

甘油施加比例对加热卷烟水分、烟碱和甘油分布的影响

Effects of glycerol application ratio on the distribution of moisture, nicotine and glycerol in heated cigarettes

朱龙杰 张媛 曹毅

ZHU Long-jie ZHANG Yuan CAO Yi

秦艳华 刘梦梦 朱怀远

QIN Yan-hua LIU Meng-meng ZHU Huai-yuan

(江苏中烟工业有限责任公司技术中心, 江苏 南京 210019)

(Technology Center, China Tobacco Jiangsu Industrial Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210019, China)

摘要:目的:优化加热卷烟烟草薄片的工艺参数。方法:制备了甘油添加比例为5%~30%的12个梯度等级的加热卷烟烟草薄片,制成加热卷烟烟支。使用GC-TCD方法检测加热卷烟烟气、滤嘴冷凝段和烟芯段中水分、烟碱和甘油质量,分析主要成分的质量分布特点,以及释放率、截留率和转移率。结果:加热卷烟烟草薄片在5%~30%甘油添加比例下,水分释放率较高为88.6%~92.3%,主要分布在烟气和滤嘴冷凝段;烟碱释放率次之,为25.5%~34.2%,主要分布在滤嘴冷凝段和烟芯段;甘油释放率最低,为13.9%~21.3%,主要分布在烟芯段。结论:当烟草薄片选择10%~18%的甘油添加比例时,加热卷烟的烟碱和甘油具有较高的转移率和较低的截留率。

关键词:加热卷烟;烟草薄片;甘油;施加比例;质量分布;释放率;截留率;转移率

Abstract: **Objective:** In order to optimize the process parameters of tobacco sheet of heated cigarette. **Methods:** 12 gradient grades of tobacco sheets with glycerol addition ratio of 5%~30% were prepared under laboratory conditions. The mass of moisture, nicotine and glycerol in heated cigarette smoke, filter condensation section and tobacco core section were detected by GC-TCD method. And the mass distribution characteristics of main

components, release rate, filtration rate and transfer rate were analyzed. **Results:** When 5%~30% glycerol was applied to the heated cigarette tobacco sheets, the water release rate was 88.6%~92.3%, which was mainly distributed in the smoke and filter condensation section; The nicotine release rate was 25.5%~34.2%, which was mainly distributed in the filter condensing section and tobacco core section; The glycerol release rate was 13.9%~21.3%, which was mainly distributed in the tobacco core section. **Conclusion:** When 10%~18% glycerol was added to tobacco sheets, nicotine and glycerol in heated cigarettes had higher transfer rate and lower filtration rate.

Keywords: heated cigarette; tobacco sheet; glycerol; addition ratio; mass distribution; release rate; filtration rate; transfer rate

加热卷烟是新型烟草制品的一种,通过不同种类的加热源对烟草芯材进行加热产生“烟气”,以满足吸烟者的需求^[1-3]。加热卷烟因加热而不燃烧烟草,所以其气溶胶中主要成分及潜在有害成分(HPHCs)的释放量均显著减少^[4-6],安全性指标显著高于传统卷烟^[7-10]。

加热卷烟中的甘油经加热汽化后容易重新冷凝吸湿变成小液滴形成浓的“烟雾”,起到“发烟”的效果,因此在新型烟草领域,尤其在加热卷烟烟草薄片中一直作为重要的发烟剂而被大量使用^[11-12]。作为一种绿色安全溶剂和添加剂,甘油也被广泛应用于医药、食品、化妆品等行业,且有较为明确的用量标准^[13-14],但在加热卷烟领域,甘油使用量尚未形成具体标准。作为加热卷烟的主要成分,甘油对卷烟品质具有重要影响,也作为重要指标被关注^[15-17]。

基金项目:江苏中烟工业有限责任公司科技项目(编号:Y04H201903)

作者简介:朱龙杰,男,江苏中烟工业有限责任公司工程师,硕士。

通信作者:朱怀远(1980—),男,江苏中烟工业有限责任公司高级工程师,硕士。E-mail: zhuhy@jszygs.com

收稿日期:2021-10-28 **改回日期:**2022-02-13

目前,有关加热卷烟主要成分的研究主要集中于检测新方法、气溶胶转移行为、烟气释放特性等方面^[18-23],关于甘油添加比例对烟草材料热性能以及烟草特有亚硝胺等有害成分的研究亦有报道^[24-26],但甘油添加比例对抽吸时加热卷烟烟支主要成分的影响尚未见报道。同时,加热卷烟加热后,甘油、水分和烟碱这些主要成分在加热卷烟的烟气、滤嘴冷凝段和烟芯段等中均有分布,但甘油添加比例对这些成分分布的影响也未见报道。研究拟选择制作不同添加比例甘油的加热卷烟样品,考察加热卷烟不同部位中水分、烟碱和甘油分布,系统研究甘油施加比例对加热卷烟水分、烟碱和甘油分布的影响规律,为加热卷烟及其烟草薄片的应用开发提供依据。

1 材料与方法

1.1 试剂与仪器

1.1.1 材料与试剂

木浆纤维:无锡市斯木德工程材料有限公司;

烟叶原料:中国某产区中部烟叶;

加热卷烟烟支空管:南通烟滤嘴有限责任公司;

剑桥滤片:Φ 44 mm,德国 Borgwaldt 公司;

羧甲基纤维素钠盐(CMC)、丙二醇、甘油、正丁醇、1,3-丁二醇:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

超纯水:电阻率 $\geq 18.2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$,德国默克公司。

1.1.2 仪器与设备

DB-WAX 色谱柱:30 m $\times$ 0.32 mm $\times$ 0.25 μm ,美国 Agilent 公司;

气相色谱仪:7890A 型,美国 Agilent 公司;

直线型加热不燃烧卷烟吸烟机:SML600E&H 型,合肥纵众沃仪器技术有限公司;

IQOS 加热卷烟烟具:3DUO 型,美国 Philip Morris 公司;

Silver Tip Boy 卷烟管装填器:德国 Gizeh 公司;

磁吸式可调涂布器:BEVS1806A/200 型,广州盛华实业有限公司;

电热鼓风干燥器:DHG-924A 型,上海一恒科学仪器有限公司;

恒温恒湿箱:KBF720 型,德国 Binder 公司。

1.2 方法

1.2.1 标准溶液配制 称取 1.0 g 水,0.3 g 烟碱,3.0 g 丙三醇于 100 mL 容量瓶中,用含有内标正丁醇(3 mg/mL)和 1,3-丁二醇(3 mg/mL)的甲醇溶液定容,得到混合标准储备液。分别移取 0,1,2,5,10,20,40 mL 混合标准储备液于 50 mL 容量瓶中,用含有内标的甲醇溶液定容,配置成 7 级标准工作溶液。

1.2.2 烟草薄片及加热卷烟的制作 参考文献^[27]的方法制备甘油施加比例分别为 5%,10%,12%,14%,16%,18%,20%,22%,24%,26%,28%,30% 共 12 个梯度的烟

草薄片,并于 22 °C、相对湿度为 50% 的恒温恒湿箱中平衡 48 h 备用。

将烟草薄片切成 1.0~1.2 mm 的薄片丝,使用卷烟管装填器将薄片丝填充至加热卷烟空烟管中,得到自制加热卷烟(图 1)。每支加热卷烟使用的薄片丝质量以 0.3 g 为宜。

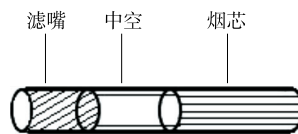


图 1 自制加热卷烟烟支结构示意图

Figure 1 Structure diagram of self-made heating cigarette

1.2.3 样品前处理 采用 IQOS 烟具,按照 ISO 抽吸模式,使用直线型加热不燃烧卷烟吸烟机,每组 4 支加热卷烟,固定抽吸口数 7 口,使用 Φ 44 mm 的剑桥滤片捕集烟气,一组加热卷烟烟气使用 1 张剑桥滤片捕集。吸烟机每抽吸完一组加热卷烟后,将加热卷烟分成两段,一段为滤嘴冷凝段(滤嘴段+中空段),一段为烟芯段。将捕集后的 1 张剑桥滤片、4 个滤嘴冷凝段和 4 个烟芯段分别放入不同的三角烧瓶中,加入 20 mL 加标甲醇萃取液,超声 60 min。使用带 TCD 检测器的气相色谱仪检测加热卷烟烟气、滤嘴冷凝段和烟芯段的水分、烟碱和甘油,其中烟气水分检测含滤片空白水分,滤嘴冷凝段水分检测含加热前滤嘴空白水分,烟芯段甘油检测,样品需稀释 1~2 倍。

1.2.4 样品的检测分析 参照文献^[19-20]的方法,对色谱柱和仪器参数进行相关优化。升温程序:初始温度 60 °C,保持 1 min,以 20 °C/min 升温至 100 °C,再以 50 °C/min 升温至 250 °C,保持 5 min;进样口温度 250 °C;进样量 1 μL ;载气为 He;载气流速 2.0 mL/min;分流比 10:1;检测器温度 260 °C;参比流量 20 mL/min,尾吹流量 9 mL/min。

1.2.5 加热卷烟主要成分计算 通过 GC-TCD 方法检测加热卷烟主要成分(水分、烟碱和甘油)在烟气、滤嘴冷凝段和烟芯段的质量,并分别按式(1)~式(5)计算加热卷烟主要成分的释放量、主要成分的总量、主要成分的释放率、截留率和转移率。

$$M_t = m_1 + m_2, \quad (1)$$

$$M_i = m_1 + m_2 + m_3, \quad (2)$$

$$R = (m_1 + m_2) / M_i \times 100\%, \quad (3)$$

$$F = m_2 / M_t \times 100\%, \quad (4)$$

$$T = m_1 / M_i \times 100\%, \quad (5)$$

式中:

$m_1 \sim m_3$ ——加热卷烟烟气、滤嘴冷凝段及烟芯段中主要成分的质量,mg/支;

M_r ——加热卷烟烟气和滤嘴冷凝段中主要成分的释放量,mg/支;

M_t ——加热卷烟加热后烟气、滤嘴冷凝段和烟芯段中主要成分的总量,mg/支;

R ——加热卷烟烟气和滤嘴冷凝段中主要成分的释放率,%;

F ——加热卷烟滤嘴冷凝段中主要成分的截留率,%;

T ——加热卷烟烟气中主要成分的转移率,%。

1.2.6 数据处理 采用 Excel 2010 软件对数据进行处理与作图,采用 Origin 2021 软件绘制气相色谱图。

2 结果与讨论

2.1 加热卷烟不同部位 GC-TCD 方法的验证

由图 2 可知,DB-WAX 色谱柱对正丁醇、1,3-丁二醇、水分、烟碱、甘油具有较短的出峰时间和较好的分离度。色谱图中峰形清晰,无干扰重叠,基线平滑,表明采用 GC-TCD 方法检测加热卷烟不同部位中水分、烟碱和甘油,具有较好的检测效果,是一种较为便捷准确的方法。

2.2 加热卷烟烟气中水分、烟碱、甘油和焦油质量

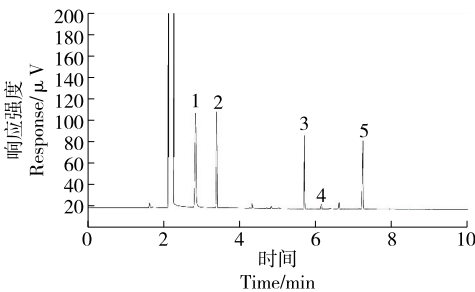
由表 1 可知,随着甘油添加比例的增加,加热卷烟烟气中水分、甘油与烟气总粒相物(TPM)释放量均逐渐提高,而烟碱释放量变化较小,基本稳定在一定区间。在水分、烟碱、甘油与 TPM 的关系中,占比最大的为水分,而烟碱和甘油占比较小,说明加热卷烟在抽吸过程中,水分的释放转移率最高,烟碱和甘油的释放转移率较低,推测烟气中化合物的转移率与化合物的沸点高低密切相关。

表 1 还显示,随着甘油添加比例的增加,加热卷烟的

TPM 相应增加,但扣除水分、烟碱和甘油后,加热卷烟焦油量呈现先逐渐下降后回升的趋势,可能是因为加热卷烟中添加一定比例甘油可以降低烟草薄片中大分子物质在高温条件下的氧化分解,从而降低焦油的释放量。但添加比例较高时,在高温条件下容易发生甘油衍生化反应,甘油的检出量不但会降低,还会增大甘油衍生物的释放量,最终使得焦油质量重新上升。因此,加热卷烟要控制其焦油量释放量,需选择合适的甘油添加比例。

2.3 加热卷烟滤嘴冷凝段中水分、烟碱和甘油质量

由表 2 可知,随着甘油添加比例的增加,滤嘴冷凝段水分、烟碱和甘油质量均逐渐提高,其中滤嘴冷凝段中甘油增加比例与烟气中的较为一致,而滤嘴冷凝段中水分增加比例低于烟气中的,说明水分在抽吸过程中的迁移能力大,使得烟气中水分增加较多。烟碱截留量随甘油添加比例的增加而增加,说明滤嘴冷凝段中甘油的释放迁移能有效促进烟碱的释放迁移,两者具有较好的协同作用。



1. 水 2. 正丁醇(内标) 3. 1, 3-丁二醇(内标) 4. 烟碱 5. 甘油

图 2 加热卷烟样品的气相色谱图
Figure 2 Gas chromatogram of heated cigarette sample

表 1 不同甘油添加比例下加热卷烟烟气中水分、烟碱和甘油质量

Table 1 Mass of moisture, nicotine and glycerol in heated cigarette smoke by different glycerol addition ratio

甘油添加 比例/%	水分/ (mg·支 ⁻¹)	烟碱/ (mg·支 ⁻¹)	甘油/ (mg·支 ⁻¹)	TPM/ (mg·支 ⁻¹)	焦油/ (mg·支 ⁻¹)
5	13.69	0.37	0.58	18.51	3.87
10	15.25	0.44	0.95	20.31	3.67
12	17.62	0.41	1.05	21.86	2.78
14	19.75	0.43	1.40	24.07	2.49
16	19.23	0.40	1.53	23.37	2.21
18	20.25	0.42	1.70	24.41	2.04
20	19.67	0.37	1.80	23.42	1.58
22	21.69	0.38	1.79	25.52	1.66
24	21.16	0.35	1.75	24.83	1.57
26	21.21	0.34	1.83	25.17	1.79
28	22.15	0.34	2.01	26.54	2.04
30	24.75	0.31	2.24	29.57	2.27

表 2 不同甘油添加比例下加热卷烟滤嘴冷凝段中水分、烟碱和甘油质量
Table 2 Mass of moisture, nicotine and glycerol in the condensation and filter section of heated cigarette by different glycerol addition ratio

甘油添加比例/%	水分/(mg·支 ⁻¹)	烟碱/(mg·支 ⁻¹)	甘油/(mg·支 ⁻¹)
5	25.56	0.50	2.56
10	26.99	0.57	3.29
12	29.94	0.57	3.84
14	29.85	0.61	4.39
16	30.44	0.60	4.61
18	28.43	0.68	5.83
20	29.40	0.62	6.88
22	31.06	0.64	7.11
24	31.24	0.62	7.58
26	31.71	0.65	8.13
28	34.04	0.71	10.04
30	34.63	0.78	11.64

2.4 加热卷烟烟芯段中水分、烟碱和甘油质量

由表 3 可知,随着甘油添加比例增加,水分质量逐渐增加,但相较于烟气和滤嘴冷凝段,水分处于较低水平,说明加热卷烟加热时,水分转移释放率较高,而残留较低。随着甘油添加比例的增加,烟芯段中甘油质量逐渐增加,且远大于烟气和滤嘴冷凝段中的,说明加热卷烟加

表 3 不同甘油添加比例下加热卷烟烟芯段中水分、烟碱和甘油质量
Table 3 Mass of moisture, nicotine and glycerol in heated cigarette core section heated by different glycerol addition ratio

甘油添加比例/%	水分/(mg·支 ⁻¹)	烟碱/(mg·支 ⁻¹)	甘油/(mg·支 ⁻¹)
5	3.26	2.52	11.58
10	3.69	2.45	23.47
12	4.77	2.52	33.58
14	5.34	2.56	39.71
16	5.33	2.43	44.83
18	5.52	2.21	46.84
20	6.34	2.25	54.56
22	6.41	2.40	62.20
24	6.27	2.24	67.35
26	6.48	2.14	73.37
28	6.73	2.11	76.97
30	7.63	2.10	85.77

热时烟芯段中甘油释放转移率低,残留高。随着甘油添加比例的增加,烟芯段中烟碱质量逐渐降低,与甘油添加比例增大后烟草薄片如烟碱含量降低的规律较一致。

2.5 加热卷烟不同部位中水分的分布

由图 3 可知,加热卷烟不同部位中水分质量大小为滤嘴冷凝段>烟气>烟芯段,且各部位的水分质量均随甘油添加比例的增大而增大。加热卷烟烟气和滤嘴冷凝段中水分质量远大于烟芯段,说明由于水分沸点较低,加热卷烟烟具的加热温度容易使烟支中水分充分释放转移。由图 4 可知,随着甘油添加比例的增加,水分释放量为 88.6%~92.3%,残留量为 7.7%~11.4%,说明尽管加热卷烟烟具加热温度远超过水的沸点,但由于加热烟具的结构较为封闭,水分并不能完全释放,仍会残留一部分在烟芯中。

2.6 加热卷烟不同部位中烟碱的分布

由图 5 可知,加热卷烟不同部位中烟碱质量大小为烟芯段>滤嘴冷凝段>烟气,其中烟气和烟芯段的烟碱质量随甘油添加比例的增加逐渐下降,与烟草干基中的烟碱变化趋势较为一致,但滤嘴冷凝段的烟碱质量逐渐上升,说明滤嘴冷凝段烟碱的释放量还受甘油的影响,甘油在释放过程中可增强烟碱的释放。由图 6 可知,烟碱在烟气和冷凝段的释放量为 25.5%~34.2%,残留量为 65.8%~74.5%,且烟碱释放量百分比随甘油添加比例的

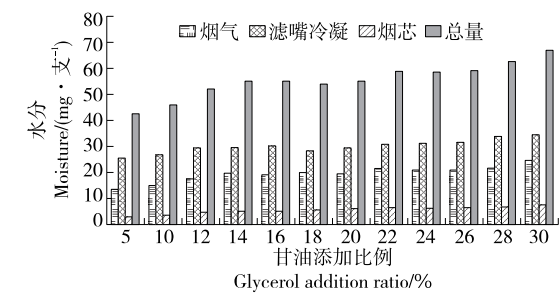


图 3 水分在加热卷烟不同部位中的质量
Figure 3 Mass of moisture in different parts of heated cigarette

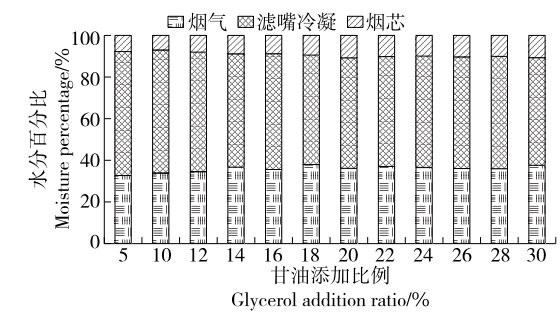


图 4 水分在加热卷烟不同部位中的百分比分布
Figure 4 Percentage distribution of moisture in different parts of heated cigarette

增加逐渐增大,趋势性较好。

2.7 加热卷烟不同部位甘油的质量分布

由图 7 可知,加热卷烟不同部位中甘油质量大小为烟芯段>滤嘴冷凝>烟气,其中烟气、冷凝段和烟芯段的甘油质量均随甘油添加比例的增加而增加。由图 8 可知,当甘油添加比例为 10%~30%时,加热卷烟中甘油的释放量和残留量基本稳定,分别为 12.0%~15.3%,78.7%~88.0%;当甘油添加比例为 5%时,加热卷烟中甘

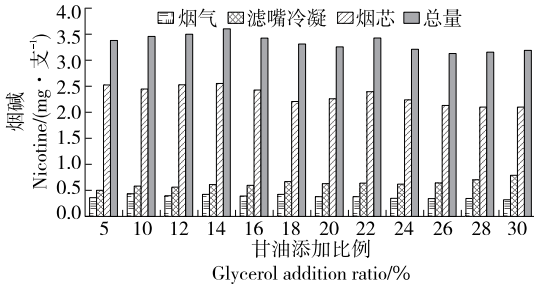


图 5 烟碱在加热卷烟不同部位中的质量
Figure 5 Mass of nicotine in different parts of heated cigarette

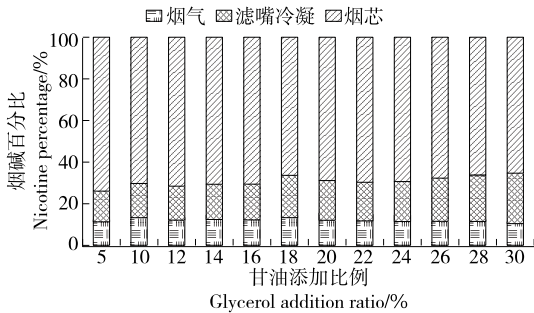


图 6 烟碱在加热卷烟不同部位中的百分比分布
Figure 6 Percentage distribution of nicotine in different parts of heated cigarette

油释放量较高为 21.3%,可能是由于少量的甘油在空气中较容易释放转移。

2.8 加热卷烟主要成分的释放率、截留率和转移率

由表 4 可知,由于水分、烟碱和甘油具有不同的理化性质,其不同甘油添加比例加热卷烟中的释放率、截留率和转移率差异显著($P<0.05$)。在释放率方面,水分的释放率较高为 88.6%~92.3%,甘油的最低为 12.0%~21.3%。在截留率方面,水分和烟碱的截留率相对较低,

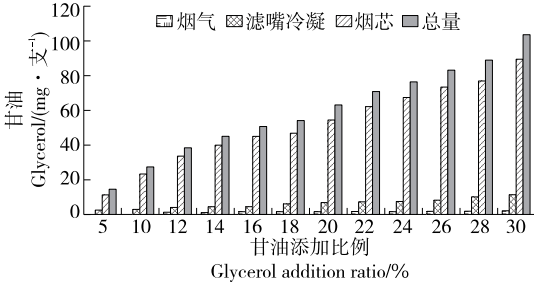


图 7 甘油在加热卷烟不同部位中的质量
Figure 7 Mass of glycerol in different parts of heated cigarette

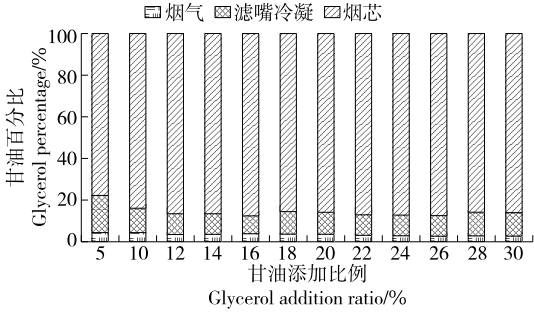


图 8 甘油在加热卷烟不同部位中的百分比分布
Figure 8 Percentage distribution of glycerol in different parts of heated cigarette

表 4 加热卷烟主要成分的释放率、截留率和转移率

Table 4 Release rate, retention rate and transfer rate of main components of heated cigarette

甘油添加 比例	释放率			截留率			转移率		
	水分	烟碱	甘油	水分	烟碱	甘油	水分	烟碱	甘油
5	92.3	25.5	21.3	65.1	57.5	81.5	32.2	10.8	3.9
10	92.0	29.3	15.3	63.9	56.4	77.6	33.2	12.7	3.4
12	90.9	27.9	12.7	63.0	58.2	78.5	33.7	11.6	2.7
14	90.3	28.9	12.7	60.2	58.7	75.8	36.0	11.9	3.1
16	90.3	29.0	12.0	61.3	60.0	75.1	35.0	11.6	3.0
18	89.8	33.2	13.8	58.4	61.8	77.4	37.4	12.7	3.1
20	88.6	30.6	13.7	59.9	62.6	79.3	35.5	11.5	2.8
22	89.2	29.8	12.5	58.9	62.7	79.9	36.7	11.1	2.5
24	89.3	30.2	12.2	59.6	63.9	81.2	36.1	10.9	2.3
26	89.1	31.7	12.0	59.9	65.7	81.6	35.7	10.9	2.2
28	89.3	33.3	13.5	60.6	67.6	83.3	35.2	10.9	2.3
30	88.6	34.2	13.9	58.3	71.6	83.9	36.9	9.8	2.2

分别为 58.3%~65.1%, 58.2%~71.6%, 甘油的较高为 75.1%~83.9%。在转移率方面, 水分的转移率最高为 32.2%~37.4%, 甘油的最低为 2.2%~3.9%。

由表 4 还可知, 随着甘油添加比例的增加, 加热卷烟中水分的释放率、截留率和转移率相差不大, 而加热卷烟中烟碱和甘油的截留率和转移率变化趋势较为一致, 其中截留率整体逐渐升高, 转移率整体逐渐下降。综上, 当甘油添加比例为 10%~18% 时, 加热卷烟的烟碱和甘油具有较高的转移率和较低的截留率。

3 结论

采用稠浆法制作工艺制备了甘油添加比例为 5%~30% 的 12 个梯度等级的加热卷烟烟草薄片, 并将其制作成加热卷烟烟支。采用 GC-TCD 方法检测加热卷烟烟气、滤嘴冷凝段和烟芯段中水分、烟碱和甘油的质量, 结果表明, 水分、烟碱和甘油在加热卷烟不同部位中的质量差异较为明显。当甘油添加比例为 5%~30% 时, 水分释放率最高, 主要分布在烟气和滤嘴冷凝段; 烟碱释放率较少, 主要分布在滤嘴冷凝段和烟芯段; 甘油释放率最低, 主要分布在烟芯段。当甘油添加比例为 10%~18% 时, 加热卷烟的烟碱和甘油具有较高的转移率和较低的截留率。后续可研究甘油与烟草薄片挥发物之间的释放协同效应。

参考文献

- [1] 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.
- [2] LIU S, CUI K, ZENG S T, et al. Analysis of blend and aerosol composition of two heatnotburn tobacco products[J]. Tobacco Science & Technology, 2016, 49(11): 56-65.
- [3] 刘亚丽, 王金棒, 郑新章, 等. 加热不燃烧烟草制品发展现状及展望[J]. 中国烟草学报, 2018, 24(4): 91-106.
- [4] LIU Y L, WANG J B, ZHENG X Z, et al. Current status and prospect of heat-not-burn tobacco products[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2018, 24(4): 91-106.
- [5] 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.
- [6] DOU Y Q, SHEN Y, YANG J T, et al. The development and prospect of novel tobacco products[J]. Chinese Tobacco Science, 2016, 37(5): 92-97.
- [7] BORGERDING M F, BODNAR J A, CHUNGH L, et al. Chemical and biological studies of a new cigarette that primarily heats tobacco Part 1: Chemical composition of mainstream smoke[J]. Food & Chemical Toxicology, 1998, 36(3): 169-182.
- [8] 周昆, 杨继, 杨柳, 等. 加热不燃烧卷烟烟香气溶胶研究进展[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(5): 141-149.
- [9] ZHOU K, YANG J, YANG L, et al. Research advances related to heat not burn tobacco aerosol[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, 23(5): 141-149.
- [10] 刘鸿, 陶立奇, 陆怡峰, 等. 加热烟草制品(HTPs)气溶胶成分的 MD-GC/MS 分析[J]. 中国烟草学报, 2020, 26(3): 9-14.
- [11] LIU H, TAO L Q, LU Y F, et al. Composition analysis of heated tobacco products (HTPs) aerosol by MD-GC/MS[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2020, 26(3): 9-14.
- [12] BAKERR R. Smoke generation inside a burning cigarette: Modifying combustion to develop cigarettes that may be less hazardous to health[J]. Energy & Combustion Science, 2006, 32(4): 373-385.
- [13] 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 & Chemical Toxicology, 1998, 36(3): 183-190.
- [14] KOGELE U, SCHLAGE W K, MARTIN F, et al. A 28-day rat inhalation study with an integrated molecular toxicology endpoint demonstrates reduced exposure effects for a prototypic modified risk tobacco product compared with conventional cigarettes[J]. Food & Chemical Toxicology, 2014, 68(1): 204-217.
- [15] 李翔, 谢复伟, 刘惠民. 新型烟草制品毒理学评价研究进展[J]. 烟草科技, 2016(1): 88-93.
- [16] LI X, XIE F W, LIU H M. Recent advances in toxicological evaluation of novel tobacco products[J]. Tobacco Science & Technology, 2016(1): 88-93.
- [17] 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.
- [18] DONG G F, TIAN Y F, SHANG S Z, et al. Production technology of reconstituted tobacco for heat-not-burn (HnB) cigarettes: A review[J]. Acta Tabacaria Sinica, Acta Tabacaria Sinica, 2020, 26(1): 109-117.
- [19] 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.
- [20] ZHANG Y Y, TANG T T, ZHANG J L, et al. Development status and prospect on heating non-combustible reconstituted tobacco[J]. China Pulp & Paper Industry, 2020, 41(18): 14-17.
- [21] 张金廷, 胡培强, 施永诚, 等. 甘油[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 109-112.
- [22] ZHANG J T, HU P Q, SHI Y C, et al. Glycerol[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008: 109-112.
- [23] 孙平, 张津凤, 姚秀玲. 化工产品手册: 食品添加剂[M]. 北京: 化学工业出版社, 2016: 96-97.
- [24] SUN P, ZHANG J F, YAO X L. Chemical products manual: Food additives[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2016: 96-97.
- [25] 周慧明, 刘鸿, 刘广超, 等. 自制研究平台不同加热温度下电加热卷烟主要成分的释放行为[J]. 烟草科技, 2021, 54(6): 50-57.
- [26] ZHOU H M, LIU H, LIU G C, et al. Release behaviors of main aerosol components from electrically heated cigarettes at different temperatures based on a bespoke test platform[J]. Tobacco Science & Technology, 2021, 54(6): 50-57.
- [27] 龚淑果, 刘魏, 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.

- GONG S G, LIU W, HUANG P, et al. Puff-by-puff release of main aerosol components from two commercial heat-not-burn tobacco products[J]. Tobacco Science & Technology, 2019, 52(2): 62-71.
- [17] 张洪非, 姜兴益, 庞永强, 等. 两种抽吸模式下加热不燃烧卷烟主流烟气释放物分析[J]. 烟草科技, 2018, 51(9): 40-48.
- ZHANG H F, JIANG X Y, PANG Y Q, et al. Analysis of mainstream aerosol emissions of heat-not-burn tobacco products under two puffing regimes[J]. Tobacco Science & Technology, 2018, 51(9): 40-48.
- [18] 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.
- ZHAO G F, LIU J, TU Y G, et al. Simultaneous determination of 1, 2-propylene glycol, nicotine and glycerol in heat-not-burn cigarette core material by gas chromatography method[J]. China Measurement & Testing Technology, 2019, 45(3): 69-74.
- [19] 王康, 柳均, 肖少红, 等. GC-TCD 法同时检测加热不燃烧卷烟烟气气溶胶水分、及烟碱、丙三醇、1,2-丙二醇、三乙酸甘油酯和薄荷醇的释放量[J]. 烟草科技, 2019, 52(3): 63-68.
- WANG K, LIU J, XIAO S H, et al. Simultaneous determination of moisture content and deliveries of nicotine, glycerol, 1,2-propylene glycol, glycerol triacetate and menthol in aerosol from heat-not-burn tobacco products by GC-TCD method[J]. Tobacco Science & Technology, 2019, 52(3): 63-68.
- [20] 肯生叶, 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): 46-55.
- KEN S Y, WEN G H, YANG X Y, 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): 46-55.
- [21] 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.
- ZHANG L, WANG W W, ZHANG X T, et al. Transfer behavior of main aerosol components in heat-not-burn tobacco products[J]. Tobacco Science & Technology, 2019, 52(3): 46-55.
- [22] 刘鸿, 张怡春, 陆怡峰, 等. 电子烟气溶胶成分释放的主要影响因素[J]. 烟草科技, 2020, 53(10): 39-45.
- LIU H, ZHANG Y C, LU Y F, et al. Main factors affecting aerosol component releases from e-cigarette[J]. Tobacco Science & Technology, 2020, 53(10): 39-45.
- [23] 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 X Y, WEN G H, LI F, et al. Characteristic analysis of heat-not-burn cigarette tobacco materials[J]. Food & Machinery, 2020, 36(5): 205-210.
- [24] 唐培培, 曾世通, 刘珊, 等. 甘油对烟叶热性能及加热状态下烟气释放的影响[J]. 烟草科技, 2015, 48(3): 61-65.
- TANG P P, ZENG S T, LIU S, et al. Effects of glycerol on thermal property and smoke release of tobacco leaves under heating[J]. Tobacco Science & Technology, 2015, 48(3): 61-65.
- [25] 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.
- ZHAO L, LIU S, ZENG S T, et al. Influence of glycerol on release of volatile and semi-volatile chemical components in cut tobacco under heating[J]. Tobacco Science & Technology, 2016, 49(4): 53-60.
- [26] 周慧明, 华青, 刘广超, 等. 加热非燃烧状态下烟草制品的 TS-NAs 释放规律[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(1): 82-88.
- ZHOU H M, HUA Q, LIU G C, et al. TS-NAs release of heat-not-burn tobacco materials[J]. Chinese Tobacco Science, 2019, 40(1): 82-88.
- [27] 黄嘉初. 卷烟工艺[M]. 北京: 北京出版社, 2000: 401-406.
- HUANG J R. Cigarette technology [M]. Beijing: Beijing Press, 2000: 401-406.
- (上接第 28 页)
- [19] ZHAO Z H, LIU M J, TU P F. Characterization of water soluble polysaccharides from organs of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. Cv. Dongzao)[J]. European Food Research and Technology, 2008, 226: 985-989.
- [20] LI J W, AI L Z, YANG Q, et al. Isolation and structural characterization of a polysaccharide from fruits of *Zizyphus jujuba* cv. Junzao[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 55: 83-87.
- [21] 李彩霞, 郑雪, 高海宁, 等. 槐角多糖表征及抗氧化吸湿保湿性能研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(12): 17-22.
- LI C X, ZHENG X, GAO H M, et al. Structural characterization and antioxidant, moisture-absorbing and moisture-retention properties of polysaccharides of *Sophora japonica* L.[J]. Food & Machinery, 2017, 33(12): 17-22.
- [22] 商飞飞, 祝儒刚, 张鑫雨, 等. 山楂多糖的分离纯化及抗氧化和抗糖化活性研究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(9): 96-101, 303.
- SHANG F F, ZHU R G, ZHANG X Y, et al. Extraction, isolation and purification of haw polysaccharide and its antioxidant and antiglycation activities in vitro[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(9): 96-101, 303.
- [23] 袁月鹏. 超声双水相法提取木枣多糖及其理化性质的研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2017: 29-30.
- YUAN Y P. Extraction and physicochemical properties of polysaccharides from *Ziziphus jujube* cv. Muzao by ultrasonic-assisted aqueous two-phase extraction[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2017: 29-30.
- [24] CHANG S C, HSU B Y, CHEN B H. Structural characterization of polysaccharides from *Zizyphus jujuba* and evaluation of antioxidant activity[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2010, 47: 445-453.
- [25] CHAOUCH M A, HAFSA J, RIHOUEY C, et al. Effect of extraction conditions on the antioxidant and antiglycation capacity of carbohydrates from *Opuntia robusta* cladodes [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2016, 51: 929-937.