

加热不燃烧卷烟烟草材料的热分析研究

杨继, 杨帅, 段沅杏, 田永峰, 赵伟, 杨柳,
汤建国, 朱东来, 陈永宽, 缪明明

云南中烟工业有限责任公司技术中心, 昆明市五华区红锦路367号 650231

摘要: 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。结果表明: ①两种典型的加热不燃烧卷烟烟草材料的热失重都分为四个阶段, 炭加热型卷烟 A 主失重阶段发生在 133-270℃, 电加热型卷烟 B 主失重阶段发生在 232-347℃; ②两种烟草材料在前两个阶段失重量均要明显高于传统卷烟, 主要是相对高比例的料香及烟雾生成剂的使用及较高的含水量; ③两种典型的烟草材料在 350℃热裂解, 主要检出物质均为甘油、丙二醇和烟碱, 其他主要物质还有乙酸、酮、醛和长链烷烃。

关键词: 加热不燃烧卷烟; 热重/差示扫描量热; 热裂解; 烟草材料

引用本文: 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)

随着全球控烟环境的日趋严峻及消费者对健康的日益关注, 研发一种全面地、大幅地降低烟草有害成分释放量的新型烟草制品逐渐成为世界各国烟草行业的发展重点。加热不燃烧卷烟是利用特殊热源对烟丝进行加热 (500℃以下甚至更低)、烟丝只加热而不燃烧的新型烟草制品^[1], 特征是有害成分释放量较低^[2-3]并提供消费者一定的烟草特征感受。加热不燃烧卷烟的加热方式主要包括电加热型、炭加热型、理化反应加热型、其它热源型等。菲利普-莫里斯公司 (Philip Morris USA) 开发的“穿越” (Accord)^[4]和菲莫国际 (PMI) 研发的“加热吧” (Heatbar)^[5]产品是电加热型烟草制品的代表。雷诺公司 1988 年上市的“卓越” (Premier) 和 1995 年上市的“伊克莱斯” (Eclipse)^[6-7]属于燃料加热型烟草制品。这两种产品所使用的热源均为碳质固体燃料。理化反应加热型烟草制品目前只有专利尚无产品。2014 年, 菲莫国际推出其第四代电加热不燃烧烟草产品——万宝路加热棒 (Marlboro HeatSticks)^[8]和附属装置电加热器 (iQOS)^[9]。加热不燃烧卷烟国外烟草公司有了较多的研究, 大多集中在烟气成分、毒理学评价等方面^[10-12]。例如 Eclipse 的烟气中致癌物质的含量比

普通卷烟少 80%, 使吸烟者对诱变剂的摄入量减少 70%, 使吸烟者支气管炎和肺炎的发病率降低 46% 和 36%, 大大降低了烟草制品对人体的危害^[13-14]。目前针对加热不燃烧卷烟烟草材料的热分析研究未见报道。(TG/DSC) 是应用热天平在程序控制温度下测量样品质量与温度变化的热分析技术, 可提供程序升温条件下样品的热分解信息^[15-16], 热失重和热裂解等热分析手段较适合用来模拟卷烟加热或燃烧行为^[17-18]。本文通过热重/差示扫描量热法和热裂解分析, 对典型加热不燃烧卷烟的烟草材料进行热行为研究, 对其分解机理进行推断和验证, 为加热不燃烧卷烟材料的研制提供基础性数据支持。为进一步研制烟叶原料加热非燃烧状态下化学成分释放和烟丝参比的实验装置和分析方法奠定了基础。

1 材料和方法

1.1 材料、试剂和仪器

典型炭加热型卷烟 A (购于美国纽约); 典型电加热型卷烟 B (购于日本东京);

根据 YC/T 160-2002 和 YC/T 31-1996, 检测了电加热型卷烟 B 烟草材料中总植物碱为 2.07% 及水分

基金项目: 中国烟草总公司科技重大专项“电加热新型卷烟质量评价技术研究” [110201401017 (XX-05)]; 云南中烟工业公司科技开发计划“云南中烟新型烟草制品研发及其共性技术研究” (2014CP02)

作者简介: 杨继 (1980—), 硕士, 工程师, 主要从事烟草化学研究, Email: yangji052@163.com

通讯作者: 杨柳, Email: liuyang929@126.com

收稿日期: 2015-02-11

含量为 15.40%; 根据 YC/T 244-2008, 检测了其中甘油含量为 129.58mg/g、1,2-丙二醇含量为 4.65mg/g。由于电加热型卷烟 B 中烟草材料为再造烟叶, 对其水溶物含量进行了初略的分析, 其水溶物占烟草材料干重的 59.6%。

TG/DSC1 型热重 / 差热综合热分析仪 (瑞士 Mettler Toledo 公司);

Agilent 7890A / 5975c 气相色谱 / 质谱联用仪 (美国 Agilent 公司);

Pyroprobe 5250T 型热裂解仪 (美国 CDS 公司), 配大体积冷进样口 (德国 Gerstel 公司)。

1.2 方法

1.2.1 热重方法

样品分析前, 设置热重分析仪在 800 °C 条件下保持 10 min, 以使炉体内杂质排净。热天平灵敏度为 1 µg, 以空坩埚为参比物。称取 (5.00±0.05) mg 典型加热不燃烧卷烟烟草材料置于热重铂坩埚内。在 80mL/min 空气流量下, 升温程序分别为: 30 °C $\xrightarrow{10^{\circ}\text{C}/\text{min}}$ 800 °C (10 min)。

1.2.2 热裂解方法

热裂解氛围: 含 9% 氧气的氮氧混合气; 总裂解气流速: 70mL/min; 热裂解探头 (热解头) 升温程序为: 50 °C (5 s) $\xrightarrow{30^{\circ}\text{C}/\text{s}}$ 350 °C (5 s)。

冷阱或冷进样系统捕集温度: -60 °C; 冷阱或冷进样系统进样条件: 在 5min 内由 -60 °C 升至 280 °C; 冷阱系统: 在去活不锈钢中间位置从两端装填中心位置约 2cm 长硅氧化玻璃棉;

1.2.3 气相色谱 / 质谱方法

GC/MS 条件: 色谱柱: HP-5MS 熔融石英毛细管柱 (30 m×0.25 mm, 0.25 µm); 载气: 氦气 (纯度为 99.999%); 流速: 1mL/min; 程序升温: 40 °C (3 min) $\xrightarrow{10^{\circ}\text{C}/\text{min}}$ 240 °C $\xrightarrow{20^{\circ}\text{C}/\text{min}}$ 280 °C (5 min); 进样口温度: 280 °C; 分流比为 20: 1; 传输线温度: 280 °C; 电离方式: 电子轰击源 (EI); 电子能量: 70 eV; 扫描方式: 全扫描; 扫描范围: 29 ~ 450 amu; 离子源温度: 230 °C; 四级杆温度: 150 °C; 不溶剂延迟。对烟草材料热裂解产物中的挥发性成分采用 NIST 2008 和 WILEY07 标准谱库检索定性, 采用峰面积归一化法定量。

2 结果与讨论

2.1 加热不燃烧卷烟烟草材料的 TG/DSC 表征

作为碳加热和电加热烟草材料, A 和 B 相比传统卷烟, 烟雾生成剂 (传统卷烟中用作保润剂) 和料

香使用量与传统卷烟具有明显的区别, 烟雾生成剂和料香均具有不同的热力学性质^[19], 该复合添加物必将对烟草材料的热失重行为产生直接的影响。基于此, 以两种加热不燃烧卷烟烟草材料为研究对象, 开展了热失重行为 (TG-DTG-DSC) 研究热重 / 差示扫描量热分析。

2.1.1 A 卷烟烟草材料的 TG/DSC 表征

A 卷烟主要由碳棒、包裹在碳棒外层的浅色薄片、卷烟纸、烟草填充物 (烟草材料 1/ 烟草材料 2)、中空滤嘴组成 (图 1)。图 2 为烟草材料 1 在 10 °C/min 升温速率、80mL/min 空气流量条件下的热分析曲线。由图可知, 热失重分四个阶段: ① 30-100 °C 失重 7.74% 为第一失重阶段, 可能是烟草材料添加的易挥发的保润剂失重引起。② 133-270 °C 失重 51.55% 为第二失重阶段, 是主要失重阶段。这一阶段, DTG 曲线呈现一个较大的尖峰, 194.5 °C 时 DTG 为 0.035mg/°C。可能是烟草材料添加的保润剂失重和水分、挥发性物质受热分解以及纤维素晶体单糖和其他一些小分子物质因热裂解^[20]。添加保润剂的目的是强化烟气的烟草香味特征并保持其稳定, 提高感官质量。对应的 DTA 曲线呈现一个小的吸热峰, 热焓变化为 789.7mJ, 除了保润剂、水分和挥发性物质分解吸热外也包括纤维素晶体熔融吸热^[21]。这些都和 A 卷烟采用独特的加热方式有关, 它不是直接点燃的, 而是采用碳加热, 增加烟草材料的水分和单糖的含量, 给吸食者以较高的吸食品质^[22], 烟气更为和顺。③ 278-365 °C 失重 12.97% 为第三失重阶段, 这一阶段, DSC 呈现放热峰, 热焓变化为 634.4mJ, 可能是碳水化合物分解、高沸点化合物和结合态水蒸馏挥发, 纤维素热分解造成^[23]。④ 391-588 °C 失重 17.51% 为第四失重阶段, 对应的 DSC 曲线上出现一个巨大的放热峰, 最大放热温度为 423.4 °C, 热焓变化为 13J。大分子物质例如木质素热裂解, 残留物进一步裂解和炭化^[23]。

如图 3 所示, 烟草材料 2 在空气中有 2 个明显的热解失重段: ① 160.4-349.9 °C 失重 24% 为第一阶段, 306 °C 时 DTG 为 0.004 mg/°C, 可能是薄片中的单糖、小分子物质以及纤维素热分解造成的^[20]; ② 367.8-517.2 °C 失重 21% 为第二阶段, 发生了剧烈的氧化反应直至燃烧放热, 这一阶段多糖物质 (多为高分子物质如木质素等) 发生热裂解造成失重^[20]。DSC 曲线上呈现大而尖锐的放热峰, 热焓变为 9987.9mJ。650 °C 左右有轻微失重 6%, 可能是薄片中的碳酸钙受热分解造成的。

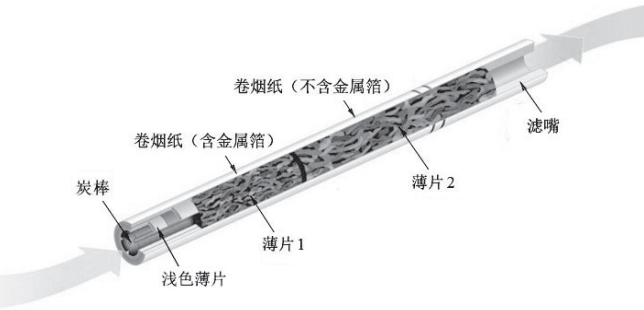


图 1 A 卷烟结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of "A"

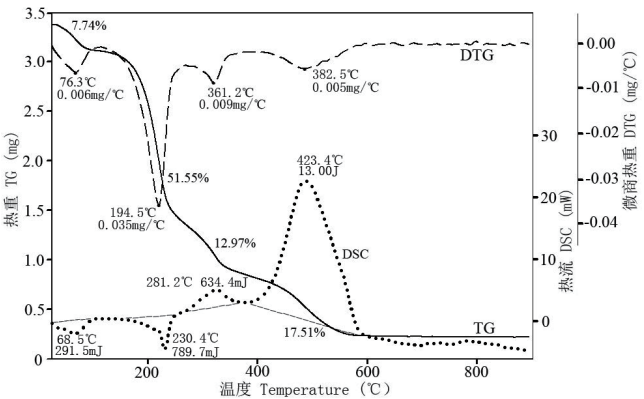


图 2 A 烟草材料 1 在空气氛围中热解的热重 (TG)、微商热重 (DTG)、热流 (DSC)- 温度 (Temp) 曲线

Fig. 2 TG, DTG, DSC- Temp curves of tobacco materials 1 of A in the air

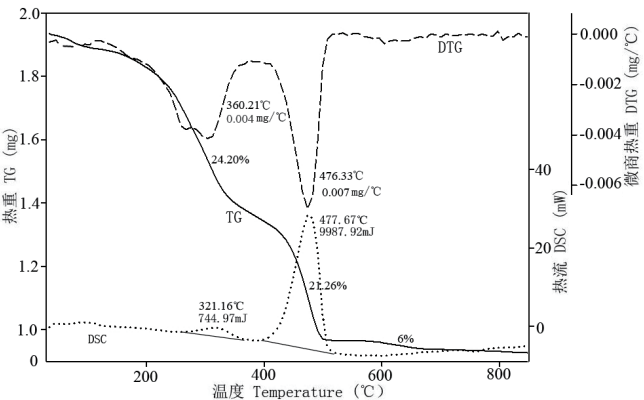


图 3 A 烟草材料 2 在空气氛围中热解的热重 (TG)、微商热重 (DTG)、热流 (DSC)- 温度 (Temp) 曲线

Fig. 3 TG, DTG, DSC- Temp curves of tobacco materials 2 of A in the air

2.1.2 B 卷烟烟草材料的 TG/DSC 表征

B 卷烟烟支包括实心丝束段、降温段、中空丝束段和烟草材料段四个部分。其中，烟草材料主要由再造烟叶卷制而成，其内层接近深色薄片，外层为类似

浅色薄片。图 4 为其在相同条件下的 TG/DSC 曲线。烟草材料失重分四个阶段：32-87℃失重 6.9%，108-223℃失重 25.41%，232-347℃失重 29.42%，396-487℃失重 19.51%。和 A 卷烟烟草材料相比，B 没有一个明显的失重段，除了第一阶段失重率较少，后面三个阶段均维持在 20%-30%。①第一阶段温度较低，失重较少，可能是加热不燃烧卷烟烟草材料添加特殊的易挥发的保润剂失重造成。②第二阶段可能是烟草材料中的单糖和一些小分子物质发生热裂解，而单糖的分解速度与加入的香料及一些小分子盐有关^[24]。一、二阶段在 DSC 曲线上能量变化较为微弱，说明变化比较缓和。③第三阶段在 DSC 曲线上可以看到缓慢的放热峰，峰值 318℃、11.96mW，热焓变化为 4647.68mJ。失重 29.42% 为最大失重阶段，可能是大分子难挥发性化合物的分解过程，例如果胶、纤维素、半纤维素等化合物的分解^[24]。④第四阶段呈现剧烈尖锐的放热峰，可能发生了燃烧，峰值为 445℃，128.17 mW，热焓变化 13.07J。这一阶段，失重比较剧烈，DTG 曲线上也呈现一个大的尖峰，444.8℃的时候达 0.03mg/℃，能是多糖物质和木质素等高分子物质的热分解。由此可以看出，与传统卷烟不同的是，A 和 B 烟草材料在前两个阶段失重量要明显高于传统卷烟^[25]，分析其原因，主要有以下两点：相对高比例的料香及烟雾生成剂及较高的水含量；烟雾生成剂和料香基本为易挥发性和中度挥发性成分，在加热不燃烧卷烟加热温度下可以大量挥发。同样，和典型的再造烟叶薄片相比^[26]，A 卷烟烟草材料 1、烟草材料 2 特别是 B 烟草材料除了第一失重阶段的水分和挥发性物质失重外，从第二阶段起加热不燃烧卷烟烟草材料的热失重温度都有所提前，这可能是烟草材料中加入大量保润剂、挥发性小分子物质及其单糖物质造成的。

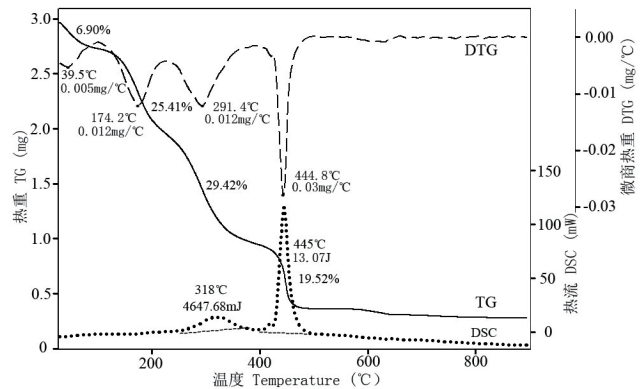


图 4 B 烟草材料在空气氛围中热解的热重 (TG)、微商热重 (DTG)、热流 (DSC)- 温度 (Temp) 曲线

Fig.4 TG, DTG, DSC - Temp curves of tobacco materials of B in the air

2.2 两种典型加热不燃烧卷烟烟草材料的热裂解对比分析

加热不燃烧卷烟电加热温度低于 350℃。针对碳加热卷烟 A, 生产公司对其表面温度及其烟支内部结构温度进行了描述^[7], 碳源附近温度为 355-436℃, 而烟草材料 1 和烟草材料 2 的位置温度均低于 350℃。因为烟草在 300℃ 左右即可发生较低程度的热裂解^[27]。基于此, 以 A 和 B 两种烟草材料为研究对象, 对其在 50~350℃ 升温区间的热裂解行为进行了研究。

如图 5-a 为 A 卷烟烟草材料在 50-350℃ 的热裂解的总离子流色谱图, 由于裂解温度较低, 检测到的物质较少, 共检测到 32 种物质如表 1 所示。主要物质为丙二醇、烟碱、甘油、1,6-脱水吡喃葡萄糖。

图 5-b 为 B 烟草材料在 50-350℃ 的热裂解的总离子流色谱图, 检测到 41 种物质如表 1 所示。和 A 烟草材料相比, B 裂解出的产物相对较多, 其中主要物质为乙酸、丙二醇、烟碱、甘油等。将两种烟草材料进行 5 次重复实验, 结果 (表 1) 表明, 鉴定组分峰面积的相对标准偏差 (RSD) 最大为 32.2%, 最小为 2.1%, 平均值为 9.58%, 说明方法的重复性良好。

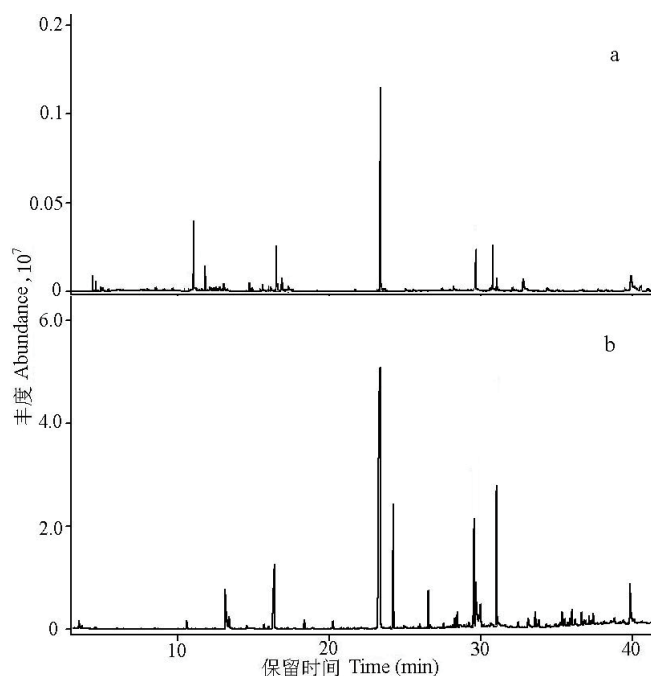


图 5 两种烟草材料的热裂解对比色谱图

Fig. 5 Comparative TIC of the pyrolysis of two typical tobacco materials

表 1 两种加热不燃烧卷烟烟草材料热裂解产物

Tab. 1 Analytical results of the main pyrolysis products of two kinds of tobacco materials

序号	保留时间 /min	裂解产物	相对含量 ^① /%		RSD ^② (n=5) /%
			A	B	
1	2.631	2- 甲基呋喃	0.30	-	10.2
2	3.653	2- 甲基丁醛	-	0.07	5.1
3	3.658	3- 甲基丁醛	-	0.12	7.0
4	3.716	1- 甲基吡咯烷	-	0.04	3.4
5	3.838	2,3- 丁二酮	-	0.08	2.2
6	7.033	1- 乙氧基 -1- 烯 -3- 丁炔	0.16	-	9.4
7	8.135	4- β -L- 脱氧阿拉伯吡喃糖甲基 -4- 叠氮基苷	0.38	-	24.1
8	9.105	2- 乙酰基呋喃	0.04	-	11.2
9	10.621	羟基丙酮	-	0.31	7.1
10	11.064	(E)-2- 庚烯醛	0.61	-	12.3
11	11.681	2,4,5- 三甲基 -1,3- 二氧戊环	5.94	-	15.6
12	11.937	1,5- 二氢 -1- 甲基 -2H- 吡咯 -2- 酮	0.92	-	26.7
13	12.081	(S) -5- 羟甲基 -2(5H)- 呋喃酮	0.58	-	32.2
14	12.255	2- 戊炔	0.29	-	24.5
15	12.396	对甲基苯乙酮	0.35	-	13.6
16	13.158	乙酸	-	2.95	6.5
17	13.305	糠醇	0.54	-	4.5

续表 1

18	13.388	N- 羟基 -N- 甲基 - 苯甲胺	0.23	-	24.6
19	13.402	糠醛	-	0.47	3.1
20	13.451	(R)- 缩水甘油	-	0.42	4.2
21	14.578	苯甲醛	-	0.23	6.4
22	14.948	2- (1- 甲基 -2- 吡咯烷基) - 吡啶	1.15	-	17.5
23	15.485	异硫氰酸异丙酯	1.26	-	18.6
24	15.805	5- 苯基四氮唑	0.95	-	10.5
25	16.007	5- 甲基呋喃醛	-	0.16	8.4
26	16.407	丙二醇	5.60	6.05	2.1
27	16.474	3- 甲基 -1- 苯基吡唑	1.05	-	11.2
28	16.535	1,6- 脱水吡喃葡萄糖	2.86	-	13.2
29	17.252	γ - 丁内酯	-	0.08	3.3
30	19.299	(S)-2- 甲基基 -2- (4- 甲基 -3- 戊烯基) - 环丙烷	0.38	-	26.3
31	20.165	5- 甲基 -2- 呋喃甲醇	0.72	0.07	7.2
32	20.267	1,7,7- 三甲基 - 三环 [2.2.1] 庚烷	-	0.39	5.2
33	20.784	2(5H)- 呋喃酮	-	0.08	4.1
34	21.218	乙酰胺	-	0.11	3.5
35	22.028	3- 甲基戊酸	-	0.07	4.6
36	23.156	愈创木酚	-	0.13	6.3
37	23.395	烟碱	46.24	38.91	2.1
38	23.471	马来酸单 (2- 乙基己酯)	0.28	-	16.5
39	23.617	辛酸 -1- 甲基乙醇酯	0.23	-	18.2
40	23.782	正十四烷基铵	0.24	-	14.5
41	24.014	2,6- 二叔丁基对甲酚	-	0.07	6.2
42	24.497	丙烯酰胺	-	0.06	5.2
43	24.946	甲基麦芽酚	-	0.14	2.6
44	25.537	苯酚	-	0.05	6.5
45	25.552	十六烷	0.38	-	7.5
46	26.010	4- 羟基 -2,5- 二甲基 -3(2H)	-	0.16	5.6
47	26.103	2- 吡咯烷酮	-	0.05	4.5
48	26.552	三醋精	-	1.16	7.4
49	26.693	1,3- 二羟基丙酮二聚体	-	0.13	3.6
50	27.455	2- 十四烷基酯甲氧基乙酸	0.51	-	18.9
51	27.977	10- 甲基十九烷	2.67	-	10.2
52	28.157	对乙烯基愈疮木酚	-	0.20	7.7
53	28.217	十九烷酰胺	1.47	-	15.2
54	28.298	麦斯明	-	0.41	3.2
55	28.406	棕榈酸甲酯 ;	-	0.06	4.5
56	28.928	棕榈酸乙酯	-	0.10	2.6
57	29.264	2,3- 二氢 -3,5- 二羟基 -6- 甲基 -4H- 吡喃 -4- 酮	-	5.47	3.3

续表 1

58	29.602	2- 十三烷基酯甲氧基乙酸	4.81	-	10.2
59	30.138	甘油	5.03	19.05	6.5
60	30.462	癸丙草酸酯	1.93	-	12.6
61	33.143	2,3' - 联吡啶	-	0.61	7.5
62	33.617	5- 羟甲基糠醛	-	0.94	8.6
63	35.242	亚麻酸乙酯	-	0.16	9.2
64	35.554	叶绿醇	-	0.39	7.2
65	35.749	马来酸二乙基己酯	-	0.19	8.5
66	35.920	4- (3- 羟基 -1- 丁烯 -1- 基) -3,5,5- 三甲基 -2- 环己烯 -1- 酮	-	0.40	10.9
67	36.657	二十七烷	-	0.48	3.7
68	39.857	棕榈酸	0.66	3.11	4.8
化合物合计			32	41	

注: ①采用峰面积归一化法, 以各化合物色谱峰面积的相对百分比表示其相对含量。②相对标准偏差 (RSD) 由色谱峰面积计算得到。

两种烟草材料在 350℃ 以下的热裂解实验中, 主要检出物质为甘油、丙二醇和烟碱, 甘油和丙二醇均为人为添加的烟雾生成剂, 烟碱同样是为了赋予抽吸满足感进行人为添加; 其他主要物质还有乙酸、酮、醛和烷烃等。结合加热不燃烧卷烟加热非燃烧的抽吸特征、较低的加热温度、偏淡的烟香, 表明烟草物质的感官质量相对更依靠人为添加的挥发性香味物质, 而传统卷烟的抽吸体验更依赖后期的高温热裂解和热合成。

3 结论

1) 两种加热不燃烧卷烟烟草材料的热失重均分为四个阶段, 但主失重阶段不一样, 在 DSC 曲线上表现出来的热量变化也有差别。电加热卷烟 B 烟草材料在第一、二阶段没有明显的吸热峰。两种烟草材料在第四阶段可能都发生了燃烧。

2) 碳加热卷烟 A 烟草材料主要失重可能是保润剂、水分、挥发性物质、纤维素晶体单糖和其他一些小分子物质受热分解造成。而 B 烟草材料主要失重可能是大分子难挥发性化合物的分解过程, 例如果胶、纤维素、半纤维素等化合物的分解。

3) 两种加热不燃烧卷烟烟草材料在前两个阶段失重量要明显高于传统卷烟, 主要是相对高比例的料香及烟雾生成剂的使用及较高的含水量。

4) 两种烟草材料在 350℃ 热裂解, 主要检出物质为甘油、丙二醇和烟碱, 其他主要物质还有乙酸、酮、醛和长链烷烃。B 比 A 热裂解检测到的物质多。

由此可以看出, 加热不燃烧卷烟烟草材料中保润剂和水分的使用比例、挥发性小分子物质以及外加香精香料是提高加热不燃烧卷烟感官品质的重要因素。

参考文献

- [1] Reynolds R J. Chemical and biological studies of new cigarette prototypes that heat instead of burn tobacco[J]. RJ Reynolds Tobacco Company, Winston-Salem, NC, 1988.
- [2] Pryor W A, Church D F, Evans M D, et al. A comparison of the free radical chemistry of tobacco-burning cigarettes and cigarettes that only heat tobacco[J]. Free Radical Biology and Medicine, 1990. 8(3): 275-279.
- [3] Bethizy J D, Borgerding M F, Doolittle D J, et al. Chemical and biological studies of a cigarette that heats rather than burns tobacco[J]. The Journal of Clinical Pharmacology, 1990. 30(8): 755-763.
- [4] 菲利普莫里斯公司. 传送烟香的电吸烟系统和烟卷: 中国, CN1131676C [P], 1996-06-06.
- [5] 菲利普莫里斯公司. 带有烟雾检测用内置总管装置的电热吸烟系统: 中国, CN101637308A [P], 2003-11-7.
- [6] R.J. 雷诺兹烟草公司. 香烟及其制造方法: 中国, CN1086407A [P], 1994-5-11.
- [7] Baker R R, Bevan M A J. Studies on the Eclipse Cigarette: Studies on the Eclipse Cigarette: Project Report Number P94. Project Report Number P94. <http://legacy.library.ucsf.edu/tid/lmv24a99>.
- [8] 菲利普莫里斯公司. 基于蒸馏的发烟制品: 中国, CN101778578A [P], 2010-7-14.
- [9] 菲利普莫里斯公司. 电加热的发烟系统: 中国, CN102438470A [P], 2012-5-2.
- [10] Borgerding M F, Bodnar J A, Chung H L, et al. Chemical and biological studies of a new cigarette that primarily

- heats tobacco. Part 1. Chemical composition of mainstream smoke[J]. Food and Chemical Toxicology, 1998, 36, 169.
- [11] Bombick B R, Murli H, Avalos J T, et al. Chemical and biological studies of a new cigarette that primarily heats tobacco. Part 2. In vitro toxicology of mainstream smoke condensate[J]. Food and Chemical Toxicology, 1998, 36, 183.
- [12] Bombick D W, Ayres P H, Putnam K, et al. Chemical and biological studies of a new cigarette that primarily heats tobacco. Part 3. In vitro toxicity of whole smoke[J]. Food and Chemical Toxicology, 1998, 36, 191.
- [13] Gardner D E. A safer cigarette? A comparative study. A consensus report, Eclipse expert panel. Inhalation Toxicology, 2000, 12(S5), 1.
- [14] Foy J W D, Bombick B R, Bombick D W, et al. A comparison of in vitro toxicities of cigarette smoke condensate from "Eclipse" cigarettes and four commercially available ultralow- "tar" cigarettes [J] Food Chem. Toxicol, 2004, 42(2): 237-243.
- [15] 陆昌伟, 奚同庚. 热分析质谱法 [M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2002: 155-175.
- [16] 卢岚, 杨柳, 吴亿勤等, 等. 剑桥滤片捕集装置 - 热重 - 气相色谱 - 质谱法研究低温下纤维热解形成苯并 [a] 芘的过程 [J]. 中国烟草学报, 2012, 18 (30) : 1-5.
- [17] 刘珊, 张军涛, 胡军, 等. 裙带菜多糖的热裂解产物分析及卷烟应用研究 [J]. 中国烟草学报, 2013, 19 (5) : 10-15.
- [18] 杨柳, 缪明明, 吴亿勤, 等. TGA 和 Py-GC/MS 研究琥珀酸单薄荷酯的热失重和热裂解行为 [J]. 中国烟草学报, 2008, 4: 1-7.
- [19] Gomez-Siurana A, Marcilla A, Beltran M, et al. Thermogravimetric study of the pyrolysis of tobacco and several ingredients used in the fabrication of commercial cigarettes: Effect of the presence of MCM-41[J]. Thermochimica Acta. 2011, 523 :161-169.
- [20] 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.
- [21] 黄玉惠, 李卓美, 马志艺. 取代度和金属平衡离子对羧甲基纤维素热行为的影响 [J]. 高等学校化学学报, 1990, 11(8): 882-886.
- [22] 钟庆辉. 烟草化学基本知识 [M]. 北京: 轻工业出版社, 1985: 3-4.
- [23] Burdick D, Benner J F, Burton H R. Thermal decomposition of tobacco. IV. Apparent correlations between thermogravimetric data and certain constituents in smoke from chemically-treated tobaccos[J]. Tobacco New York, 1969 :21-24.
- [24] Baker R R, Oburn S, Liu C, et al. Pyrolysis of saccharide tobacco ingredients: a TGA-FTIR investigation[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2005, 74(1) :171-180.
- [25] 王洪波, 郭军伟, 夏巧玲, 等. 部分国产烟草样品的热重分析 [J]. 烟草科技, 2009, 9: 47-49.
- [26] Wang W S, Wang Y, Yang L J, et al. Studies on thermal behavior of reconstituted tobacco sheet[J]. Thermochim. Acta, 2005, 437 : 7-11.
- [27] Torikai K, Yoshida S, Takahashi H, et al. Effects of temperature, atmosphere and pH on the generation of smoke compounds during tobacco pyrolysis[J]. Food and Chemical Toxicology, 2004, 42 (9) :1409-1417.

Investigation of thermogravimetry and pyrolysis behavior of tobacco material in two heat-not-burn cigarette brands

YANG Ji, YANG Shuai, DUAN Yuanxing, TIAN Yongfeng, ZHAO Wei, YANG Liu, TANG Jianguo, ZHU Donglai,
CHEN Yongkuan, MIAO Mingming

R&D Center, China Tobacco Yunnan Industrial Co., Ltd., Kunming 650032, China

Abstract: The thermogravimetry(TG) and pyrolysis behavior in tobacco materials of two typical heat-not-burn cigarettes, including charcoal heating cigarettes(A) and electric heating cigarettes(B), were investigated by TG/DSC and Py-GC/MS. Results showed that ① TG in tobacco materials of two typical heat-not-burn cigarettes could be divided into four stages. The main weight loss stage of A was 133-270°C but that of B was 232-347°C. ② The weight loss of tobacco materials of two typical heat-not-burn cigarettes in the first and the second stage was significantly higher than that of conventional cigarettes as there were relatively high proportion of flavor component, smoke generator and high water content. ③ The pyrolysis reaction of two typical tobacco materials were performed by Py-GC/MS at 350°C. The main detection substances were glycerol, propylene glycol and nicotine, as well as acetic acid, ketones, aldehydes, and long-chain alkanes.

Keywords: heat-not-burn cigarette; TG/DSC; pyrolysis; tobacco materials

Citation: 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)