

烟草与烟气化学

司晓喜, 唐石云, 朱瑞芝, 等. 不同原料稠浆法再造烟叶加热卷烟的气溶胶释放特性[J]. 中国烟草学报, 2021, 27(6). SI Xiaoxi, TANG Shiyun, ZHU Ruizhi, et al. Aerosol release characteristics of heated cigarettes made by slurry processed reconstituted tobacco with different tobacco materials [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2021, 27(6). doi:10.16472/j.chinatobacco.2021.023

不同原料稠浆法再造烟叶加热卷烟的气溶胶释放特性

司晓喜¹, 唐石云¹, 朱瑞芝¹, 张凤梅¹, 蒋薇¹, 向本富^{1,2},
田永峰¹, 杨继¹, 董高峰¹, 刘绍锋³, 崔华鹏^{3*}, 刘志华¹

1 云南中烟工业有限责任公司技术中心, 云南昆明红锦路367号 650231;

2 昆明理工大学化学工程学院, 云南昆明景明南路727号 650500;

3 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 河南郑州枫杨街2号 450001

摘要: 【目的】研究稠浆法再造烟叶原料类型对加热卷烟气溶胶释放特性的影响。【方法】选取代表性类型烟叶为原料, 制成稠浆法再造烟叶并卷制成加热卷烟, 比较加热条件下释放的气溶胶粒数浓度、粒数中值直径(CMD)、烟雾量和香气成分。

【结果】(1) 不同类型的上部烟叶, 粒数浓度为烤烟和晒黄烟高, CMD为晒黄烟、烤烟和香料烟大, 烟雾量为晒黄烟和烤烟大。(2) 不同类型烟叶原料再造烟叶热解释放的香气成分差异明显, 白肋烟为原料的样品产生的茄尼酮、6-甲基-5-庚烯-2-酮、生物碱代谢物麦斯明和可替宁、吡嗪和吡啶类氮杂环物质多; 晒黄烟为原料的样品产生的5-羟甲基糠醛和糠醛等醛类、4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮等酮类、糠醇、愈创木酚、麦斯明、可替宁多; 晒红烟为原料的样品产生的吡嗪类、生物碱代谢物多; 香料烟为原料的样品产生的苯乙醛多; 烤烟为原料的样品产生的香气成分大多处于居中水平, 且受烤烟香型和烟叶部位的影响。【结论】通过稠浆法再造烟叶原料的选用, 可改变产生的气溶胶粒径、浓度及香气成分释放量。

关键词: 加热卷烟; 稠浆法再造烟叶; 原料类型; 气溶胶; 香气成分

加热卷烟是一种通过低温加热烟芯材料产生气溶胶的新型烟草制品, 目前烟芯材料以再造烟叶为主要形式^[1]。由于加热卷烟专用再造烟叶对上机适应性、发烟剂负载能力、均质化水平等特殊需求, 需采用不同于传统卷烟用再造烟叶的工艺技术和条件, 制造工艺主要有稠浆法、造纸法、辊压法等^[2-3]。其中稠浆法再造烟叶是将烟草粉末、发烟剂、胶黏剂、纤维等混合形成浆料后延涂形成片材, 均质化程度高, 且生产工序简单、水耗和能耗低, 生产速度快^[1]。近年来针对不同类型的加热用再造烟叶开展了性能评价和特性分析, 相比之下稠浆法再造烟叶具有结构紧密、吸热量小、导热均匀性好和烟气递送稳定等优点, 比较

适宜用作加热卷烟烟草段材料^[4-8]。

目前针对加热卷烟专用稠浆法再造烟叶的研究报道较少^[9], 主要集中于稠浆法制备再造烟叶的专利申请^[10-11]。如CN106235376A公开了“一种适用于加热非燃烧型卷烟的再造烟叶”, 该发明制备的稠浆法再造烟叶以单种烟叶或多种烟草作为原料, 但未公开烟叶原料的配方^[12]。由于不同烟草原料化学组成、物理特性的差异, 以不同烟叶原料配方制备的再造烟叶, 直接关系加热条件下释放的气溶胶的量和香气品质^[13-15]。此外, 稠浆法再造烟叶在成型时浆料水分较高, 在干燥脱水时易造成香气成分及发烟剂的流失^[3]。如何通过烟草原料的选用, 以调控其气溶

基金项目: 中国烟草总公司重大专项项目[110201901002 (XX-02)]; 云南省科技厅科技项目(202001AU070005); 云南中烟工业有限责任公司科技项目(2020YL03)

作者简介: 司晓喜(1986—), 硕士, 高级工程师, 主要从事烟草和烟气化学研究, Email: sixiaoxi2006@126.com

通讯作者: 崔华鹏(1988—), 博士, 高级工程师, 主要从事烟草化学研究, Email: cuihuapeng516@126.com

收稿日期: 2021-02-07; **网络出版日期:** 2021-11-19

胶释放特性,目前尚无公开报道。针对以上研究不足,本文对不同原料稠浆法再造烟叶加热卷烟的气溶胶释放特性进行研究,为稠浆法再造烟叶原料配方提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料及仪器

1.1.1 仪器和试剂

SCS 模拟循环吸烟机、DMS500 快速粒径谱仪(英国 Cambustion 公司); SCION 456 GC-TQ 气相色谱-三重四极杆质谱联用仪(美国 Bruker 公司); SM450 直线型吸烟机(英国 Cerulean 公司); KQ-700DB 型数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限

公司); KBF240 恒温恒湿箱(德国 Binder 公司); BT125D 电子天平(感量 0.01 mg, 德国 Sartorius 公司)。

1.1.2 不同烟叶原料稠浆法再造烟叶样品的制备

按照表 1 中原料类型选取烟叶样品 10 kg 以上,精磨后过 300 目筛,作为稠浆法再造烟叶生产的烟叶原料。采用研制的加热卷烟专用稠浆法再造烟叶实验生产平台,制备不同原料类型的稠浆法再造烟叶。其中添加发烟剂比例 20%(丙二醇比例为 4%、甘油比例为 16%)、外加纤维比例为 5%、粘合剂比例为 5%,不添加香精;浆料制备工艺、成型干燥工艺均按照正常加工工艺进行,稠浆的流延厚度为(0.8±0.1) mm。

表 1 不同再造烟叶样品信息及主要化学成分

Tab. 1 Information and main chemical components of different reconstituted tobacco samples

编号	原料类型	原料产地	烟叶部位 / 等级	年份	水 / %	丙二醇 / %	丙三醇 / %	水溶性糖 / %	总植物碱 / %	总氮 / %	氯 / %	钾 / %
SF1-B	浓香型烤烟 (云 87)	湖南郴州	上部 / 二级	2017	8.77	3.00	12.69	11.74	1.67	1.40	0.37	1.44
MF1-B	中间香型烤烟 (云 87)	贵州遵义	上部 / 二级	2017	8.64	3.25	12.81	10.52	2.36	1.52	0.22	0.74
CF1-B	清香型烤烟 (K326)	云南玉溪	上部 / 二级	2017	8.38	3.61	12.03	14.92	1.84	1.50	0.23	1.02
CF2-B	清香型烤烟 (K326)	云南玉溪	上部 / 二级	2017	8.41	3.56	12.10	14.63	1.81	1.48	0.22	1.05
CF3-C	清香型烤烟 (K326)	云南玉溪	中部 / 二级	2017	9.73	3.27	12.87	14.37	0.78	1.17	0.20	1.46
CF4-X	清香型烤烟 (K326)	云南玉溪	下部 / 二级	2017	10.40	2.77	13.19	18.20	1.23	1.24	0.31	1.08
B1-B	白肋烟 (国外)	美国	上部 / 二级	2016	9.12	3.51	13.00	0.39	2.32	2.78	0.30	1.92
B2-B	白肋烟 (国内)	湖北恩施	上部 / 二级	2016	9.12	2.81	12.85	0.18	2.70	2.66	0.60	2.86
A1-B	香料烟 (国外)	土耳其	上部 / 一级	2016	9.64	3.67	13.89	9.84	0.36	1.08	0.39	1.21
A2-B	香料 B 型 (国内)	云南保山	上部 / 一二级混打	2016	9.81	3.10	12.54	9.22	0.25	1.25	0.62	1.30
RS1-B	晒红烟	吉林	上部 / 二级	2015	9.42	3.01	13.44	2.20	1.78	2.33	0.43	0.60
YS1-B	晒黄烟	辽宁抚顺	上部 / 一级	2016	8.04	2.91	13.28	12.46	1.64	1.23	0.28	1.74

1.1.3 烟支的制备

选取不同烟叶原料稠浆法再造烟叶进行烟支样品的制备,将制备的稠浆法再造烟叶压切成丝,呈束状、有序排序卷制于卷烟纸中制成长度 45 mm (13 mm 烟草材料段+6 mm 支撑段+18 mm 降温段+8 mm 滤嘴段)、圆周 22.60 mm 的烟支。挑选单支质量 (0.75±0.02) g 的烟支进行实验,实验烟支样品在相对湿度 45%、温度 22℃ 的调节大气中平衡 12 h 后,分别进行再造烟叶化学指标检测、烟气的物理特性表征和香气成分检测。烟支均采用云南中烟工业有限责任公司生产的某规格中心加热卷烟烟具,在 350℃ 下加热烟支。

1.2 实验方法

1.2.1 再造烟叶中主要化学指标检测

按照 YC/T 159—2002^[16]、YC/T 160—2002^[17]、YC/T 161—2002^[18]、YC/T 162—2011^[19]、YC/T 217—2007^[20] 及肯生叶等^[21] 报道的方法测定不同再造烟叶中的水溶性糖、总植物碱、总氮、氯、钾、水分、丙二醇和丙三醇含量。

1.2.2 烟气气溶胶物理特性检测

参照司晓喜等^[13] 报道的方法,采用模拟循环吸烟机 (SCS) 和 DMS 500 快速粒径谱仪在线分析系统,按照 HCl 抽吸模式 (抽吸容量为 55 mL、抽吸持续时间为 2 s、抽吸频率为 30 s) 抽吸 1 支卷烟,烟气气溶胶经二级稀释系统稀释,设置采样流量为 15.0 L/min (即一级平均稀释比为 9.1:1),二级稀释比为 200:1,基于不同大小气溶胶颗粒电迁移率的差异进行粒径分级和检测,获得每支烟支逐口烟气气溶胶的粒数粒径分布谱图、体积粒径分布谱图,每类样品进行 5 次平行样测定。根据逐口烟气气溶胶的粒数粒径分布谱图,可得到全部口数烟气气溶胶粒数浓度平均值、粒数中值直径 (CMD) 平均值。

用单位体积内烟气气溶胶颗粒总体积表征烟雾量。根据逐口烟气气溶胶的体积粒径分布谱图,可得到逐口烟气气溶胶的颗粒体积浓度 (烟雾量),根据式 (1) 计算全部口数烟气气溶胶烟雾量的平均值。式中, \bar{V} 为全部口数烟气气溶胶烟雾量平均值, $\mu\text{m}^3/\text{cm}^3/\text{口}$; V_i 为每口烟气气溶胶烟雾量, $\mu\text{m}^3/\text{cm}^3$; n 为抽吸口数, 口。

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \dots\dots\dots (1)$$

1.2.3 烟气气溶胶中香气成分检测

气溶胶粒相物和气相物的捕集:采用加热烟具按

照 HCl 抽吸模式抽吸烟支,烟具加热温度为 350℃,每支烟抽吸 8 口。粒相物由剑桥滤片捕集,气相部分由串接于剑桥滤片之后的打孔吸收瓶捕集,吸收瓶中装有 15 mL 含内标的二氯甲烷溶液,置于异丙醇-干冰混合物的冷阱中。参照司晓喜等^[22] 报道的方法进行气溶胶粒相物和气相物中香气成分检测。烟支抽吸后,取出截留气溶胶粒相物的剑桥滤片,放入锥形瓶中,加入 15 mL 含内标的二氯甲烷,超声萃取 10 min 后进行 GC-MS/MS 测定;取出捕集有气溶胶气相物的捕集液,进行 GC-MS/MS 测定。

2 结果与讨论

2.1 不同烟叶原料再造烟叶中主要化学成分分析

不同烟叶原料再造烟叶的主要化学成分检测结果见表 1。可能受不同类型烟叶原料特性的影响,以不同烟叶原料制备得到的稠浆法再造烟叶中水分、丙二醇和丙三醇有一定差异,其中香料烟、中下部烟叶为原料的再造烟叶平衡含水率稍高于其它样品,国外香料烟为原料的再造烟叶中丙二醇和丙三醇含量最高,但以上指标在 12 个样品中含量的相对标准偏差小于 10%,均控制在一定范围内。此外不同烟叶原料由于品种特性、栽培措施和调制方法等的差异,其有机物、无机物组成和含量各不同,尤其是糖类和总氮差别最为突出。对比不同类型烟叶为原料的再造烟叶,水溶性糖含量为烤烟、晒黄烟>香料烟>晒红烟>白肋烟;总植物碱为白肋烟>晒红烟、晒黄烟、烤烟>香料烟;总氮为白肋烟>晒红烟>烤烟、晒黄烟>香料烟;对比不同香型烤烟为原料的再造烟叶,清香型烤烟中水溶性糖含量高于浓香型和中间香型;对比同清香型不同部位烤烟,上部烟叶中总植物碱和总氮含量高于中下部;这些有机物是加热条件下气溶胶组分的关键前体物质。氯元素在国内白肋烟、国内香料烟 B 型为原料的再造烟叶中含量最高,在加热条件下也会析出^[23];由于白肋烟吸收氮、钾、钙较多,钾在白肋烟为原料的再造烟叶中含量明显高于其它样品,钾元素对纤维素和半纤维素热解具有催化作用,使主要热解温度区间向低温方向移动,醛酮类和酸类物质降低^[24]。

2.2 不同烟叶原料再造烟叶加热卷烟的气溶胶粒数浓度、CMD 和烟雾量分析

芯材 (再造烟叶) 在 350℃ 加热条件下经挥发和热解作用产生的化学物质,随抽吸进入烟气流中,经历成核、冷凝增长形成气溶胶,再造烟叶的化学组成和结构决定了所产生气溶胶的特性。图 1 比较了不

同烟叶原料再造烟叶加热卷烟加热抽吸时产生的气溶胶粒数浓度、CMD 和烟雾量。其中不同类型烟叶原料的再造烟叶热解产生的气溶胶粒数浓度为烤烟和晒黄烟稍高于白肋烟、香料烟和晒红烟（图 1a）；气溶胶 CMD 为晒黄烟、烤烟和香料烟稍高于白肋烟和晒红烟（图 1b）；烟雾量则受气溶胶粒数浓度和粒径大小共同影响，烤烟和晒黄烟粒数浓度和 CMD 均大因而烟雾量也大（图 1c）。不同香型的烤烟，气溶胶粒数浓度为中间香型烤烟最高，CMD 为浓香型和中间香型烤烟高于清香型烤烟，烟雾量为中间香型烤烟 > 浓香型烤烟 > 清香型烤烟；清香型不同部位烤烟，上部烤烟的气溶胶的粒数浓度和烟雾量稍高于中下部。

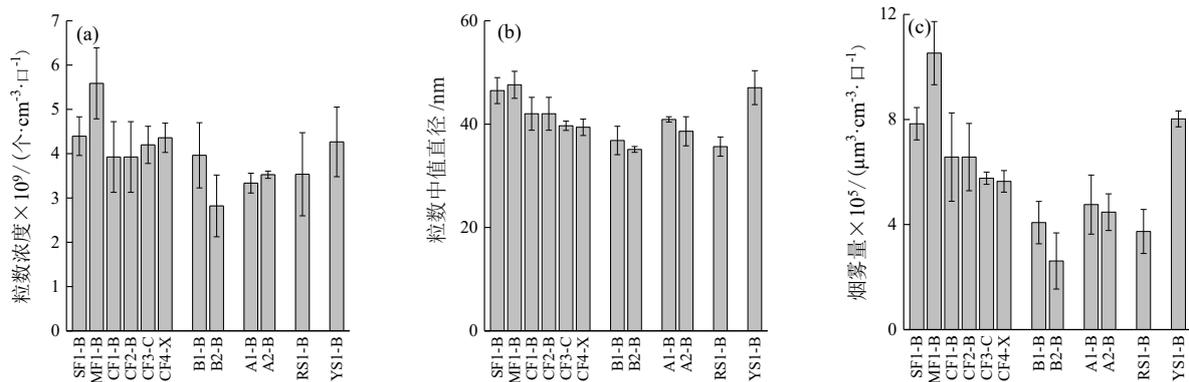


图 1 不同烟叶原料再造烟叶加热条件下产生的气溶胶粒数浓度 (a)、粒数中值直径 (b) 和烟雾量 (c)

Fig. 1 Particle number concentration (a), count median diameter (CMD) (b) and smoke amount (c) of aerosol generated from slurry processed reconstituted tobacco with different tobacco materials under the heating conditions

2.3 不同原料再造烟叶加热卷烟的气溶胶香气成分分析

不同烟叶原物理化特性的差异决定了热解条件下释放的香气成分种类和释放量，并形成不同的香气品质。测定不同烟叶原料再造烟叶加热抽吸时代表性香气物质向气溶胶粒相物和气相物的释放量，结果显示香气物质主要分布在粒相物中，只有少部分低沸点小分子物质如 3-羟基-2-丁酮、2-甲基四氢呋喃-3-酮、4-环戊烯-1,3-二酮、糠醛、糠醇、5-甲基糠醛、苯甲醛、苯乙醛、2-甲基吡嗪和 α -当归内酯在气相物中检测到。

2.3.1 气溶胶中醛、酮类香气成分分析

羰基化合物（醛类和酮类）是影响烟气香味的重要物质，一部分来源于烟草本身，在烟草生长期及调制、发酵、陈化等加工过程中形成，受热挥发至烟气中，另一部分经烟草热解形成。不同类型烟叶原料再造烟叶加热条件下产生的酮类物质主要有茄尼酮、

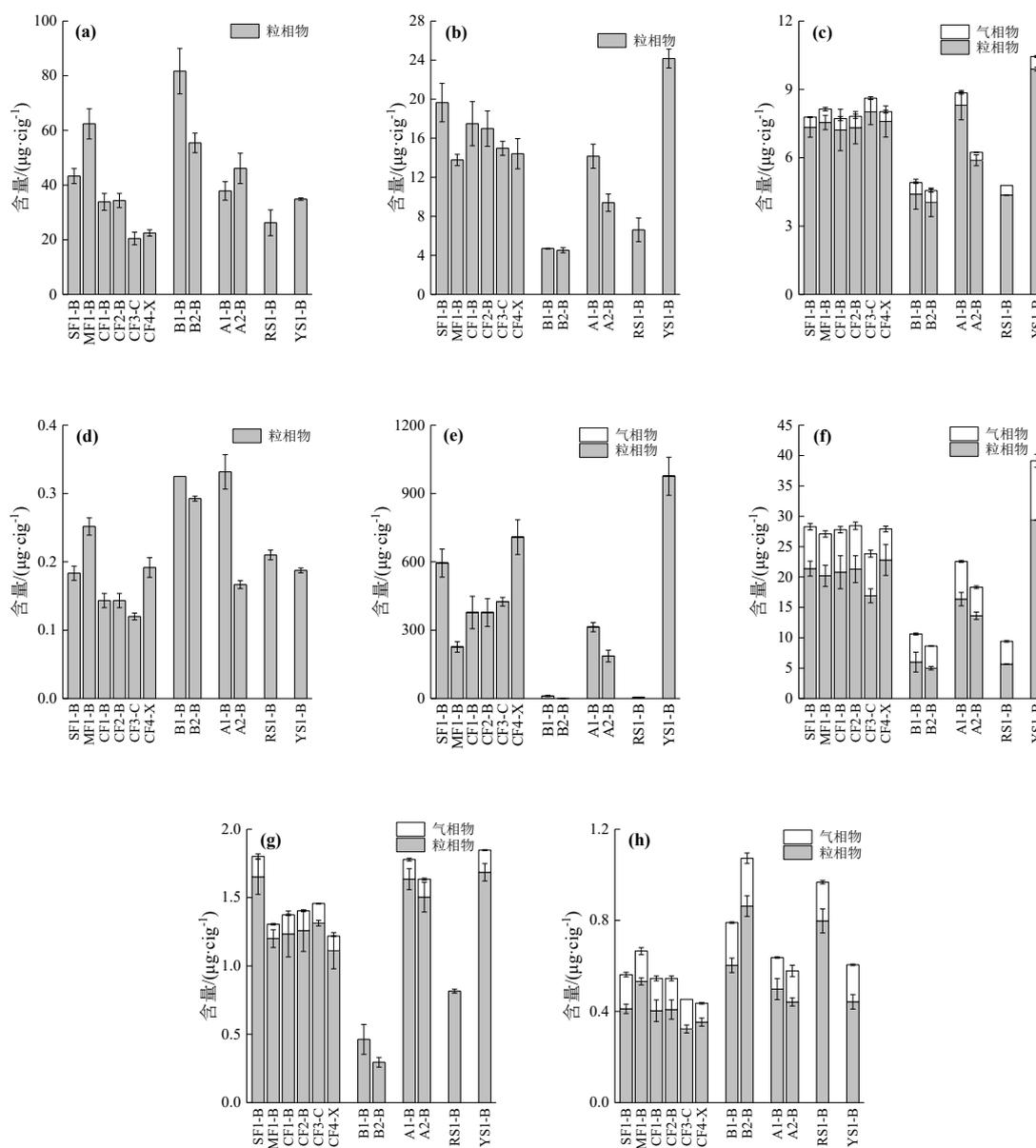
不同烟叶原料再造烟叶产生的气溶胶物理特性的差异受烟叶成分的影响，结合表 1 可以看出，白肋烟和晒红烟中水溶性糖含量显著低于其它类型烟叶，且文献报道白肋烟中纤维素含量也明显低于其它类型烟叶^[25]，这些成分均是气溶胶形成的重要前体物质^[8]，其含量低导致挥发和热解产生的组分少，进而影响形成的气溶胶浓度和粒径；此外钾元素对纤维素和半纤维素热解的催化作用促进了热解^[24]，也可能是影响气溶胶浓度和粒径的原因。目前加热卷烟仍存在烟雾量小等不足。可以看出通过再造烟叶原料的选用，如增加烤烟和晒黄烟烟叶的用量，可以增加气溶胶粒径并提高加热抽吸时的烟雾量，改变烟气成分在呼吸道中的递送和沉积^[26]。

4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮、4-环戊烯-1,3-二酮、甲基环戊烯醇、3-羟基-2-丁酮，此外还检测到低含量的香叶基丙酮、2-甲基四氢呋喃-3-酮、甲基紫罗兰酮、6-甲基-5-庚烯-2-酮、 β -紫罗兰酮、异佛尔酮、苯乙酮。茄尼酮由西柏三烯类物质的降解产生，是白肋烟的主要香味物质，在加热条件下白肋烟为原料的样品中生成量高，此外不同香型烤烟中中间香型烤烟为原料的样品生成量也较高（图 2a）。呋喃酮和环戊烯酮是半纤维素的热裂解产物，其中不同原料样品中 4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮（图 2b）、4-环戊烯-1,3-二酮、甲基环戊烯醇酮、2-甲基四氢呋喃-3-酮生成量的高低顺序为晒黄烟 > 烤烟、香料烟 > 白肋烟、晒红烟，3-羟基-2-丁酮（图 2c）也有类似趋势。6-甲基-5-庚烯-2-酮（图 2d）在白肋烟和国外香料烟为原料的样品中生成量高于其它样品；香叶基丙酮和甲基紫罗兰酮在晒红烟为原料的样

品中生成量高于其它样品,此外不同香型烤烟中中间香型烤烟为原料的样品其生成量也较高。

不同类型烟叶原料再造烟叶加热条件下产生的醛类物质中含量较高的为5-羟甲基糠醛、糠醛、5-甲基糠醛,并检测到低含量的苯乙醛、苯甲醛、香兰素、反式-肉桂醛、乙基香兰素。5-羟甲基糠醛是一种重要的呋喃类热解产物^[27],会进一步生成糠醛、糠醇等,在加热条件下晒黄烟为原料的再造烟叶中生成量最高,而白肋烟和晒红烟为原料的再造烟叶中含量极

低(图2e),这与白肋烟和晒红烟中还原性糖含量较低有关^[28]。糠醛(图2f)和5-甲基糠醛在不同样品中的含量高低趋势与5-羟甲基糠醛类似,二者可源于糖类低温裂解产生,糠醛可通过5-羟甲基糠醛脱羟基生成。从图2g和2h中可以看出,白肋烟和晒红烟为原料的再造烟叶热解气溶胶中苯甲醛含量低,但苯乙醛含量高,香料烟则呈相反规律,这可能与其来源有关,苯甲醛和苯乙醛是苯丙氨酸的代谢产物存在于烟叶中^[29],多酚热解也会产生苯甲醛^[30]。



注: (a) 茄尼酮, (b) 4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮, (c) 3-羟基-2-丁酮, (d) 6-甲基-5-庚烯-2-酮, (e) 5-羟甲基糠醛, (f) 糠醛, (g) 苯乙醛, (h) 苯甲醛。

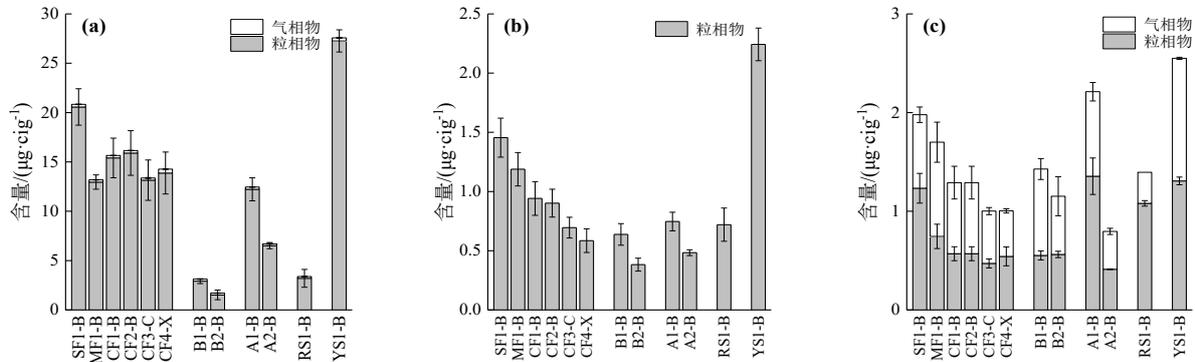
图2 不同烟叶原料再造烟叶加热条件下产生气溶胶中代表性醛、酮类成分比较

Fig. 2 Comparison of representative aldehydes and ketones in aerosol generated from reconstituted tobacco with different tobacco materials under the heating conditions

2.3.2 气溶胶中醇、酚、烯类香气成分分析

不同类型烟叶原料再造烟叶热解气溶胶中检测到的醇类有糠醇、苯乙醇、芳樟醇，酚类主要有愈创木酚、4-乙基愈创木酚、2-甲氧基-4-甲基苯酚，烯类有R-(+)-柠檬烯。糠醇可来源于5-羟甲基糠醛的热解，糠醇在晒黄烟为原料的样品中释放量最高，在白肋烟和晒红烟为原料的样品中释放量最低，与5-羟甲基糠醛、糠醛释放趋势一致(图3a)。酚类化合物是纤维素、木质素热解产物的主要成分，如愈创木酚是木质素在

300℃~400℃热解温度下的代表性酚类产物^[31]，受原料影响中木质素含量影响，其在晒黄烟为原料的样品中释放量最高，在白肋烟和国内香料烟为原料的样品中释放量最低，不同香型烤烟中浓香型烤烟愈创木酚释放量最高，同类型烤烟随部位降低愈创木酚释放量也降低(图3b)。R-(+)-柠檬烯在国外香料烟、晒黄烟为原料的样品中释放量最高，此外不同香型烤烟中浓香型和中间香型烤烟为原料的样品生成量也较高(图3c)，这可能与其在烟叶原料中的含量有关。



注: (a) 糠醇, (b) 愈创木酚, (c) R-(+)-柠檬烯。

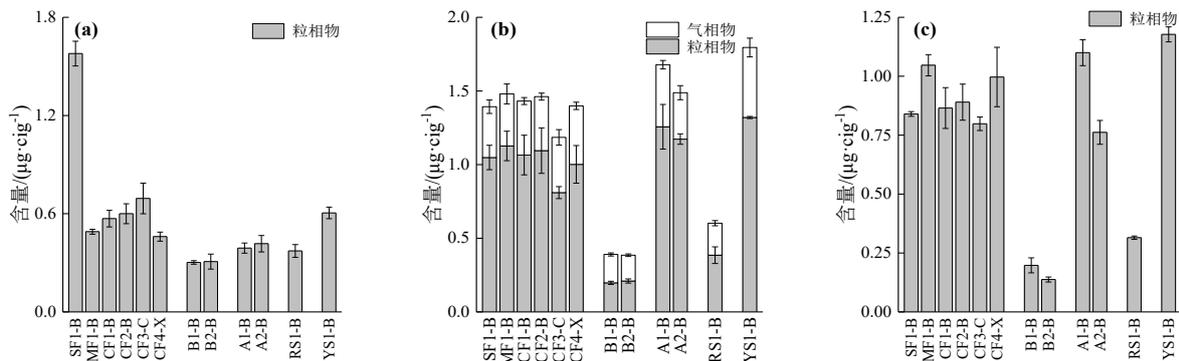
图3 不同烟叶原料再造烟叶加热条件下产生气溶胶中代表性醇、酚、烯类成分比较

Fig. 3 Comparison of representative alcohols, phenols and alkenes in aerosol generated from reconstituted tobacco with different tobacco materials under the heating conditions

2.3.3 气溶胶中酯类香气成分分析

大部分酯类存在于烟叶中，在加热条件下向烟气转移，并对烟气香气造成影响。不同类型烟叶原料再造烟叶热解气溶胶中检测到的脂肪酸酯有棕榈酸甲酯、乙酸异丁酯、棕榈酸乙酯、丁酸乙酯、乙酸己酯，内酯类有 α -当归内酯和二氢猕猴桃内酯。高级脂肪

酸酯主要存在于烟叶蜡质中，能使烟气变得柔和，所检测样品中棕榈酸甲酯在浓香型烤烟为原料的样品中释放量显著高于其它样品(图4a)。内酯对烟气也有显著影响，如 α -当归内酯具有焦甜香，在白肋烟、晒红烟为原料的样品中释放量明显低于其它样品(图4b)，二氢猕猴桃内酯属于类胡萝卜素的降解产物，



注: (a) 棕榈酸甲酯, (b) α -当归内酯, (c) 乙酸异丁酯。

图4 不同烟叶原料再造烟叶加热条件下产生气溶胶中代表性酯类成分比较

Fig. 4 Comparison of representative esters in aerosol generated from reconstituted tobacco with different tobacco materials under the heating conditions

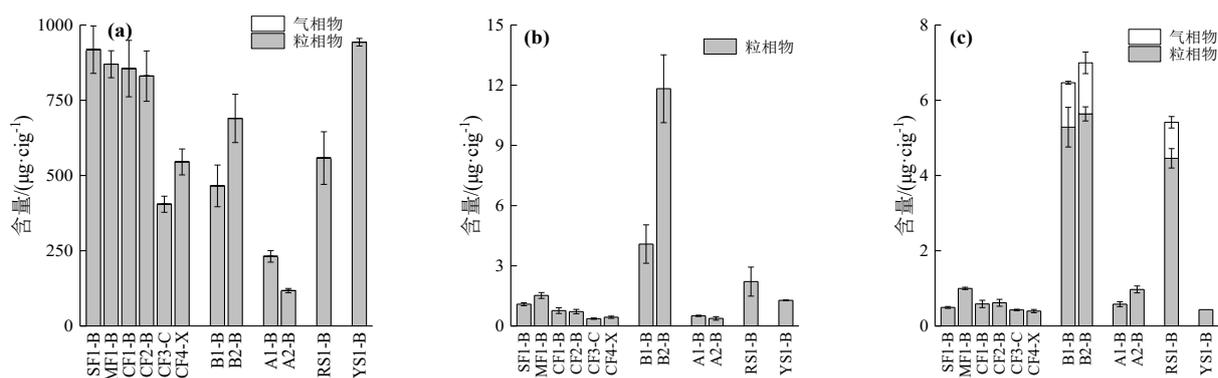
可降低烟气刺激性, 其在国外香料烟、晒红烟为原料的样品中释放量稍高于其它样品。低级脂肪酸酯具有甜味、水果香味或酒香味, 与烟香协调, 其中乙酸异丁酯在白肋烟、晒红烟为原料的样品中释放量明显低于其它样品(图 4c); 乙酸己酯只在浓香和清香型烤烟为原料的样品中检测到。

2.3.4 气溶胶中氮杂环类香气成分分析

不同类型烟叶原料再造烟叶热解气溶胶中检测到的生物碱及其转化产物有烟碱、可替宁、麦斯明、2,3'-联吡啶, 其它氮杂环类有 2-甲基吡嗪、2-乙酰吡咯、2,3,5-三甲基吡嗪、2,6-二甲基吡啶和 3-乙基吡啶。烟碱是热解气溶胶中主要的挥发碱, 主要来自烟草中的直接转移, 以及烟碱类生物碱的热解产物, 因此其向烟气的释放量与烟草中生物碱含量有关。香料烟中生物碱含量显著低于其它样品, 因此香

料烟为原料的样品向烟气释放的烟碱明显低于其它样品(图 5a)。而其它生物碱及代谢物的释放量也可能受烟草中含量和组成影响, 如麦斯明、可替宁在白肋烟、晒红烟为原料的样品中释放量明显高于其它样品(图 5b)。

氮杂环类的吡啶、吡咯、吡嗪类衍生物则来源于糖与氨基酸非酶棕化产物, 其含量受烟叶中糖和氨基酸含量和种类的影响。在白肋烟、晒红烟为原料的样品中 2-甲基吡嗪、2,3,5-三甲基吡嗪释放量明显高于其它样品(图 5c), 而 2,6-二甲基吡啶只在国内白肋烟、香料烟为原料的样品中检测到, 3-乙基吡啶只在国内白肋烟为原料的样品中检测到。白肋烟为原料的样品向烟气释放的氮杂环类成分含量高、种类多, 这可能与白肋烟具有丰富的游离氨基酸, 且主要氨基酸与其它样品不同有关。



注: (a) 烟碱, (b) 麦斯明, (c) 2-甲基吡嗪。

图 5 不同烟叶原料再造烟叶加热条件下产生气溶胶中代表性氮杂环类成分比较

Fig. 5 Comparison of representative N-heterocyclic components in aerosol generated from reconstituted tobacco with different tobacco materials under the heating conditions

3 结论

本论文以不同烟叶原料稠浆法再造烟叶制备加热卷烟, 研究了其在加热抽吸时的气溶胶释放特性, 得到以下结论: (1) 原料的类型会影响气溶胶物理特性, 如烤烟和晒黄烟为原料的样品热解释放的气溶胶 CMD 和烟雾量均大。(2) 通过原料的选用可改变香气成分释放量, 如选用白肋烟为原料的再造烟叶热解产生的茄尼酮、生物碱代谢、吡嗪和吡啶类氮杂环等物质多; 晒黄烟为原料的样品产生的醛类如 5-羟甲基糠醛和糠醛、4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮、糠醇、愈创木酚、生物碱代谢物多; 晒红烟为原料的样品产生的吡嗪、生物碱代谢物多。(3) 烤烟香型

和烟叶部位也会影响香气成分释放量, 浓香型烤烟为原料的样品产生的棕榈酸甲酯、糠醇、5-羟甲基糠醛、苯乙醛、乙酸己酯等多, 中间香型烤烟为原料的样品产生的茄尼酮、6-甲基-5-庚烯-2-酮、麦斯明、2-甲基吡嗪等多; 同类型清香型烤烟不同部位烟叶原料的样品产生的部分香气成分随部位降低释放量减少, 但下部烟叶为原料的样品产生的 6-甲基-5-庚烯-2-酮、5-羟甲基糠醛多。

参考文献

- [1] 张园园, 唐婷婷, 张佳琳, 等. 加热不燃烧烟草薄片发展现状及展望 [J]. 中华纸业, 2020, 41(18): 14-17.
ZHANG Yuanyuan, TANG Tingting, ZHANG Jialin, et al. Development status and prospect on heating non-combustible

- reconstituted tobacco[J]. *China Pulp & Paper Industry*, 2020, 41(18): 14-17.
- [2] 缪应菊, 刘维涓, 刘刚, 等. 烟草薄片制备工艺的现状[J]. *中国造纸*, 2009, 28(7): 55-60.
MIAO Yingju, LIU Weijuan, LIU Gang, et al. Present status of preparation technology of reconstituted tobacco[J]. *China Pulp & Paper*, 2009, 28(7): 55-60.
- [3] 董高峰, 田永峰, 尚善斋, 等. 用于加热不燃烧(HnB)卷烟的再造烟叶生产工艺研究进展[J]. *中国烟草学报*, 2020, 26(1): 109-117.
DONG Gaofeng, TIAN Yongfeng, SHANG Shanzhai, et al. Production technology of reconstituted tobacco for heat-not-burn(hnb) cigarettes: A Review [J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2020, 26(1): 109-117.
- [4] 杨菁, 赵文涛, 艾明欢, 等. 不同类型的加热卷烟原料性能比较[J]. *中国烟草学报*, 2020, 26(3): 1-8.
YANG Jing, ZHAO Wentao, AI Minghuan, et al. Performance comparison of different types of cut tobacco materials for heated tobacco products[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2020, 26(3): 1-8.
- [5] 刘达岸, 李鹏飞, 刘冰, 等. 不同加热非燃烧再造烟叶特性研究[J]. *食品与机械*, 2018, 34(6): 26-29.
LIU Daan, LI Pengfei, LIU Bing, et al. Study on heat-not-burn reconstituted tobacco prepared by different process[J]. *Food & Machinery*, 2018, 34(6): 26-29.
- [6] 杨雪燕, 温光和, 李峰, 等. 加热不燃烧卷烟烟草材料的特性分析[J]. *食品与机械*, 2020, 36(5): 205-210.
YANG Xueyan, WEN Guanghe, LI Feng, et al. Characteristic analysis of heat-not-burn cigarette tobacco materials[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(5): 205-210.
- [7] 朱桂华, 杨继, 刘春波, 等. 加热卷烟烟草材料分段裂解分析[J]. *食品与机械*, 2020, 36(2): 62-68, 72.
ZHU Guihua, YANG Ji, LIU Chunbo, et al. Investigation of sectionalized pyrolysis behavior of heated cigarette tobacco materials[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(2): 62-68, 72.
- [8] 杨继, 杨帅, 段沅杏, 等. 加热不燃烧卷烟烟草材料的热分析研究[J]. *中国烟草学报*, 2015, 21(6): 7-13.
YANG Ji, YANG Shuai, DUAN Yuanxing, et al. Investigation of thermogravimetry and pyrolysis behavior of tobacco material in two heat-not-burn cigarette brands[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2015, 21(6): 7-13.
- [9] 尹大锋, 刘建福, 肖飞, 等. 稠浆法再造烟叶专用粘合剂的研究与应用[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2003, 29(5): 380-382.
YIN Dafeng, LIU Fujian, XIAO Fei, et al. Study on special adhesive for slurry processed reconstituted tobacco sheets[J]. *Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences)*, 2003, 29(5): 380-382.
- [10] 克里普菲尔 Y, 皮吉内伯格 J P M, 多伊尔 M E, 等. 用于生产均质化烟草材料的方法和均质化烟草材料: CN107072286A [P]. 2017-08-18.
kripfel Y, Paginberg J P M, Doyle M E, et al. A method for the production of homogeneous tobacco materials and homogeneous tobacco materials: CN107072286 [P]. 2017-08-18.
- [11] 郭小义, 钟科军, 代远刚, 等. 一种非燃烧型低温卷烟: CN103584288A [P]. 2014-02-19.
GUO Xiaoyi, ZHONG Kejun, DAI Yuangang, et al. A kind of not burn cigarettes: CN103584288A [P]. 2014-02-19.
- [12] 刘达岸, 罗诚浩, 唐向兵. 一种适用于加热非燃烧型卷烟的再造烟叶: CN106235376A [P]. 2016-12-21.
LIU Daan, LUO Chenghao, TANG Xiangbing, et al. A kind of reconstituted tobacco applied to heat not burn cigarette: CN106235376 [P]. 2016-12-21.
- [13] 司晓喜, 汤建国, 朱瑞芝, 等. 两种抽吸模式下电加热不燃烧卷烟烟气气溶胶的粒径分布[J]. *烟草科技*, 2018, 51(8): 47-52.
SI Xiaoxi, TANG Jianguo, ZHU Ruizhi, et al. Aerosol particle size distribution from an electrical heat-not-burn product under ISO and HCI smoking regimes[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2018, 51(8): 47-52.
- [14] 张丽, 王维维, 张小涛, 等. 加热不燃烧卷烟气溶胶中主要成分的转移行为[J]. *烟草科技*, 2019, 52(3): 52-61.
ZHANG Li, WANG Weiwei, ZHANG Xiaotao, et al. Transfer behavior of main aerosol components in heat-not-burn tobacco products[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2019, 52(3): 52-61.
- [15] 贾伟萍, 刘达岸, 刘文婷, 等. 几种烟草薄片的性能及热裂解产物分析[J]. *中国造纸*, 2021, 40(1): 34-39.
JIA Weiping, LIU Daan, LIU Wenting, et al. Analysis of properties and pyrolysis products of several reconstituted tobacco sheets[J]. *China Pulp & Paper*, 2021, 40(1): 34-39.
- [16] YC/T 159—2002 烟草及烟草制品水溶性糖的测定连续流动法[S]. YC/T 159—2002 Tobacco and tobacco products-determination of water soluble sugars-continuous flow method[S].
- [17] YC/T 160—2002 烟草及烟草制品总植物碱的测定连续流动法[S]. YC/T 160—2002 Tobacco and tobacco products-determination of total alkaloids-continuous flow method[S].
- [18] YC/T 161—2002 烟草及烟草制品总氮的测定连续流动法[S]. YC/T 161—2002 Tobacco and tobacco products-determination of total nitrogen-continuous flow method[S].
- [19] YC/T 217—2007 烟草及烟草制品钾的测定连续流动法[S]. YC/T 217—2007 Tobacco and tobacco products-determination of potassium-continuous flow method[S].
- [20] YC/T 162—2011 烟草及烟草制品氯的测定连续流动法[S]. YC/T 162—2011 Tobacco and tobacco products-determination of chloride-continuous flow method[S].
- [21] 青生叶, 温光和, 杨雪燕, 等. GC-TCD 法同时检测加热不燃烧卷烟烟草材料中的水分、1, 2-丙二醇、烟碱和丙三醇[J]. *烟草科技*, 2020, 53(5): 41-46.
KEN Shengye, WEN Guanghe, YANG Xueyan, et al. Simultaneous determination of moisture, 1,2-propylene glycol, nicotine and glycerol in tobacco material for heat-not-burn products by GC-TCD[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2020, 53(5): 41-46.
- [22] 司晓喜, 向本富, 蒋薇, 等. 加热卷烟气溶胶中香气成分的 GC-MS/MS 同时测定和比较[J]. *食品与机械*, 2021, 37(6): 86-96.
SI Xiaoxi, XIANG Benfu, JIANG Wei, et al. Determination and comparison of aroma components in different heated cigarette aerosols by GC-MS/MS[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(6): 86-96.
- [23] 赵宁, 刘东, 郭中山, 等. 低阶烟煤热解过程中氯的迁移释放特性研究[J]. *燃料化学学报*, 2019, 47(9): 1032-1041.
ZHAO Ning, LIU Dong, GUO Zhongshan, et al. Investigation on transferring and release characteristics of chlorine during pyrolysis of low rank coal[J]. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 2019, 47(9): 1032-1041.
- [24] 武宏香, 李海滨, 冯宜鹏, 等. 钾元素对生物质主要组分热解特性的影响[J]. *燃料化学学报*, 2013, 41(8): 950-957.
WU Hongxiang, LI Haibin, FENG Yipeng, et al. Effects of potassium on the pyrolysis of biomass components by TG-FTIR analysis[J]. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 2013, 41(8): 950-957.
- [25] 杨斌, 殷引, 张浩博, 等. 洗涤剂法测定烟草及烟草制品中中

- 性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、酸性洗涤木质素的研究[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(3): 10-15.
- YANG Bin, YIN Yin, ZHANG Haobo, et al. Determination of NDF, ADF and ADL in tobacco and tobacco products with detergent method[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2012, 18(3): 10-15.
- [26] Baker R R, Dixon M. The retention of tobacco smoke constituents in the human respiratory tract[J]. Inhalation toxicology, 2006, 18(4): 255-294.
- [27] 张阳, 陆强, 廖航涛, 等. 葡萄糖热解生成5-羟甲基糠醛机理[J]. 燃烧科学与技术, 2015, 21(1): 89-95.
- ZHANG Yang, LU Qiang, LIAO Hangtao, et al. Mechanism study on formation of 5-hydroxymethyl furfural from pyrolysis of glucose[J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2015, 21(1): 89-95.
- [28] Davis D L, Nielsen M T. Tobacco: Production, Chemistry and Technology[M]. Oxford: Blackwell Science, 1999.
- [29] 叶协锋, 李佳颖, 张腾, 等. 烤烟苯丙氨酸类致香物质与土壤理化性状的典型相关分析[J]. 土壤, 2013, 45(2): 277-284.
- YE Xiefeng, LI Jiaying, ZHANG Teng, et al. Canonical correlation between aroma aminophenol contents in flue-cured tobacco leaves and soil physicochemical properties[J]. Soils, 2013, 45(2): 277-284.
- [30] 刘静, 侯英, 杨蕾, 等. 烟草中多酚热裂解产物研究[J]. 化学研究与应用, 2011, 23(1): 63-65.
- LIU Jing, HOU Ying, YANG Lei, et al. Study of the pyrolysates of the polyphenols in tobacco[J]. Chemical Research and Application, 2011, 23(1): 63-65.
- [31] 王则祥, 李航, 谢文奎, 等. 木质素基本结构、热解机理及特性研究进展[J]. 新能源进展, 2020, 8(1): 6-14.
- WANG Zexiang, LI Hang, XIE Wenlun, et al. Progress in Basic Structure, Pyrolysis Mechanism and Characteristics of Lignin[J]. Advances in New and Renewable Energy, 2020, 8(1): 6-14.

Aerosol release characteristics of heated cigarettes made by slurry processed reconstituted tobacco with different tobacco materials

SI Xiaoxi¹, TANG Shiyun¹, ZHU Ruizhi¹, ZHANG Fengmei¹, JIANG Wei¹, XIANG Benfu^{1,2},
TIAN Yongfeng¹, YANG Ji¹, DONG Gaofeng¹, LIU Shaofeng³, CUI Huapeng^{3*}, LIU Zhihua¹

¹ R&D Center of China Tobacco Yunnan Industrial Co., Ltd., Kunming 650231, China;

² School of Chemical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;

³ Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou 450001, China

Abstract: This study aims to study the effect of tobacco material type on the aerosol release characteristics of heated cigarette products made by slurry processed reconstituted tobacco. Heated cigarettes were made from slurry processed reconstituted tobacco with different tobacco materials, and the particle number concentration, the count median diameters (CMD), smoke amount and aroma components of aerosol released from them were compared under the heating condition. The results showed that: (1) For upper tobacco leaves, the particle number concentration of aerosol released from flue-cured tobacco and yellow sun-cured tobacco was higher, CMD of aerosol released from yellow sun-cured tobacco, flue-cured tobacco and oriental tobacco was larger, and smoke amount of aerosol released from yellow sun-cured tobacco and flue-cured tobacco was larger. (2) There were significant differences in aroma components released by pyrolysis of reconstituted tobacco from different tobacco material. The reconstituted tobacco sample with burley tobacco as raw material produced more solanone, 6-methyl-5-heptene-2-one, alkaloid metabolites such as myosmine and cotinine, pyrazines and pyridines in the pyrolysis, the sample with yellow sun-cured tobacco as raw material produced more aldehydes such as 5-hydroxymethylfurfural and furfural, ketones such as 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone, furfuryl alcohol, guaiacol, myosmine and cotinine, the sample using red sun-cured tobacco as raw material produced more pyrazines and alkaloid metabolites, and the sample with oriental tobacco as raw material produced more phenylacetaldehyde. Moreover, most of the aroma components produced by the sample with flue-cured tobacco as raw material were at the middle level, which were affected by the aroma type and leaf parts. The particle number concentration, particle size of aerosol and the release amount of aroma components produced from reconstituted tobacco under the heating condition can be changed by selecting different raw tobacco materials.

Keywords: heated cigarettes; slurry processed reconstituted tobacco; tobacco material type; aerosol; aroma component

*Corresponding author. Email: cuihuapeng516@126.com