

加热不燃烧制品的主流烟气释放物分析

姜雯¹, 燕宁², 张勇², 陈岳锋², 黄振楠^{2*}

(1. 昆明学院课程中心, 云南昆明 650214; 2. 云南喜科科技有限公司产品及营销中心, 云南昆明 650200)

摘要 采用加拿大深度抽吸(HCI)模式从常规烟气指标、有害成分含量、无机元素成分含量3个方面对目前市面上流行的4款加热不燃烧制品的烟气释放物进行研究,并进行感官质量评价。结果表明,4款加热不燃烧制品的常规烟气释放物中水分含量最高,水分占总粒相物的最高占比为67.13%,约为10 mg传统卷烟的2.16倍;加热不燃烧制品的烟气烟碱含量最低含量约为10 mg传统卷烟的22.60%;加热不燃烧制品的焦油释放量的最低含量约为10 mg传统卷烟的20.00%;加热不燃烧制品的危害性指数最低为10 mg传统卷烟的17.11%;加热不燃烧制品的5种重金属离子含量均明显低于10 mg传统卷烟;加热不燃烧制品与传统卷烟的感官抽吸主要区别于烟气量和烟香丰富性。

关键词 加热不燃烧制品;有害成分;主流烟气;释放物;气溶胶成分

中图分类号 TS41*1 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)21-0215-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.21.055



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Analysis of Mainstream Smoke Emission of Heat-not-burn Products

JIANG Wen¹, YAN Ning-ning², ZHANG Yong² et al (1. Curriculum Center, Kunming University, Kunming, Yunnan 650214; 2. Product and Marketing Center, Yunnan Xike Science & Technology Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650200)

Abstract Health Canada Intense (HCI) model was used to study the flue gas emissions of four popular heat-not-burn products (HNBs) from three aspects: conventional flue gas index, harmful component content and inorganic element content, and the sensory quality was evaluated. The results showed that the moisture content of the four HNBs were higher than conventional cigarettes, the highest proportion of moisture in the total granular phase was 67.13%, which was about 2.16 times of 10 mg conventional cigarettes. The lowest nicotine content in the smoke of HNBs was about 22.60% of that of 10 mg conventional cigarettes, and the lowest tar release content of HNBs was about 20.00% of that of 10 mg conventional cigarettes. The hazard index of HNBs was 17.11% of that of 10 mg traditional cigarettes, and the contents of five heavy metal ions in HNBs were significantly lower than that of 10 mg conventional cigarettes. The sensory suction of HNBs was different from that of traditional cigarettes in terms of smoke volume and aroma richness.

Key words Heat-not-burn products (HNBs); Harmful components; Mainstream smoke; Emission; Aerosol components

随着世界各国对公共场所吸烟禁令范围的扩大以及消费者对于健康的关注度日益增加,低危害的新型烟草制品研发逐渐成为重点。加热不燃烧制品是新型烟草制品的重要品类之一,通过加热源对特制的卷烟烟丝或者烟草提取物进行加热不发生燃烧^[1],经过低温热裂解产生烟气以提供与传统卷烟相似的抽吸感受。因为加热而不燃烧的特性,一定程度上避免了由于烟草高温燃烧导致的焦油和大量有害化合物,且测流烟气少减少了卷烟对公共环境的影响,逐渐受到烟草企业和消费者的青睐。

目前,针对加热不燃烧制品的研究大多是以专利技术分析、降温材料开发、常规烟气指标释放物等研究为主^[2-6],笔

者选用加拿大深度抽吸(HCI)模式^[7-14],从常规烟气指标、有害成分含量、无机元素成分含量3个方面结合感官抽吸品质评价对目前市面上流行4款加热不燃烧制品的综合性能进行研究。

1 材料与方法

1.1 试材 此次试验样品均为市售产品,样品参数如表1所示。试验用烟具为电加热新型卷烟 IQOS(三代),所用烟具主要包括主单元(充电器)和次级单元(烟支加热器件)。

1.2 仪器 直线型吸烟机(英国 Cerulean 公司);气相色谱仪、气相色谱-质谱联用仪、高效液相色谱仪(美国 Agilent 公司);液相色谱-三重四极杆质谱联用仪(美国 AB SCIEX 公司)。

表1 试验样品参数

Table 1 Test sample parameters

| 编号 No. | 样品名称 Sample name | 长度 Length/mm | 圆周 Circumference/mm | 过滤嘴长度 Filter tip length/mm | 发烟物质形态 Smoky substance form |
|--------|------------------|--------------|---------------------|----------------------------|-----------------------------|
| C-1 | CIGOO 烟弹(蓝色) | 45 | 21.98 | 15 | 颗粒 |
| C-2 | CIGOO 烟弹(绿色) | 45 | 21.98 | 15 | 颗粒 |
| M-1 | Marlboro 烟弹(蓝色) | 45 | 21.98 | 7 | 薄片 |
| M-2 | Marlboro 烟弹(绿色) | 45 | 21.98 | 7 | 薄片 |
| KB | 10 mg 传统卷烟(对照) | 84 | 24.20 | 30 | 烟丝 |

基金项目 云南省教育厅科学研究基金项目(2020J0520)。

作者简介 姜雯(1986—),女,黑龙江齐齐哈尔人,助理研究员,博士,从事卷烟用新材料的研究开发工作。*通信作者,助理工程师,从事新型烟草研究。

收稿日期 2021-03-09

1.3 方法

1.3.1 抽吸方法。此次试验的抽吸模式为加拿大深度抽吸(HCI)模式,抽吸参数如表2所示。

1.3.2 样品的检测方法。《卷烟总粒相物中水分的测定第

1 部分:气相色谱法》GB/T 23203.1—2013;《卷烟总颗粒物中烟碱的测定》GB/T 23355—2009;《卷烟常规分析用吸烟机测定总颗粒物 and 焦油》GB/T 19609—2004;《卷烟主流烟气中铬、镍、砷、硒、镉、铅的测定 电感耦合等离子体质谱法》YC/T 379—2010;《卷烟烟气总颗粒物中苯并[α]芘的测定》GB/T 21130—2007;《卷烟主流烟气中氰化氢的测定 连续流动法》YC/T 253—2008;《卷烟主流烟气中酚类化合

物的测定 高效液相色谱法》YC/T 255—2008;《卷烟主流烟气中主要羰基化合物的测定 高效液相色谱法》YC/T 254—2008;《卷烟主流烟气中氨的测定 离子色谱法》YC/T 377—2010;《卷烟烟气气相中一氧化碳的测定 非散射红外法》GB/T 23356—2009;《卷烟主流烟气总颗粒物烟草特有 N-亚硝胺的测定 高效液相色谱-串联质谱联用法》TCJC-ZY-IV-005—2012。

表 2 卷烟样品的 HCl 抽吸模式参数

Table 2 Parameters of Health Canada Intense (HCI) puffing mode of cigarette samples

| 产品 Product | 抽吸曲线 Suction curve | 抽吸容量 Suction capacity//mL | 抽吸时间 Suction time//s | 抽吸间隔 Suction interval//s | 抽吸口数 Number of suction ports//口 |
|---------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| IQOS | 钟形 | 55 | 2 | 30 | 10 |
| CIGOO | 钟形 | 55 | 2 | 30 | 10 |
| 传统卷烟 | 钟形 | 55 | 2 | 30 | 烟蒂终止 |

1.3.3 样品的烟气危害性指数计算。根据谢剑平等^[15]报道的方法,采用以下公式计算烟气危害性指数(H):

$$H = \left(\frac{X_{CO}}{C_{CO}} + \frac{X_{HCN}}{C_{HCN}} + \frac{X_{NNK}}{C_{NNK}} + \frac{X_{NH_3}}{C_{NH_3}} + \frac{X_{B[\alpha]P}}{C_{B[\alpha]P}} + \frac{X_{苯酚}}{C_{苯酚}} + \frac{X_{巴豆醛}}{C_{巴豆醛}} \right) \times \frac{10}{7}$$

式中, X_{CO} 为卷烟主流烟气中 CO 释放量实测值(mg/支); X_{HCN} 为卷烟主流烟气中 HCN 释放量实测值(μ g/支); X_{NNK} 为卷烟主流烟气中 NNK 释放量实测值(ng/支); X_{NH_3} 为卷烟主流烟气中 NH_3 释放量实测值(μ g/支); $X_{B[\alpha]P}$ 为卷烟主流烟气中 B[α]P 释放量实测值(ng/支); $X_{苯酚}$ 为卷烟主流烟气中苯酚释放量实测值(μ g/支); $X_{巴豆醛}$ 为卷烟主流烟气中巴豆醛释放量实测值(μ g/支)。 C_{CO} 、 C_{HCN} 、 C_{NNK} 、 C_{NH_3} 、 $C_{B[\alpha]P}$ 、 $C_{苯酚}$ 和 $C_{巴豆醛}$ 分别为 2008 年度全国卷烟主流烟气中 CO、HCN、NNK、 NH_3 、B[α]P、苯酚和巴豆醛释放量加权平均值,其具体数值分别为 14.2、146.3、5.5、8.1、10.9、17.4 和 18.6。

2 结果与分析

2.1 常规烟气指标分析 分析不同样品的常规烟气指标(表 3)发现,从烟气组分来看,传统卷烟(KB)的常规烟气释放物中焦油含量最高,而 4 款加热不燃烧制品的常规烟气释放物中水分含量最高;4 个加热不燃烧样品的烟气中总颗粒物含量均低于对照(KB),其中 C-1 含量最低,约为 10 mg 传统卷烟(KB)的 42.29%;M-1 和 M-2 样品的烟气水分含量明显高于对照,M-2 烟气中的水分含量约为 10 mg 传统卷烟的 1.79 倍,而 C-1 和 C-2 样品的烟气水分含量比 KB 有小幅下降;烟气烟碱含量主要与感官评吸时烟气劲头相关,对照样品的常规烟气中烟碱占比为 4.73%,而加热不燃烧制品

C-1 和 M-1 烟碱占比分别为 2.53%和 2.90%,均低于 10 mg 传统卷烟;4 个加热不燃烧制品的烟碱释放量均低于对照,其中 C-1 约为 10 mg 传统卷烟的 22.60%;M-2 约为 10 mg 传统卷烟的 59.89%,这与感官抽吸时 M-2 的烟气劲头和刺激性大于 C-1 的结果相一致;4 个加热不燃烧制品的焦油释放量均低于对照,其中 C-1 的焦油含量最低,约为 10 mg 传统卷烟的 20.00%,M-2 的焦油含量约为 10 mg 传统卷烟的 60.83%。

表 3 不同样品的常规烟气指标

Table 3 Conventional smoke index of different samples

| 编号 No. | 总颗粒物 Total particulate matter//mg | 水分 Moisture mg | 烟碱 Nicotine mg | 焦油量 Tar amount mg |
|-----------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| C-1 | 15.82 | 10.62 | 0.40 | 4.80 |
| C-2 | 20.94 | 10.72 | 0.47 | 9.75 |
| M-1 | 36.58 | 18.58 | 0.92 | 17.08 |
| M-2 | 36.52 | 20.86 | 1.06 | 14.60 |
| KB | 37.41 | 11.64 | 1.77 | 24.00 |

2.2 有害成分分析 从不同样品的 7 项有害成分含量(表 4)可看出,4 个加热不燃烧制品烟气中的 HCN、巴豆醛、苯酚、 NH_3 、NNK、丙烯醛的含量明显低于 10 mg 传统卷烟(KB),其中 C-2 和 M-2 样品的危害性指数降低明显,分别为对照的 17.09%和 17.23%,这是由于加热不燃烧制品在低温状态下热裂解程度较低,因此有害成分的释放量大大降低。C-1 样品的 B[α]P 含量有所升高,这可能是由于部分植物颗粒加热不充分造成的,或者原料高温裂解后经环化和聚合反应形成。

表 4 不同样品的有害成分含量

Table 4 Harmful component content of different samples

| 编号 No. | HCN μ g/支 | B[α]P ng/支 | 巴豆醛 Crotonaldehyde// μ g/支 | 苯酚 Phenol μ g/支 | NH_3 μ g/支 | NNK ng/支 | 丙烯醛 Acrolein μ g/支 | 危害性 指数(H) |
|-----------|------------------|---------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------|-------------|------------------------------|--------------|
| C-1 | 1 | 9.51 | 0.43 | 1.6 | 2.08 | 5.09 | 0.26 | 3.12 |
| C-2 | 5 | 2.61 | 0.20 | 1.5 | 1.80 | 6.26 | 0.13 | 2.49 |
| M-1 | 3 | 0.81 | 0.29 | 0.3 | 6.52 | 6.06 | 0.59 | 2.93 |
| M-2 | 3 | 0.54 | 0.10 | 0.8 | 5.68 | 5.01 | 0.62 | 2.51 |
| KB | 234 | 6.07 | 15.74 | 28.2 | 6.81 | 10.77 | 105.16 | 14.57 |

2.3 无机元素成分分析 烟支燃烧或者烟弹受加热产生的重金属离子主要以气溶胶的形式存在,抽吸过程中会进入人体,不利于人体的健康。从不同样品的气溶胶中主要几种重金属离子的检测数据(表5)可看出,除汞以外,4个低温烟草产品烟气中的5种重金属离子含量均明显低于10mg传统卷烟(KB)。

表5 不同样品的气溶胶中无机元素含量

Table 5 Inorganic element content in aerosols of different samples

| 编号 No. | 铬 Cr | 镍 Ni | 砷 As | 镉 Cd | 铅 Pb |
|--------|------|------|------|------|------|
| C-1 | 1.9 | — | 1.3 | 4.2 | — |
| C-2 | 4.4 | 5.3 | 1.4 | — | 1.9 |
| M-1 | 5.8 | 15.1 | 2.1 | — | 2.8 |
| M-2 | 5.8 | 15.1 | 2.1 | — | 2.8 |
| KB | 28.4 | 17.4 | 12.5 | 55.7 | 28.6 |

2.4 感官质量评价 由于加热不燃烧制品的发烟机理和结构形式均不同于传统卷烟,因此感官评价中增加了发烟量的评价指标,评价结果如表6所示,加热不燃烧制品与传统卷烟的感官抽吸主要区别于烟气量和烟香丰富性。

表6 不同样品的感官质量评价

Table 6 Sensory quality evaluation of different samples

| 编号 No. | 发烟量 Amount of smoke | 香气 Aroma | 刺激性 Irritation | 劲头 Strength | 余味 Aftertaste |
|--------|---------------------|----------|----------------|-------------|---------------|
| C-1 | 大 | 浓郁、丰富 | 微有 | 较强 | 干净 |
| C-2 | 大 | 浓郁、略丰富 | 微有 | 中 | 干净 |
| M-1 | 大 | 略丰富 | 较大 | 强 | 干净 |
| M-2 | 大 | 较丰富 | 有 | 较强 | 干净 |
| KB | 大 | 饱满、丰富 | 较大 | 较强 | 尚干净 |

3 结论

传统卷烟的常规烟气释放物中焦油含量最高,而加热不燃烧制品的常规烟气释放物中水分含量最高;加热不燃烧制品烟气中的水分含量较传统卷烟有所提升,最高含量约为10mg传统卷烟的1.79倍;加热不燃烧制品由于发烟段材料区别于传统卷烟的叶组,因此加热不燃烧样品的烟气烟碱含量低于传统10mg卷烟,其中对照样品的常规烟气中烟碱占比为4.73%,而C-1和M-1烟碱占比分别为2.53%和2.90%,均低于10mg传统卷烟;加热不燃烧制品的焦油释放量低于10mg传统卷烟,其中C-1和M-2样品的焦油含量分别约为10mg传统卷烟的20.00%和60.83%;低温烟草制品的危害性指数降低明显,其中C-2和M-2的危害指数分别为对照的17.09%和17.23%;加热不燃烧卷烟的5种重金属离子含量均明显低于10mg传统卷烟;加热不燃烧卷烟与

传统卷烟的感官抽吸主要区别于烟气量和烟香丰富性。

参考文献

- [1] 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.
- [2] GONZALEZ-SUAREZ I, MARTIN F, MARESCOTTI D, et al. *In vitro* systems toxicology assessment of a candidate modified risk tobacco product shows reduced toxicity compared to that of a conventional cigarette [J]. Chemical research in toxicology, 2016, 29(1): 3-18.
- [3] SCHALLER J P, KELLER D, POGET L, et al. Evaluation of the Tobacco Heating System 2.2. Part 2: Chemical composition, genotoxicity, cytotoxicity, and physical properties of the aerosol [J]. Regulatory toxicology & pharmacology, 2016, 81(S2): S27-S47.
- [4] WONG E T, KOHEL U, VELJKOVIC E, et al. Evaluation of the Tobacco Heating System 2.2. Part 4: 90-Day OECD 413 rat inhalation study with systems toxicology endpoints demonstrates reduced exposure effects compared with cigarette smoke [J]. Regulatory toxicology & pharmacology, 2016, 81(S2): S59-S81.
- [5] OVIEDO A, LEBRUN S, KOHEL U, et al. Evaluation of the Tobacco Heating System 2.2. Part 6: 90-Day OECD 413 rat inhalation study with systems toxicology endpoints demonstrates reduced exposure effects of a mentholated version compared with mentholated and non-mentholated cigarette smoke [J]. Regulatory toxicology & pharmacology, 2016, 81(S2): 93-122.
- [6] KOHEL U, TITZ B, SCHLAGE W K, et al. Evaluation of the Tobacco Heating System 2.2. Part 7: Systems toxicological assessment of a mentholated version revealed reduced cellular and molecular exposure effects compared with mentholated and non-mentholated cigarette smoke [J]. Regulatory toxicology & pharmacology, 2016, 81(S2): S123-S138.
- [7] HAZIZA C, DE LA BOURDONNAYE G, SKIADA D, et al. Evaluation of the Tobacco Heating System 2.2. Part 8: 5-Day randomized reduced exposure clinical study in Poland [J]. Regulatory toxicology & pharmacology, 2016, 81(S2): S139-S150.
- [8] MARTIN F, TALIKKA M, IVANOV N V, et al. Evaluation of the Tobacco Heating System 2.2. Part 9: Application of systems pharmacology to identify exposure response markers in peripheral blood of smokers switching to THS2.2 [J]. Regulatory toxicology & pharmacology 2016, 81(S2): S151-S161.
- [9] LÜDICKE F, PICAUVET P, BAKER G, et al. Effects of switching to the menthol tobacco heating system 2.2, smoking abstinence, or continued cigarette smoking on clinically relevant risk markers: A randomized, controlled, open-label, multicenter study in sequential confinement and ambulatory settings (Part 2) [J]. Nicotine & tobacco research, 2018, 20(2): 173-182.
- [10] OGDEN M W, MARANO K M, JONES B A, et al. Switching from usual brand cigarettes to a tobacco-heating cigarette or snus: Part 2. Biomarkers of exposure [J]. Biomarkers, 2015, 20(6/7): 391-403.
- [11] 胡启秀,蒋锦锋,赵继俊,等.卷烟抽吸模式研究现状概述[J].中国烟草学报,2013,19(3):98-102.
- [12] OGDEN M W, MARANO K M, JONES B A, et al. Switching from usual brand cigarettes to a tobacco-heating cigarette or snus: Part 3. Biomarkers of biological effect [J]. Biomarkers, 2015, 20(6/7): 404-410.
- [13] OGDEN M W, MARANO K M, JONES B A, et al. Switching from usual brand cigarettes to a tobacco-heating cigarette or snus: Part 1. Study design and methodology [J]. Biomarkers, 2015, 20(6/7): 382-390.
- [14] 于宏晓,赵砚棠,徐海涛,等.不同抽吸模式卷烟主流烟气中常规成分和某些有害成分释放研究[J].中国烟草科学,2012,33(5):90-92,103.
- [15] 谢剑平,刘惠民,朱茂祥,等.卷烟烟气危害性指数研究[J].烟草科技,2009(2):5-15.

(上接第214页)

- [18] 陈兴连,林涛,刘兴勇,等.超高效液相色谱-串联质谱法快速测定鱼和虾中多类禁、限用兽药残留[J].色谱,2020,38(5):538-546.
- [19] 熊春兰,郭平,占春瑞,等.高效液相色谱-串联质谱法同时测定水产品中8类38种兽药残留[J].分析测试学报,2013,32(2):193-198,204.
- [20] 王连珠,周昱,陈泳,等.QuEChERS样品前处理-液相色谱-串联质谱法测定蔬菜中66种有机磷农药残留量方法评估[J].色谱,2012,30

(2):146-153.

- [21] 邱世婷,蒲凤琳,侯雪,等.超高效液相色谱-串联质谱法测定9种绿叶类蔬菜中36种农药多残留的基质效应[J].农药学报,2018,20(5):661-667.
- [22] 邓晶晶,荀琰,耿昭,等.气相色谱-串联质谱法检测川产丹参中70种农药残留[J].农药学报,2020,22(5):847-856.
- [23] 许秀丽,赵海香,李礼,等.分析保护剂补偿基质效应-气相色谱-质谱法快速测定水果中40种农药残留[J].色谱,2012,30(3):267-272.