

水分含量对不同类型加热不燃烧 卷烟化学成分的影响

The effect of moisture content on chemical components of
different types of heat-not-burn tobacco products

李朝建¹ 金 勇¹ 周成喜² 石怀彬¹

LI Chao-jian¹ JIN Yong¹ ZHOU Cheng-xi² SHI Huai-bin¹

(1. 江苏中烟工业有限责任公司技术中心, 江苏 南京 210019;

2. 南通烟滤嘴有限责任公司, 江苏 南通 226014)

(1. Technology Center, China Tobacco Jiangsu Industry Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210019, China;

2. Nantong Cigarette Filter Co., Ltd., Nantong, Jiangsu 226014, China)

摘要: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,开展烟支水分与甘油、烟碱相关性研究,并进行扫描电镜和热重分析。结果表明:①烟草薄片甘油、烟碱质量含量以干薄片相应物质质量含量表述更准确。②烟支水分释放量、烟支颗粒物重量与烟支含水量呈正比,颗粒物水分含量为53.33%~65.89%。③受烟支加热温度及烟草薄片性质的影响,卷烟A烟支甘油释放量与烟支含水量呈正比,卷烟B烟支甘油释放量与烟支含水量呈反比,但两者烟支烟碱释放量均为50%湿度平衡后的烟支最高。另外,卷烟A的烟支中水分、甘油、烟碱转移率均显著高于卷烟B的。

关键词:加热不燃烧卷烟;水分;甘油;烟碱

Abstract: In order to investigate the effect of moisture content on the chemical components of different types of heat-not-burn tobacco products (HNB), cigarette A prepared using tobacco sheet by thick pulp method and cigarette B prepared using tobacco sheet by Paper making method were taken as research objects, and the correlation between moisture in cigarettes and glycerol, nicotine was studied. SEM and TG analysis were carried out. The results showed that: ① The mass contents of glycerol and nicotine in the tobacco sheet were more accurately expressed in terms of the mass content of the corresponding substances in the dry

sheet. ② The amount of moisture released and the weight of particulate matter in smoke were proportional to the moisture content of cigarette, and the proportion of moisture in particulate matter was 53.33%~65.89%. ③ Affected by the heating temperature of cigarette and the properties of tobacco sheets, the release amount of glycerin from cigarette A was proportional to the moisture content of cigarette, while the release amount of glycerin from cigarette B was inversely proportional to the moisture content of cigarette. However, the release amount of nicotine from both cigarettes were the highest after 50% moisture balance. In addition, the transfer rates of moisture, glycerol and nicotine in cigarette A were significantly higher than those in cigarette B.

Keywords: heat-not-burn tobacco product; moisture content; glycerol; nicotine

加热不燃烧卷烟是新型烟草制品的重要形式,主要通过加热蒸馏方式(500℃以下)使烟草材料受热释放气溶胶^[1-2]。与传统卷烟相比,加热不燃烧卷烟只加热烟草材料而非燃烧,减少了烟草高温燃烧过程产生的有害成分,且侧流烟气和环境烟气的释放量也明显降低^[3-6]。目前中国关于加热不燃烧卷烟的基础研究主要集中在材料的物理化学分析及烟气分析^[6-9]等方面,未见烟支中水分与甘油、烟碱的相关性研究报道。

加热不燃烧卷烟中甘油含量较高^[8],极易受潮,受潮后不仅影响卷烟外观质量,还对卷烟的感官质量有影响,包括卷烟发烟量、劲头等。试验拟以市售的两种不同类型烟草薄片制备的加热不燃烧卷烟为研究对象,开展烟支水分与烟支甘油、烟碱及烟气中水分、甘油、烟碱相关

基金项目:中国烟草总公司科技重大专项项目(编号:110201601006[XX-06],110201901008);江苏中烟工业有限责任公司科技项目(编号:201712,201806)

作者简介:李朝建(1972—),女,江苏中烟工业有限责任公司高级工程师,博士。E-mail:licj@jszygs.com

收稿日期:2019-07-09

性研究,并进行扫描电镜和热重分析,旨在了解烟支含水量对烟支化学成分及烟气成分释放行为的影响,为该产品的研发和产品质量的提升提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

卷烟 A:典型稠浆法薄片制备的加热不燃烧卷烟(烟支品牌为 Marlboro Heatsticks),配套烟具为 IQOS(中心加热),日本市售;

卷烟 B:典型造纸法薄片制备的加热不燃烧卷烟(烟支品牌为 Kent Neostiks),配套烟具为 GLO(四周加热),日本市售;

甘油、1,4-丁二醇:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

甲醇、异丙醇:色谱纯,德国 CNW 公司;

正十七烷:99.9%,东京化成工业株式会社;

烟碱:98.5%,国家烟草质量监督检验中心;

电子烟吸烟机:LM4E 型,德国 Borgwaldt KC 公司;

气相色谱仪:7890A 型,配 FID 和 TCD 检测器,美国 Agilent 公司;

回旋振荡器:HY-5A 型,金坛市迅生仪器厂;

电子天平:CP2245 型,感量 0.000 1 g,德国 Sartorius 公司;

扫描电子显微镜:Phenom ProX 型,荷兰 Phenom-World 公司;

超纯水仪:Milli-Q50 型,美国 Millipore 公司;

热重分析仪:STA 449 FX 型,德国耐驰公司;

剑桥滤片:直径 44 mm,德国 Borgwaldt KC 公司。

1.2 方法

1.2.1 样品平衡 参照 GB/T 16447—2004 的方法将卷烟(A 和 B)在温度(22±1)℃、相对湿度分别为 40%,50%,60%的条件下平衡 96 h。样品标记为:A-40%,A-50%,A-60%,B-40%,B-50%,B-60%。

1.2.2 加热不燃烧卷烟的抽吸 参照 CORESTA 81 推荐方法对加热不燃烧卷烟进行抽吸。试验中吸烟机抽吸参数为:rectangle 抽吸曲线,抽吸容量 55.0 mL,每口抽吸 3 s,抽吸间隔 30 s。卷烟 A 每支抽吸 13 口,卷烟 B 每支抽吸 9 口。卷烟 A 和卷烟 B 均抽吸 3 支卷烟。

1.2.3 水分、甘油、烟碱的检测

(1) 加热不燃烧卷烟烟草薄片水分、甘油、烟碱的测定:分别依据 YC/T 345—2010、YC/T 243—2008、文献[10]中的方法。

(2) 加热不燃烧卷烟气溶胶粒相物中水分、甘油、烟碱的测定:分别依据 GB/T 23203.1—2013、CORESTA 84、GB/T 23355—2009 中的方法。

1.2.4 材料的 SEM 形貌表征 用剪刀剪取烟草薄片(规格小于 5 mm×5 mm),将烟草薄片用导电胶固定在样品

架上。采用 Phenom ProX 扫描电子显微镜(SEM)拍摄样品的表面形貌特征,操作参数为:电子束加速电压 5 kV,放大倍率 200。

1.2.5 热重分析 称取约 40 mg 烟草薄片进行热重试验,在 50 mL/min 流量的 N₂[2,11]吹扫下,将样品从 25℃以 5℃/min 升至 400℃。

1.3 数据处理

所有样品平行测定两次。采用 Excel 2010 软件进行试验数据处理和制表、采用 Origin 6.0 软件绘图。

2 结果与讨论

2.1 样品的 SEM 形貌表征

随着平衡湿度的增加,卷烟 A 及卷烟 B 湿度明显增加。如图 1 所示,卷烟 A 与卷烟 B 在表面形貌上截然不同。卷烟 A(稠浆法薄片)随着样品平衡湿度的增加,表面形貌趋于致密;随着样品平衡湿度降低,表面形貌趋于松散。卷烟 B(造纸法薄片)经不同的湿度平衡后,表面形貌差异不明显,均可见纤维基片层和涂布层。在电镜样品的制作过程中发现,随着样品平衡湿度降低,基片表面

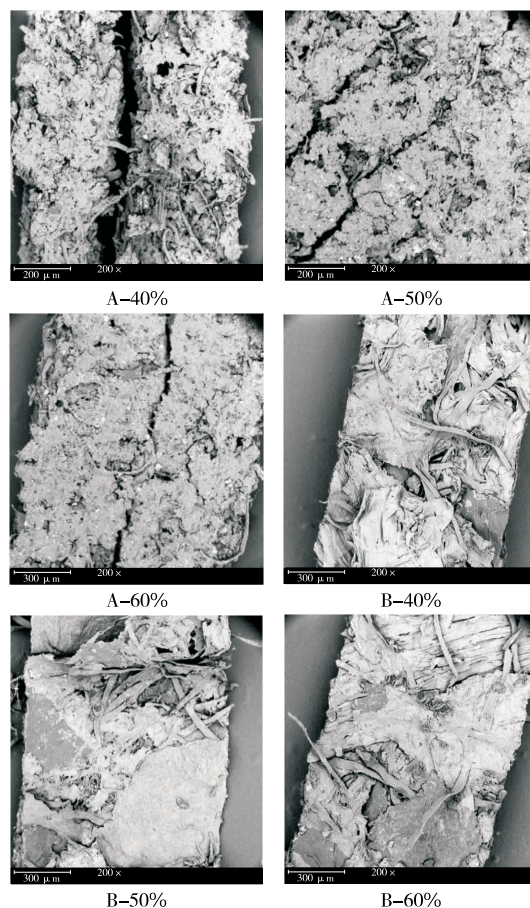


图 1 卷烟 SEM 图

Figure 1 SEM figure of cigarette A and cigarette B (×200)

的涂布层易与基片剥离。试验还发现,烟支的含水量对烟草薄片结构的稳定性有影响:卷烟 A 烟草薄片烟草粉末之间的黏性与样品平衡湿度正相关;卷烟 B 烟草薄片的基片和涂布层之间的吸附力与样品平衡湿度正相关。

2.2 烟支含水量对烟气水分的影响

表 1 比较了样品烟支经不同湿度平衡后烟支水分和烟气水分检测结果。

表 1 烟支水分和烟气水分检测结果[†]

Table 1 Test results of moisture content in cigarette and smoke

样品	烟支含水量/ (mg · Cig ⁻¹)	烟气水分释放量/ (mg · Cig ⁻¹)	水分转 移率/%
A-40%	20.22	20.08	99.31
A-50%	26.68	28.05	105.13
A-60%	40.86	39.70	97.16
B-40%	16.83	11.20	66.54
B-50%	19.59	15.57	79.48
B-60%	32.45	19.99	61.60

[†] 水分转移率为烟气水分释放量与烟支含水量的质量百分比。

由表 1 可知,① 随着烟支平衡湿度的增加,烟支含水量增加。造成烟支含水量增加的主要原因归因于烟草薄片烟草材料及甘油对环境水分的吸附。② 卷烟 A 与卷烟 B 中烟气水分释放量与烟支含水量呈正比,但两个样品水分转移率差异明显。卷烟 A 烟支中的水分基本转移到烟气中,而卷烟 B 水分转移率最高为 79.48%,加热烟具温度的差异(电加热烟具 A 温度最高 350 ℃,电加热烟具 B 温度最高 240 ℃)可能是造成两个样品水分转移率差异最直接的原因。③ 卷烟 A 及卷烟 B 均为经 50% 湿度平衡后的卷烟样品水分转移率最高,说明合适的烟支含水率有利于烟支水分有效释放。卷烟 A-50% 的水分转移率为 105.13%,说明烟气水分不仅来自于烟草薄片自身水分的迁移,还有部分水分来自烟草薄片热解过程^[9]。

2.3 烟支含水量对烟支甘油、烟气甘油的影响

表 2 列出了含不同平衡水分的烟支烟草薄片的甘油质量含量。从甘油含量检测结果来看,不论是以湿薄片还是干薄片甘油质量含量来表示烟草薄片中的甘油量,检测结果都比较接近;但从甘油检测值的标准偏差(STD)和变异系数(CV%)来看,干薄片甘油质量含量检测结果的离散程度均小于湿薄片甘油质量含量,说明采用干薄片甘油质量含量表述样品烟草薄片中的甘油质量含量更准确。对比卷烟 A 与卷烟 B 的检测结果发现,样品经 50% 湿度平衡后,烟草薄片甘油的检测结果

表 2 样品中甘油检测结果

Table 2 Test results of glycerol in samples mg/g

样品	湿薄片	干薄片
A-40%	158.70	170.57
A-50%	158.87	174.20
A-60%	150.04	172.01
B-40%	141.32	151.42
B-50%	144.75	156.62
B-60%	135.10	154.03
卷烟 A	STD	5.05
	CV%	3.24
卷烟 B	STD	4.89
	CV%	3.48

最高;卷烟 A 的甘油施加量是卷烟 B 的 1.118 倍(以干薄片甘油质量含量平均值来计算)。由于甘油为外部添加物质,因此卷烟 A 与卷烟 B 的甘油施加量的差异与产品配方设计有关。

表 3 列出了样品中甘油释放量和转移率。从烟气甘油释放量检测结果发现:对于卷烟 A 而言,A-60% > A-50% > A-40%;对于卷烟 B 而言,B-40% > B-50% > B-60%。造成两个样品烟气甘油释放量与烟支水分含量相关性差异的原因可能是卷烟 A 加热器加热温度高,烟支中水分释放消耗的热量对甘油的释放影响较小,而且水分释放能促进甘油的释放;卷烟 B 加热器加热温度低,烟支含水率越高,水分释放消耗的热量越多,使得甘油释放的热量降低,不利于烟气甘油的释放。由表 3 可知,甘油转移率变化趋势与烟气甘油释放量变化趋势相同。卷烟 A 经 60% 湿度平衡后烟支甘油转移率最高,达 11.0%;卷烟 B 经 40% 湿度平衡后烟支甘油转移率最高,达 9.57%。综上所述,为获得好的发烟效果,不同类型的加热不燃烧卷烟烟支所需的含水量是不同的。

表 3 加热不燃烧卷烟中甘油释放量和转移率[†]

Table 3 Release and transfer rates of glycerol from heat-not-burn samples

样品	烟支甘油量/ (mg · Cig ⁻¹)	烟气甘油释放量/ (mg · Cig ⁻¹)	甘油转移 率/%
A-40%	46.10	4.74	10.28
A-50%	48.50	5.07	10.45
A-60%	48.01	5.28	11.00
B-40%	36.04	3.45	9.57
B-50%	37.42	3.41	9.11
B-60%	35.67	3.31	9.28

[†] 甘油转移率为烟气甘油释放量与烟支甘油量的质量百分比。

2.4 烟支含水量对烟支烟碱、烟气烟碱的影响

表 4 列出了含不同平衡水分的烟支烟草薄片的烟碱含量。从烟碱含量检测结果来看,不论是以湿薄片还是干薄片烟碱含量来计算烟草薄片烟碱量,检测结果都比较接近;但从烟碱检测值的标准偏差和变异系数来看,干薄片烟碱质量含量检测结果的离散程度均小于湿薄片烟碱质量含量,说明采用干薄片烟碱质量含量表述样品烟草薄片中的烟碱质量含量更准确。对比卷烟 A 与卷烟 B 的烟碱检测结果发现,卷烟 A 的烟碱量是样品 B 的 2.07 倍(以干薄片烟碱质量含量平均值来计算)。卷烟烟支烟碱来源于烟草原料。卷烟 A 为稠浆法薄片,薄片烟草原料含量高;卷烟 B 为造纸法薄片,薄片中的纤维含量较高,从而使薄片中的烟草原料含量降低。烟草原料在烟草薄片中的质量分数差异会影响烟碱检测结果。综上,卷烟 A 与卷烟 B 的烟碱检测的差异与烟草原料配方有关。

表 5 列出了样品中烟碱释放量和转移率。从烟气烟碱释放量检测结果发现:对于卷烟 A 而言, $A-50\% > A-60\% > A-40\%$;对于卷烟 B 而言, $B-50\% > B-40\% = B-60\%$,说明样品在 50%湿度平衡后的烟支含水量有利于烟气烟碱的释放。由表 4 可知,烟碱转移率变化趋势与烟气烟碱释放量变化趋势相同。卷烟 A 及

表 4 样品中烟碱检测结果

Table 4 Test results of nicotine in samples mg/g

样品		湿薄片	干薄片
	A-40%	16.39	17.62
	A-50%	15.96	17.48
	A-60%	15.22	17.45
	B-40%	7.69	8.24
	B-50%	8.08	8.74
	B-60%	7.34	8.37
卷烟 A	STD	0.59	0.09
	CV%	3.72	0.51
卷烟 B	STD	0.37	0.26
	CV%	4.81	3.08

表 5 加热不燃烧卷烟中烟碱释放量和转移率[†]

Table 5 Release and transfer rates of nicotine from heat-not-burn samples

样品	烟支烟碱/ (mg · Cig ⁻¹)	烟气烟碱释放量/ (mg · Cig ⁻¹)	烟碱转移 率/%
A-40%	4.77	1.46	30.61
A-50%	4.87	1.61	33.06
A-60%	4.87	1.58	32.44
B-40%	1.96	0.40	20.41
B-50%	2.09	0.45	21.53
B-60%	1.94	0.40	20.62

[†] 烟碱转移率为烟气烟碱释放量与烟支烟碱量的质量百分比。

卷烟 B 均为 50%湿度平衡后烟支烟碱转移率最高,分别为 33.06%和 21.53%。卷烟 A 的烟碱转移率显著高于卷烟 B,可能与加热不燃烧卷烟烟具的加热温度、加热方式及烟草薄片性质有关。

对比表 1、3、5 发现,同一样品中水分、烟碱、甘油转移率差异较明显:例如卷烟 A-50%水分转移率为 105.13%、烟碱转移率为 33.06%,甘油转移率为 10.45%;卷烟 B-50%水分转移率为 79.48%、烟碱转移率为 21.53%,甘油转移率为 9.11%。造成水分、烟碱、甘油转移率差异的主要因素可能与 3 种物质的沸点依次升高有关^[6]。

2.5 不同平衡水分烟支的烟气颗粒物分析

由表 6 可知:烟气颗粒物含大量的水,约 53.33%~65.89%,且烟气颗粒物质量的增加主要是由于烟气水分的增加;从颗粒物中水分、甘油、烟碱的合计占比可知,3 种物质在烟气颗粒物中共占约 71.66%~78.75%;颗粒物中其他物质百分含量与烟支含水量变化趋势不明显,但从颗粒物中其他物质的重量来看,与烟支水分含量呈正比,其他物质中包含大量的香味成分^[6,8],说明烟支含水率增加有利于烟支中香味成分的释放。

2.6 样品热释放性能分析

图 2 为样品的 TG 和 DTG 图,DTG 是热重 TG 信号

表 6 烟气颗粒物分析

Table 6 Analysis of particulate matter in cigarette smoke

样品	颗粒物/(mg · Cig ⁻¹)	水分/%	甘油/%	烟碱/%	其他物质/%	其他物质/(mg · Cig ⁻¹)
A-40%	33.50	59.94	14.15	4.36	21.55	7.22
A-50%	44.32	63.45	11.44	3.63	21.48	9.59
A-60%	60.25	65.89	8.76	2.62	22.73	13.69
B-40%	21.00	53.33	16.43	1.90	28.34	5.95
B-50%	24.67	63.11	13.82	1.82	21.25	5.24
B-60%	31.90	62.66	10.38	1.25	25.71	8.20

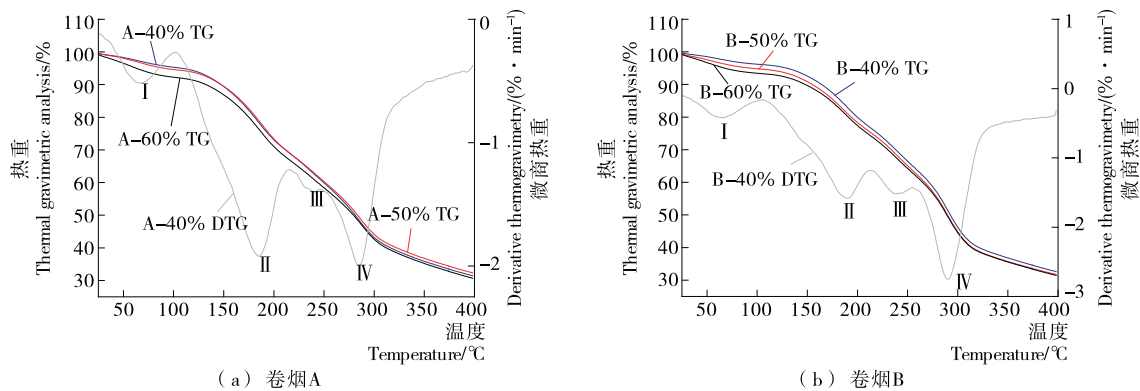


图 2 样品的 TG 和 DTG 图
Figure 2 TG curves and TG curves of cigarette A and cigarette B

的微分曲线。由于卷烟 A-50% 及 A-60% 的 DTG 图与 A-40% 的 DTG 图相似, 卷烟 B-50% 及 B-60% 的 DTG 图与 B-40% 的 DTG 图相似, 因此图 2 省略了样品 A-50%、A-60%、B-50% 和 B-60% 的 DTG 图。

从图 2(a) 中 DTG 曲线可知, 卷烟 A 主要经历了 4 个较明显的热失重阶段。其中, 第 I 失重阶段发生在从试验开始温度至约 103 °C 时, 第 II 失重阶段发生在约 103~216 °C, 第 III 失重阶段发生在约 216~252 °C, 第 IV 失重阶段发生在约 252~350 °C。从图 2(b) 中 DTG 曲线可知, 卷烟 B 主要有 4 个较明显的热失重阶段。其中, 第 I 失重阶段发生在从试验开始温度至约 106 °C, 第 II 失重阶段发生在约 106~213 °C, 第 III 失重阶段发生在约 213~258 °C, 第 IV 失重阶段发生在约 258~350 °C。对比图 2(a) 和图 2(b), 卷烟 A 和卷烟 B 的热失重行为基本一致。表 7 列出了卷烟 A 和卷烟 B 各加热阶段的质量损失。

表 7 热失重质量损失

Table 7 Mass loss of thermal weightlessness %						
热失重 阶段	卷烟 A			卷烟 B		
	A-40% A-50% A-60%	A-40% A-50% A-60%	A-40% A-50% A-60%	B-40% B-50% B-60%	B-40% B-50% B-60%	B-40% B-50% B-60%
I	4.33	5.06	7.17	3.60	4.65	5.94
II	26.17	26.26	26.02	19.14	19.15	18.80
III	8.78	8.35	8.38	12.86	12.87	12.59
IV	24.43	23.12	22.51	27.30	26.97	26.42
合计	63.71	62.79	64.08	62.90	63.64	63.75

由表 7 可知, ① 对于含不同平衡水分的样品, 热失重差异表现在第 I 失重阶段, 主要为烟草材料中吸附水的蒸发^[12]。烟草薄片含水率越高, 质量损失越大。② 对于不同样品, 失重差异主要表现在第 II 和第 III 失重阶段, 失重过程主要归因于烟草内源性挥发成分的析出, 同时伴有烟草组分的热分解^[12] 及外加纤维的热分解。烟碱和许多易挥发性香味化合物^[3,12] 主要在这两个阶段损失。两个样品材料的差异表现在第 II 和第 III 失重阶段的差异

上, 卷烟 A 在第 II 失重阶段热损失明显高于卷烟 B, 而在第 III 失重阶段热损失明显低于卷烟 B。造成两个样品热失重差异的原因可能与两种烟草薄片性质的差异有关。卷烟 A 与卷烟 B 相比, 卷烟 A 中烟草物质含量高、外加纤维含量低。③ 第 IV 失重阶段伴随有烟草内源性化学成分的进一步转移, 甘油主要在这个阶段损失^[2]。

卷烟 A 配套的电加热烟具最高温度为 350 °C, 可知卷烟 A 在加热抽吸过程中, 烟草薄片经历 4 个阶段的热失重; 卷烟 B 配套的电加热烟具最高温度为 240 °C, 可知卷烟 B 在加热抽吸过程中, 烟草薄片经历 3 个阶段的热失重。由表 3、5 可知, 卷烟 A 的甘油、烟碱转移率均高于卷烟 B。综上, 热重分析结果进一步验证了烟具加热温度对检测成分烟气转移率的影响。烟具加热温度越高, 甘油、烟碱转移率越大。

3 结论

对比分析两种不同类型加热不燃烧卷烟发现, 烟支水分不仅对烟草薄片结构的稳定性有影响, 对烟气水分释放量、烟气甘油释放量、烟气烟碱的释放量、烟气颗粒物重量均有影响。研究结果表明, 烟气水分释放量、烟气颗粒物重量与烟支含水量呈正比, 且烟气颗粒物含水量达 53.33%~65.89%。由于匹配的加热烟具温度的差异, 两种不同类型加热不燃烧卷烟烟气甘油释放量与烟支含水量的相关性截然相反: 稠浆法薄片制备卷烟 A 因加热温度高使得烟气甘油释放量与烟支含水量呈正比, 造纸法薄片制备卷烟 B 因加热温度低使得烟气甘油释放量与烟支含水量呈反比, 但两种不同类型加热不燃烧卷烟烟气烟碱的释放量均为 50% 湿度平衡后的烟支最高。另外, 卷烟 A 的烟气水分转移率、甘油转移率、烟气烟碱转移率均显著高于卷烟 B, 尤其是烟气水分转移率和烟气烟碱转移率, 考虑与烟支加热温度、加热方式有关, 及烟草薄片性质有关, 热重分析结果进一步证明了两种烟草薄片性质的差异。

(下转第 149 页)

- 2 diabetes[J]. Science, 2018, 359(6 380): 1 151-1 156.
- [26] BAXTER N T, SCHMIDT A W, VENKATARAMAN A, et al. Dynamics of human gut microbiota and short-chain fatty acids in response to dietary interventions with three fermentable fibers[J]. mBio, 2019, 10(1): 1-13.
- [27] BALLAL S A, GALLINI C A, SEGATA N, et al. Host and gut microbiota symbiotic factors: Lessons from inflammatory bowel disease and successful symbionts[J]. Cellular microbiology, 2011, 13(4): 508-517.
- [28] PETNICKI-OCWIEJA T, HRNCIR T, LIU Y J, et al. Nod2 is required for the regulation of commensal microbiota in the intestine[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2009, 106(37): 15 813-15 818.
- [29] 张圣方. 泰山蛹虫草多糖对免疫抑制小鼠肠道菌群和免疫调节功能的影响研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015: 35-42.
- [30] 王雪, 赵龙玉, 赵凤春. 应用 Illumina 高通量测序技术研究长根菇多糖对小鼠肠道菌群的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(19): 222-226.
- [31] KHAN I, HUANG Guo-xin, LI Xiao-ang, et al. Mushroom polysaccharides from *Ganoderma lucidum* and *Poria cocos* reveal prebiotic functions[J]. Journal of Functional Foods, 2018, 41: 191-201.
- [32] ZHAO Rui-qiu, YANG Wen-jian, PEI Fei, et al. In vitro fermentation of six kinds of edible mushrooms and its effects on fecal microbiota composition[J]. LWT, 2018, 96: 627-635.
- [33] XU Xiao-fei, YANG Ji-guo, NING Zheng-xiang, et al. Lentinula edodes-derived polysaccharide rejuvenates mice in terms of immune responses and gut microbiota [J]. Food Funct, 2015, 6(8): 2 653-2 663.
- [34] XU S, DOU Y, YE B, et al. *Ganoderma lucidum* polysaccharides improve insulin sensitivity by regulating inflammatory cytokines and gut microbiota composition in mice[J]. Journal of Functional Foods, 2017, 38: 545-552.
- [35] 徐晓飞. 香菇多糖 L2 的免疫调节机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014: 42-93.
- [36] LUO Jian-ming, ZHANG Cheng, LIU Rong, et al. *Ganoderma lucidum* polysaccharide alleviating colorectal cancer by alteration of special gut bacteria and regulation of gene expression of colonic epithelial cells [J]. Journal of Functional Foods, 2018, 47: 127-135.
- [37] LI Li-feng, LIU Hong-bing, ZHANG Quan-wei, et al. Comprehensive comparison of polysaccharides from *Ganoderma lucidum* and *G. sinense*: Chemical, antitumor, immunomodulating and gut-microbiota modulatory properties[J]. Sci Rep, 2018, 8(1): 1-12.
- [38] CHEN Yu-qing, LIU Dan, WANG Ding-yi, et al. Hypoglycemic activity and gut microbiota regulation of a novel polysaccharide from *Grifola frondosa* in type 2 diabetic mice[J]. Food and Chemical Toxicology, 2019, 126: 295-302.
- [39] LARSEN N, VOGENSEN F K, VAN D B F W J, et al. Gut microbiota in Human adults with type 2 diabetes differs from non-diabetic adults[J]. PLoS ONE, 2010, 5(2): e9085.
- [40] SCHMIDT T S B, RAES J, BORK P. The human gut microbiome: From association to modulation[J]. Cell, 2018, 172(6): 1 198-1 215.

(上接第 39 页)

对于不同类型的加热不燃烧卷烟,由于加热温度及烟草薄片性质的差异,烟支水分对烟气中水分、甘油、烟碱的影响方式及影响程度会有差异。下一步将结合烟支水分与烟气化学成分相关性研究结果,进一步研究烟支水分对不同类型加热不燃烧卷烟感官质量的影响。

参考文献

- [1] 龚淑果, 刘巍, 黄平, 等. 加热不燃烧卷烟烟气主要成分的逐口释放行为[J]. 烟草科技, 2019, 52(2): 62-71.
- [2] 郑绪东, 李志强, 王程娅, 等. 不同加热温度下电加热不燃烧卷烟烟气释放特性研究[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(36): 168-171.
- [3] 周昆, 杨继, 杨柳, 等. 加热不燃烧卷烟烟气溶胶研究进展[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(5): 141-149.
- [4] FORSTER Mark, FIEBELKORN Stacy, YURTERI Caner, et al. Assessment of novel tobacco heating product THP1.0 Part 3: Comprehensive chemical characterisation of harmful and potentially harmful aerosol emissions[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2018, 93: 14-33.
- [5] FORSTER Mark, MCAUGHEY John, PRASAD Krishna, et al. Assessment of tobacco heating product THP1.0 Part 4: Characterisation of indoor air quality and odour [J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2018, 93: 34-51.
- [6] 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): 46-55.
- [7] 戴路, 史春云, 卢昕博, 等. 加热不燃烧制品与传统卷烟再造烟叶物理特性及化学成分差异分析[J]. 中烟烟草学报, 2017, 23(1): 20-26.
- [8] 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.
- [9] 刘珊, 唐培培, 曾世通, 等. 加热状态下烟叶烟气的释放特征[J]. 烟草科技, 2015, 48(4): 27-31.
- [10] 赵光飞, 刘静, 屠彦刚, 等. 气相色谱法同时检测加热不燃烧卷烟芯材中的 1,2-丙二醇、烟碱与甘油含量[J]. 中国测试, 2019, 45(3): 69-74.
- [11] 李巧灵, 陈昆炎, 刘泽春, 等. 基于热重的烟草热解差异度分析[J]. 烟草科技, 2017, 50(8): 75-79, 102.
- [12] 胡永华, 宁敏, 张晓宇, 等. 不同热失重阶段烟草的裂解产物[J]. 烟草科技, 2015, 48(3): 66-73.