鼓楼建构技术及文化研究[D].重庆:重庆大学,2012:79-80.
- [35] 代百生.钢琴乐器的演变历史(下)[J].钢琴艺术,2009(10):31-36.

(责任编辑 张国萍)