

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.11.007

加热非燃烧烟草薄片理化特性及热裂解性能研究

Study on physicochemical properties and pyrolysis properties of heated non combustion tobacco sheet

潘曦¹ 宋旭艳¹ 魏敏¹ 李冉¹PAN Xi¹ SONG Xu-yan¹ WEI Min¹ LI Ran¹董爱君¹ 安俊健² 王磊²DONG Ai-jun¹ AN Jun-jian² WANG Lei²

(1. 湖北中烟工业有限责任公司, 湖北 武汉 430040;

2. 湖北工业大学绿色轻工材料湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430068)

(1. China Tobacco Hubei Industrial Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430040, China; 2. Hubei Provincial Key Laboratory of Green Materials for Light Industry, Hubei University of Technology, Wuhan, Hubei 430068, China)

摘要:为了评估加热非燃烧烟草薄片在抽吸时的安全性以及建立加热非燃烧卷烟生产过程中添加香精香料的理论依据,文章从理化指标、热失重和热裂解等方面对国内外市场上主流的加热非燃烧烟草薄片样品进行了全面分析。结果表明:加热非燃烧烟草薄片热水抽出物含量为48.98%~66.59%,不同薄片含量差别较小;总糖含量为6.62%~28.93%,还原糖含量为4.79%~22.30%,总植物碱含量为0.14%~1.13%,总氮含量为0.31%~2.50%,灰分含量为4.21%~11.10%,不同薄片的相应指标差异较大。加热非燃烧薄片TG的温度范围主要为200~500℃,失重速率为2.23%/min~12.33%/min。不同加热非燃烧薄片的最终生物炭收率为4.89%~11.96%,其失重速率及最终生物炭收率不尽相同。加热非燃烧薄片热裂解产生的主要致香成分包括2-甲氧基-4-乙烯基苯酚、D-柠檬烯、丙三醇和n-正十六酸等,热裂解产生的主要有害成分包括丁烷、醋酸和苯酚等,不同薄片的致香成分和有害成分有一定差异。

关键词:加热非燃烧烟草薄片;理化指标;热失重特性;热裂解特性;致香成分;有害成分

Abstract: In order to evaluate the safety of heat-not-burn tobacco sheets during suction and establish the theoretical basis for adding flavors and fragrances in the process of heat-non-burn cigarettes, the mainstream heating-not-burn tobacco samples from domestic

and foreign markets were comprehensively analyzed from physical and chemical indicators, thermogravimetric analysis and pyrolysis analysis. The results showed that: the content of hot water extract was 48.98%~66.59%, which difference was not remarkable. And the content of total sugar was 6.62%~28.93%, the content of reducing sugar was 4.79%~22.30%, the content of total alkaloid was 0.14%~1.13%, the content of total nitrogen was 0.31%~2.50%, and the content of ash was 4.21%~11.10%. The temperature range of TG is 200~500℃, and the weight loss rate is 2.23%/min~12.33%/min. The final biochar yield ranged from 4.89% to 11.96%, and the weight loss rate and final biochar yield were different. The main aroma components produced by pyrolysis of the heat-not-burn sheets included 2-methoxy-4-vinyl phenol, d-limonene, glycerol and n-hexadecanoic acid. The main harmful components produced by pyrolysis included butane, acetic acid, furfural and phenol. There were some differences in aroma components and harmful components in different slices.

Keywords: heat-not-burn tobacco flakes; physical and chemical indexes; thermogravimetric characteristics; pyrolysis characteristics; aroma components; harmful components

目前,新型烟草得到了迅速发展,其制品主要包括加热非燃烧卷烟、电子烟、无烟气烟草制品3大类^[1]。传统卷烟在燃烧时发生的高温裂解会产生大量烟气,且烟气中含有醛、苯及同系物、稠环芳烃、CO等有害成分,而加热非燃烧卷烟的加热温度较低(500℃以下),具有非燃烧的特点^[2-3],加热时产生的高温裂解物比传统卷烟要少,测流烟气和环境烟气也大幅度减少^[4-5]。因此,加热非

作者简介:潘曦,女,湖北中烟工业有限责任公司工程师,学士。

通信作者:王磊(1982—),男,湖北工业大学副教授,博士。

E-mail: wanglei820117@163.com

收稿日期:2020-07-15

燃烧卷烟的制造工艺、理化特性及分析是国内外科学工作者的研究热点。杨继等^[6]利用热重/差示扫描量热法和热裂解分析研究了空气氛围下典型电加热和炭加热新型卷烟烟草材料热行为,两种典型的加热不燃烧卷烟烟草材料的热失重分为 4 个阶段,不同加热方式的失重温度阶段不同。刘达岸等^[7]收集了造纸法、辊压法、稠浆法 3 种工艺制造的加热非燃烧再造烟叶烟草材料,从微观结构、纤维形态、抗张性能、再造烟叶化学成分、烟气化学成分、感官质量等方面进行了系统研究,并对 3 种工艺的再造烟叶的特性进行了对比分析。马鹏飞等^[8]采用热重技术结合标准均方根误差,研究了 8 种烟草薄片、3 种非烟草纤维以及烟草自身纤维的热解特性及差异度。周慧明等^[9]以烟草薄片颗粒为原料,研究了丙三醇含量、加热温度等对亚硝胺释放的影响,并探究了其中去甲基烟碱与 4-(N-甲基-N-亚硝胺)-1-(3-吡啶基)-丁酮释放之间的关系。朱浩等^[10]研究了 3 种加热非燃烧卷烟(HnB)烟气中 26 种烟熏香成分的释放量,并与传统卷烟进行了比较;在不同温度下加热 HnB 的烟草材料,并对其产生的烟熏香成分种类和释放量进行了分析。王颖等^[11]对市场占有率较高的 3 款产品进行抽吸,并采用 GC/MS 对主流烟气中的香味成分进行了分析。李朝建等^[12]为探讨水分含量对不同类型加热不燃烧卷烟化学成分的影响,以稠浆法薄片制备卷烟 A 和造纸法薄片制备卷烟 B 为研究对象,开展了烟支水分与丙三醇、烟碱的相关性研究,并进行扫描电镜和热重分析。杨雪燕等^[13]从化学成分分析、热裂解分析及热重分析等方面对辊压法、稠浆法、造纸法、干法制备的 4 种烟草原味加热不燃烧卷烟的烟草材料进行了分析。综上,国内外研究主要集中于不同制造工艺的加热非燃烧卷烟的特性对比、热裂解特性及差异、烟气中香味成分分析等部分,但是对加热非燃烧烟草薄片的理化特性、热失重特性对比及热裂解特性的全面系统的分析还比较缺乏,尤其是不同加热非燃烧烟草薄片热裂解产

物中致香化学成分和有害化学成分的相对含量以及相应的对比分析研究还未见报道。

试验拟对目前市场上主流加热非燃烧烟草薄片进行理化指标的检测及分析,采用热重/差示扫描量热法全面分析空气氛围环境下烟草材料的失重特性,并利用热裂解—气相/质谱联用技术(Py-GC/MS)分析加热非燃烧烟草薄片的热裂解特性,尤其是关键致香成分和有害成分定性及相对含量分析,为后续加热非燃烧烟草薄片的开发(尤其是进一步降低其在抽吸时的毒性)和应用提供理论依据。

1 原料与方法

1.1 原料与仪器

各种加热非燃烧烟草薄片样品(样品编号及原料组成见表 1);湖北新业烟草薄片开发有限公司;

可控温高温炉:FO810 型,日本 YAMATO 公司;

冷冻干燥机:FreeZone[®] 4.5 L 型,美国 Labconco 公司;

鼓风式烘箱:DNG-9140A 型,上海精宏实验设备有限公司;

分析天平:ME204 型,瑞士 Mettler Toledo 公司;

振荡器:KS260 型,德国 IKA 公司;

连续流动分析仪:AA3 型,德国 Seal Analytical 公司;

植物粉碎机:A11 型,德国 IKA 公司;

消化器:SH60A 型,中国海能公司;

热重/差热综合热分析仪:TG/DTA 6300 型,日本精工株式会社;

热裂解—气质分析(Py-GC/MS):6890N/5975 型,美国 Agilent 公司。

1.2 分析方法

1.2.1 化学成分测定

(1) 热水抽出物含量:按 GB/T 2677.4—1993 执行。

表 1 加热非燃烧烟草薄片样品编号及原料组成

Table 1 The sample number and raw material composition of heated non-burning tobacco sheets

编号	样品	烟草原料/%	羧甲基纤维素钠/%	海藻酸钠/%	植物纤维/%	丙三醇/%	水/%	填料
1	韩国薄片 a	59.21	0.81	1.87	0.47	23.80	11.12	1.60
2	韩国薄片 b	60.62	0.71	1.62	0.62	21.52	8.94	2.07
3	韩国薄片 c	61.04	0.65	1.61	0.48	21.80	12.36	2.21
4	韩国薄片 d	59.64	0.69	1.60	0.80	21.42	12.56	3.21
5	韩国薄片 e	60.31	0.70	1.61	0.91	21.65	11.41	3.90
6	韩国薄片 f	58.90	0.75	1.73	1.20	21.95	10.97	2.65
7	四川薄片	62.12	0.92	1.96	1.12	21.43	10.11	2.26
8	韩国薄片 g	52.14	0.68	1.57	5.01	25.92	12.54	2.21
9	湖北薄片 a	51.54	0.84	1.96	1.25	25.85	14.58	4.71
10	湖北薄片 b	55.18	0.83	1.94	1.22	25.12	14.76	4.12

(2) 水溶性糖(总糖和还原糖):按 YC/T 159—2002 执行。

(3) 总植物碱:按 YC/T 160—2002 执行。

(4) 总氮:按 YC/T 161—2002 执行。

(5) 灰分:按 GB/T 2677.3—199 执行。

1.2.2 热失重分析 称取约 20 mg 经预处理的样品(冷冻干燥)于氧化铝坩埚中,载气为空气,流速 40 mL/min,氧化铝为参比物,升温速率 10 °C/min,升温至 900 °C,试验过程中可同时得到样品的 TG、DTG 曲线。

1.2.3 Py-GC/MS 分析 称取 0.1 mg 样品于石英管中,初始温度 50 °C,加热非燃烧薄片升温至 350 °C,升温速率 10 °C/ms,保持 25 s。选取空气为裂解产物载气,流速 70 mL/min,然后转至 GC/MS 分析。吸附阱条件:吸附温度 50 °C,脱附温度 280 °C,脱附时间 2 min,传输线温度 280 °C,炉温 270 °C,进样口温度 300 °C,采用 HR-35MS 型色谱柱(30 m×250 μm×0.25 μm)。升温程序:40 °C 保持 1 min,以 6.0 °C/min 升温至 290 °C,保持 10 min,分流比 50:1。EI 离子源,电子能量 70 eV,接口温度 230 °C。质谱扫描范围 m/z 20~400,扫描速率 500 Da/s,检索谱图库 NIST-14。采用峰面积归一化的方法定量分析,计算热裂解产物中每一组分在产物中的相对百分比含量。

1.2.4 数据处理 对样品的热失重分析进行数据处理,计算生物炭收率。对样品的 Py-GC/MS 数据进行分析,确定热裂解产物名称及致香成分和有害成分分析。

2 结果与讨论

2.1 加热非燃烧薄片化学成分分析

由表 2 可知,加热非燃烧烟草薄片的热水抽出物含量为 48.98%~66.59%,其中韩国部分加热非燃烧薄片(2~6 和 8)的热水抽出物含量较低,约为 48.98%~53.81%;而韩国薄片 a(1)、四川薄片(7)、湖北薄片 a(9)和湖北薄片 b(10)的热水抽出物含量则相对较高,约为 58.24%~66.59%。热水抽出物含量越高,代表烟草薄片样品中可溶性物质含量越高,烟草薄片中的可溶性物质主要来源于烟草薄片中的羧甲基纤维素钠、海藻酸钠和丙三醇等组分,热水抽出物含量高的薄片其相应的可溶性组分含量较高。加热非燃烧烟草薄片的总糖含量为 6.62%~28.93%,其中四川薄片(7)的总糖含量最高,达 28.93%;部分韩国薄片(1~5 和 8)的总糖含量为 8.85%~10.25%;韩国薄片 f(6)和湖北薄片(9)含量较低,为 6.62%~8.37%;湖北薄片 b(10)的总糖含量居中(13.36%)。总糖主要来源于烟草原料组分中的烟梗和烟末等烟草原料,烟草原料在薄片中的含量越高,其糖类物质含量越高,且还能提高薄片的总糖含量。烟草薄片中的总糖含量对烟草薄片在抽吸时的感官评价指标(烟味、口

感、雾化效果、杂气和刺激评价指标等)有积极作用,因此,总糖含量越高,对烟草的抽吸品质越有利。

由表 2 可知,加热非燃烧烟草薄片的还原糖含量为 4.79%~22.30%,其中四川薄片(7)的还原糖含量最高,达 22.30%;大部分韩国薄片(1~5 和 8)的还原糖含量为 6.18%~7.07%;韩国薄片 f(6)和湖北薄片 a(9)的还原糖含量较低,为 4.79%~5.30%;湖北薄片 b(10)的还原糖含量居中(10.92%)。还原糖主要来源于烟草原料(烟梗和烟末等),外加的植物纤维含量很低(1%左右),对还原糖的影响不明显。烟草薄片中的还原糖对其在抽吸时的感官评价具有积极作用,还原糖含量越高,烟草薄片的抽吸品质越好。加热非燃烧烟草薄片的总植物碱含量为 0.14%~1.13%,其中大部分韩国薄片(1、3~6 和 8)和湖北薄片 b(10)的总植物碱含量较高(0.91%~1.13%);韩国薄片 b(2)和湖北薄片 a(9)含量中等(0.64%~0.72%);四川薄片(7)的总植物碱含量最低(0.14%)。总植物碱来源于薄片中添加的烟草原料,烟草薄片的总植物碱含量越高,其在抽吸时烟味、口感、杂气和刺激等理化指标相应的得分相对较低。因此,总植物碱含量越低,其相应的抽吸品质越好。

由表 2 还可知,加热非燃烧薄片的总氮含量为 0.31%~2.50%,湖北薄片(9)的总氮含量较高,为 2.50%;韩国薄片(1~6 和 8)的总氮含量为 1.83%~2.19%;四川薄片(7)和湖北薄片 b(10)的总氮含量较低,为 0.31%~0.67%。总氮主要来源于烟草薄片中的烟草原料的蛋白质等含氮物质。因此,烟草原料在薄片中的含量及其含氮物质含量决定了总氮含量。烟草薄片中的总氮含量越低,其在抽吸时烟味、口感、杂气和刺激等理化指标得分越高。因此,总氮含量越低越利于提升其相应烟草薄片品质。加热非燃烧烟草薄片的灰分含量为 4.00%~11.10%,其中部分韩国薄片(1、3 和 8)的灰分含量较低,为 4.21%~5.61%;而韩国薄片 e(5)和湖北薄片 a、b(9 和 10)的灰分含量相对较高,为 8.41%~11.10%;部分韩国薄片(2、4 和 6)和四川薄片(7)的灰分含量居中,为 6.76%~7.28%。烟草薄片中的灰分主要来源于烟草薄片在生产过程中加入的无机填料及烟草植物原料在燃烧后产生的无机成分,灰分含量越高表明填料加入量越高,由于填料为多孔物质具有吸附性,会减少薄片抽吸产生的烟气的水分含量,从而对烟气品质产生不良影响。

2.2 加热非燃烧薄片的热失重特性分析

由图 1 可知,加热非燃烧薄片的主要热失重温度为 200~500 °C,失重速率为 2.23%/min~12.33%/min。

热失重可分为以下几个阶段:

(1) <200 °C 阶段,加热非燃烧薄片失重率较小(14.00%~18.00%),主要是因为烟草材料添加的保润剂

表 2 加热非燃烧薄片的化学成分含量

Table 2 Chemical composition content of heated non-burning tobacco sheets %

编号	热水抽合物含量	总糖	还原糖	总植物碱	总氮	灰分
1	58.24	9.26	6.78	1.04	2.00	5.60
2	50.60	9.04	6.32	0.72	2.16	7.09
3	50.47	10.11	6.86	0.91	1.99	5.61
4	50.25	10.25	6.91	0.94	2.03	7.19
5	50.74	9.78	6.18	0.95	2.19	8.41
6	53.81	8.37	5.30	0.94	2.08	6.76
7	66.59	28.93	22.30	0.14	0.67	7.28
8	48.98	8.85	7.07	0.91	1.83	4.21
9	60.54	6.62	4.79	0.64	2.50	8.82
10	60.10	13.36	10.92	1.13	0.31	11.10

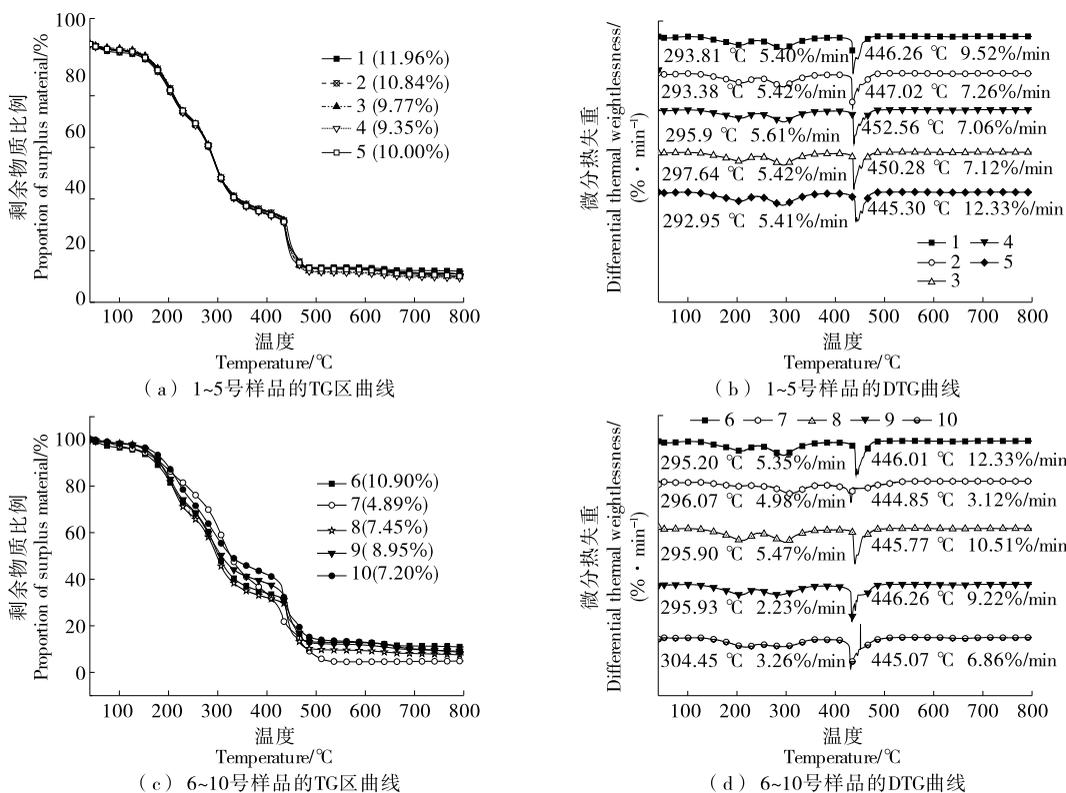


图 1 加热非燃烧薄片的 TG 和 DTG 曲线

Figure 1 TG and DTG curves of heated non-burning tobacco sheets

失重和水分、挥发性物质受热分解以及纤维素晶体单糖与其他一些小分子物质因热发生的裂解^[14],而烟草薄片中的保润剂主要是丙三醇。不同加热非燃烧烟草薄片中加入的丙三醇量差别较小(21.42%~25.92%),因此,不同薄片由此引起的失重差异较小。此外,纤维素晶体熔融吸热也可能是失重的原因之一,该阶段不同加热非燃烧薄片的失重率差别较小。

(2) 随着温度的进一步升高,200~420 °C 温度区间内该薄片的热失重较为明显,为热裂解的主要阶段之一

(失重率 64.00%~72.00%)。加热非燃烧薄片样品在该阶段的最大失重速率出现在 292~304 °C,其失重速率为 2.23%/min~5.61%/min;其中韩国薄片(1~6 和 8)和四川薄片(7)的加热非燃烧薄片的最大失重速率相差较小(4.98%~5.61%),湖北薄片(9~10)的最大失重速率相对较低(2.23%~3.26%)。该部分的失重可能是由于碳水化合物分解、高沸点化合物和结合态水蒸馏挥发,纤维素热分解造成的^[15]。综上,该阶段的热失重速率主要取决于烟草薄片中烟草原料和外加植物纤维含量,其含量

越高,相应的碳水化合物(如纤维素)含量越高,相应的热失重速率越大。湖北薄片(9~10)的烟草原料和植物纤维含量相对较低(52.79%~56.40%),因此,其最大的失重速率也相对较低。

(3) 420~500 °C,为加热非燃烧薄片的第二个重要的失重阶段(失重率 87.00%~93.00%),该类烟草薄片在温度444~452 °C内出现较大的失重速率(3.12%/min~12.33%/min)。其中大部分韩国薄片(1~6)的较大失重速率分布范围较宽(7.06%~12.33%),四川薄片(7)和湖北薄片 b(10)的较大失重速率较低(3.12%~6.86%),韩国薄片 g(8)和湖北薄片 a(9)的较大失重速率居中(9.22%~10.51%)。该部分的失重是由于大分子物质如木质素热裂解,残留物进一步裂解和炭化造成的^[15]。烟草薄片中大分子物质(如木质素)主要来源于烟草原料和植物纤维,二者在烟草薄片中的含量也是影响该温度范围内失重速率的主要因素。四川薄片和湖北薄片的较大失重速率相对较低也与烟草原料和植物纤维含量较低(52.79%~56.40%)有关。

(4) >500 °C阶段,该部分薄片的热失重率较小。

不同加热非燃烧薄片的最终生物炭收率为 4.89%~11.96%,其中四川薄片(7)和湖北薄片 b(10)的最终生物炭收率较低(4.89%~7.20%);韩国薄片 d、g(4 和 8)及湖北薄片 a(9)的最终生物炭收率居中(7.45%~9.35%);韩国薄片 a、b、c、e 和 f(1~3、5 和 6)的最终生物炭收率较高(9.77%~11.96%)。生物炭是生物残体在高温条件下的热解产物,主要来源于烟草薄片中的烟草原料和植物纤维。因此,烟草原料和植物纤维含量越高,其相应的最终生物炭收率越高。四川薄片和湖北薄片相应的烟草原料和植物纤维含量较低,其相应的生物炭收率相对较低。

2.3 加热非燃烧薄片的热裂解产物分析

由表 3 可知,加热非燃烧薄片的热裂解产物包括酮类、醛类、酸类、酯类、糖类和烯类等化合物。加热非燃烧薄片热裂解产物中的主要致香成分及有害成分见表 4 和图 2,其具体分析如下:

(1) 加热非燃烧薄片热裂解产生的化合物中,其主要致香成分包括 2-甲氧基-4-乙炔基苯酚、*D*-柠檬烯、丙三醇和 *n*-正十六酸。烟草原料中的多元酸和饱和脂肪酸可参与调节烟气 pH,影响卷烟劲头和吃味,在烟气中起平衡作用,其中致香成分中的 *n*-十六酸属于重要的酸性香味成分;致香成分中的 2-甲氧基-4-乙炔基苯酚、*D*-柠檬烯和丙三醇属于中性致香成分,对增强和改善卷烟的香气具有明显作用。其中,*D*-柠檬烯主要来源于烟草中叶绿素的降解,丙三醇的含量较高主要是由于薄片中加入量较多。其中部分韩国薄片(1、2 和 5)中的致香成分种类较多,个别样品致香成分种类较少(3 仅包含丙三醇、4、6 不含 2-甲氧基-4-乙炔基苯酚);四川薄片(7)中的主要致香

成分仅有 2-甲氧基-4-乙炔基苯酚和丙三醇;韩国薄片 g(8)和湖北薄片 b(10)的致香成分包括 *D*-柠檬烯、丙三醇和 *n*-正十六酸;湖北薄片 a(9)中的致香成分为丙三醇和 *n*-正十六酸,这些致香成分在热裂解成分中的含量差异较大,其中含量最高的是丙三醇(1.90%~16.42%),含量最少的为 2-甲氧基-4-乙炔基苯酚(≤1.02%)。此外,加热非燃烧薄片的热裂解产物中的致香成分总含量为 2.92%~17.66%,其中韩国薄片 c、d、e(3~5)和四川薄片(7)的致香成分总含量较低(2.92%~4.80%);韩国薄片 a、f(1 和 6)和湖北薄片 b(10)的致香成分总含量居中(7.58%~9.49%);韩国薄片 b、g(2 和 8)和湖北薄片 a(9)的致香成分总含量较高(10.49%~17.66%)。上述不同产品在加热情况下致香成分种类及释放量的差异主要是由于各类薄片的生产配方及生产工艺不同造成的,其中韩国部分薄片和湖北薄片的致香成分含量相对较高,有利于提升其抽吸品质。

(2) 该类薄片中的主要有害成分包括丁烷、醋酸、甲基乙二醛和苯酚。其中大部分韩国薄片(1、2、4、5 和 8)中的有害成分种类较多,基本含有上述有害成分,个别样品有害成分种类较少(3 和 6 含 2 种有害成分);四川薄片(7)和湖北薄片 a(9)有害成分含量较少,仅包含醋酸;湖北薄片 b(10)热裂解产物中的有害成分相对较少,包括醋酸和苯酚。这些有害成分在热裂解产物中的含量不同,其中醋酸(1.98%~9.80%)、甲基乙二醛(≤4.05%)和丁烷(≤4.05%)含量较高。薄片加热产生的有害成分主要来源于烟草薄片中的烟草原料和植物纤维中相应化学物质在高温下的热裂解。此外,加热非燃烧薄片的热裂解产物中的有害成分总含量为 2.65%~18.23%,其中韩国薄片 a(1)、湖北薄片 a 和 b(9 和 10)的有害成分总含量较低(2.65%~8.07%);韩国薄片 b、c、f、g(2、3、6 和 8)和四川薄片(7)的有害成分总含量居中(9.54%~13.12%);韩国薄片 d 和 e(4 和 5)的有害成分总含量较高(15.51%~18.23%)。加热非燃烧烟草薄片中有有害成分种类和含量越少,抽吸时对人体越有利。因此,韩国薄片 a(1)和湖北薄片(9 和 10)在抽吸时的安全性更高。

3 结论

研究分别从理化特性、热失重分析和热裂解分析等方面对国内外主流的加热非燃烧烟草薄片进行了剖析。结果表明:10 种加热非燃烧烟草薄片样品的水抽出物含量差异较小(48.98%~66.59%),而其他理化指标(总糖、还原糖、总植物碱、总氮和灰分)均有不同程度的差异。加热非燃烧烟草薄片的热失重可分为 4 个阶段,各阶段的失重率差别较小,但失重速率对应的温度及最大失重速率有所不同;此外,最终生物炭收率也不同。不同加热非燃烧烟草在热裂解过程中产生了致香成分和有害

表 3 加热非燃烧薄片热裂解产物分析[†]

Table 3 Analysis about the thermal pyrolysis products of non-burning tobacco sheets

编号	化合物	峰面积/%									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	丙酮	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4.09	ND	3.07	ND
2	丁烷	2.14	2.44	ND	3.06	4.05	ND	ND	2.31	ND	ND
3	羟基乙醛	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.31	ND	ND	ND
4	甲基乙二醛	ND	ND	3.28	3.06	4.05	3.73	ND	2.31	ND	2.79
5	醋酸	5.52	6.57	7.26	8.71	9.54	8.69	9.80	6.29	8.07	1.98
6	1-羟戊-2-丙酮	2.13	2.61	1.81	3.87	3.76	2.54	2.90	2.72	3.05	3.58
7	2-甲基丙酸	0.46	ND	ND	0.88	0.85	ND	ND	ND	ND	ND
8	糠醛	1.15	0.84	ND	1.72	1.22	0.70	9.71	1.28	1.23	1.05
9	2-呋喃甲醇	ND	0.86	ND	0.84	0.66	ND	2.05	0.50	0.65	0.62
10	3-呋喃甲醇	0.70	ND	ND	ND	0.66	0.70	2.05	0.50	0.65	ND
11	1,2-乙二醇二乙酸酯	0.55	0.66	ND							
12	4-环戊烯-1,3-二酮	ND	0.46	ND	0.67	ND	ND	ND	ND	0.84	ND
13	环戊-4-烯-1,3-二酮	ND	0.46	ND	0.67	ND	ND	ND	ND	0.84	ND
14	3-甲基-2,5-呋喃二酮	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8.50	ND	ND	ND
15	5-甲基-2-呋喃甲醛	0.36	0.42	ND	0.69	0.60	ND	1.57	0.37	0.50	0.27
16	苯酚	0.36	0.53	ND	0.68	0.59	ND	ND	0.34	ND	0.67
17	D-柠檬烯	0.59	0.73	ND	1.14	1.14	0.37	ND	0.69	ND	1.36
18	丙三醇	8.16	13.23	3.26	1.97	2.37	6.40	1.90	16.42	9.02	6.13
19	dl-苏氨酸	1.71	0.55	ND	ND	ND	1.39	ND	0.07	0.47	ND
20	1-乙酸-1,2,3-丙三醇	3.82	1.02	ND	0.80	0.13	ND	ND	0.07	0.79	ND
21	N-甲氧基-N-甲基乙酰胺	0.99	0.28	ND	0.97	0.98	ND	ND	0.05	0.13	ND
22	2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮	ND	ND	3.06	ND	ND	ND	3.05	ND	ND	2.28
23	(1S-内)-1,7,7-t-三甲基-双环[2.2.1]庚烷-2-醇	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.72	ND	ND	ND
24	5-甲基-2-(1-甲基乙基)-(1.α, 2.β, 5.α.)-(+/-)-环己醇	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.02	ND	ND	ND
25	儿茶酚	0.59	ND	ND	0.83	0.81	ND	1.37	ND	ND	ND
26	5-羟甲基糠醛	ND	ND	ND	0.67	ND	ND	28.06	0.41	ND	ND
27	异山梨酯	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.21	ND	DN	ND
28	2-甲氧基-4-乙基苯酚	0.17	0.22	ND	ND	0.33	ND	1.02	ND	ND	ND
29	(S)-3-(1-甲基-2-吡咯烷基)-吡啶	26.64	31.35	53.72	45.03	47.13	45.36	ND	30.65	37.72	16.63
30	3-(3,4-二氢-2H-吡咯-5-基)-吡啶	0.24	0.37	ND	ND	0.55	ND	ND	ND	0.81	ND
31	D-阿洛斯	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.65	ND	ND	ND
32	邻苯二甲酸异丁酯反式-3-烯基酯	ND	ND	1.49	0.87	ND	ND	ND	0.67	ND	ND
33	邻苯二甲酸异丁酯	0.37	ND	ND	ND	ND	0.81	ND	ND	ND	ND
34	邻苯二甲酸-3-甲基异丁-3-烯酯	ND	0.44	ND	0.87	0.82	ND	0.89	0.67	0.53	ND
35	n-正十六酸	0.57	0.71	ND	1.15	0.96	0.81	ND	0.55	1.47	1.15
36	邻苯二甲酸二丁酯	ND	ND	1.17	ND						
37	邻苯二甲酸-5-甲基己基-2-基丁酸酯	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.37	ND	ND	ND
38	石竹烯	0.14	ND	ND	ND	ND	0.57	ND	ND	ND	ND
39	9,12-十八碳二烯酸(Z,Z)-	0.17	ND	ND	ND	ND	ND	1.01	ND	ND	0.17
40	(7R,8S)-顺式-反-顺式-7,8-环氧三环[7.3.0.0(2,6)]十二烷	ND	0.39	ND	ND	0.64	0.66	ND	ND	ND	ND
41	13-十四烷-11-炔-1-醇	ND	ND	ND	0.71	ND	ND	ND	ND	ND	ND

† ND 为未检测到。

表 4 加热非燃烧薄片热裂解产物中致香成分和有害成分分析[†]

Table 4 Analysis about the aromatic and harmful components in the pyrolysis products of non-burning tobacco sheets

类别	产物	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
致香成分	2-甲氧基-4-乙烯基苯酚	0.17	0.22	ND	ND	0.33	ND	1.02	ND	ND	ND
	D-柠檬烯	0.59	0.73	ND	1.14	1.14	0.37	ND	0.69	ND	1.36
	丙三醇	8.16	13.23	3.26	1.97	2.37	6.40	1.90	16.42	9.02	6.13
	n-正十六酸	0.57	0.71	ND	1.15	0.96	0.81	ND	0.55	1.47	1.15
	丁烷	2.14	2.44	ND	3.06	4.05	ND	ND	2.31	ND	ND
有害成分	醋酸	5.52	6.57	7.26	8.71	9.54	8.69	9.80	6.29	8.07	1.98
	甲基乙二醛	ND	ND	3.28	3.06	4.05	3.73	ND	2.31	ND	ND
	苯酚	0.36	0.53	ND	0.68	0.59	ND	ND	0.34	ND	0.67

[†] ND 为未检测到。

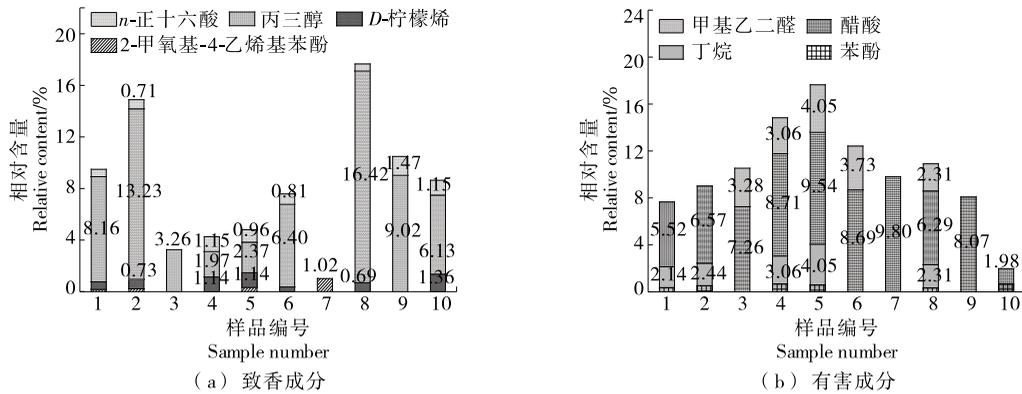


图 2 加热非燃烧薄片含量分析

Figure 2 Analysis about the content of aroma components and harmful components in the non-burning tobacco sheets

成分,其相应的含量差别较大,其中湖北薄片 a 热裂解烟气中致香成分含量较高,而有害成分含量较少。后续将进一步深入研究烟草薄片的原料成分与其相应的理化指标之间的关系,建立相应的数据库,为烟草薄片的应用建立更加全面的理论依据。

参考文献

[1] 李书杰, 赵汉章, 门晓龙. 国内加热不燃烧烟草制品发展现状与分析[J]. 科技与创新, 2019, 21: 115-116.
 [2] TITZ B, BOUE S, PHILLIPS B, et al. Effects of cigarette smoke, cessation and switching to two heat not burn tobacco products on lung lipid metabolism in C57BL/6 and Apoe/Mice an itegrive systems toricologyanalysis[J]. Toricological Satences, 2016, 149(2): 151-157.
 [3] 窦玉青, 沈轶, 杨举田, 等. 新型烟草制品发展现状及展望[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(5): 92-97.
 [4] 刘珊, 崔凯, 曾世通, 等. 加热非燃烧型烟草制品剖析[J]. 烟草科技, 2016, 49(11): 56-65.
 [5] 赵龙, 刘珊, 曾世通, 等. 甘油对烟丝加热状态下烟气中挥发性和半挥发性成分的影响[J]. 烟草科技, 2016, 49(4): 53-60.
 [6] 杨继, 杨帅, 段沉香, 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.

[7] 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.
 [8] 马鹏飞, 李巧灵, 林凯, 等. 加热非燃烧烟草薄片的热解特征研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(4): 71-74.
 [9] 周慧明, 华青, 刘广超, 等. 加热非燃烧状态下烟草制品的TSNAs释放规律[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(1): 82-88.
 [10] 朱浩, 席辉, 柴国璧, 等. 温度对加热非燃烧卷烟烟熏香成分释放的影响[J]. 烟草科技, 2017, 50(11): 33-38.
 [11] 王颖, 杨文彬, 王冲, 等. 加热不燃烧卷烟产品主流烟气中香味成分的比较[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 64-68.
 [12] 李朝建, 金勇, 周成喜, 等. 水分含量对不同加热不燃烧卷烟化学成分的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(10): 35-39, 149.
 [13] 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.
 [14] 白晓莉, 霍红, 蒙延峰, 等. 几种烟草薄片的热性能分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2010, 46(6): 696-699.
 [15] 杨滢, 周顺, 王孝峰, 等. 不同结构烟草纤维素的燃烧热解特性[J]. 烟草科技, 2017, 50(5): 38-44.