

抽吸模式对纸打孔细支卷烟烟气释放量的影响

Effect of smoking regimes on smoke release of super slim cigarettes with perforation paper

何红梅 张媛 朱怀远

HE Hong-mei ZHANG Yuan ZHU Huai-yuan

庄亚东 熊晓敏 刘献军

ZHUANG Ya-dong XIONG Xiao-min LIU Xian-jun

(江苏中烟工业有限责任公司技术研发中心, 江苏 南京 210019)

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

摘要:为研究卷烟纸打孔细支卷烟的主流烟气,测定不同卷烟纸打孔参数的细支卷烟在ISO和HCI 2种模式下焦油和烟碱逐口释放量。结果表明:① ISO模式下卷烟纸打孔细支卷烟样品的焦油释放量有不同程度降低,而烟碱释放量变化幅度不明显;② HCI模式下,纸打孔样品焦油和烟碱总释放量均有不同程度升高,卷烟纸打孔对细支卷烟焦油和烟碱总释放量有不利影响;③ 前3口焦油增长率的变化反映了ISO模式下焦油逐口释放量的变化趋势较HCI模式大;④ ISO模式下,纸打孔卷烟总烟碱/焦油比均大于对照样,且在打孔数目相同的情况下,总烟碱/焦油比随孔带宽度增加而增加,孔带宽度相同时,烟碱/焦油比随打孔数目增加而升高。而HCI模式下打孔卷烟与对照样烟碱/焦油比未呈现明显的变化规律。

关键词:卷烟纸;打孔;逐口抽吸;烟碱/焦油;细支烟

Abstract: In order to study the mainstream smoke of the super slim cigarettes with perforation cigarette paper. The tar and nicotine deliveries on a puff-by-puff basis of the super slim cigarettes with different cigarette paper perforation parameters were measured under ISO and HCI regimes respectively. The results showed that: 1) Under ISO regime, tar deliveries of the perforation super slim cigarettes decreased, and there were no obvious variations of nicotine between the perforation cigarettes and the control samples. 2) Under HCI regime, tar and nicotine deliveries of perforation cigarettes increased, and the perforation had a negative effect on the total tar and nicotine deliveries of super slim cigarettes. 3) The tar growth rate of the first

three puff showed that the variation tendency of tar release per puff under ISO regime was larger than that under HCI regime. 4) Under ISO regime, the total nicotine/tar ratios of perforation cigarettes were larger than that of the control samples. The total nicotine/tar ratio increased with the increase of perforation band under the same number of perforation, and the nicotine/tar ratio increased with the increases of the number of perforation under the same perforation band. There were no regular variation of the nicotine/tar ratio between perforation cigarettes and control samples under HCI regime.

Keywords: cigarette paper; perforation; puff-by-puff; nicotine/tar ratio; super slim cigarettes

卷烟烟气是在燃烧过程中卷烟组分经过热解、降解、蒸馏等一系列复杂的物理和化学变化形成的^[1]。卷烟纸直接参与卷烟的燃烧,其透气度与卷烟燃烧过程中烟草成分的热解和化学反应、烟气有害成分的产生量密切相关^[2],是影响卷烟燃烧的一项重要参数。打孔是改变纸透气度常用的一种方式^[3],针对接装纸打孔对卷烟烟气释放量的影响,研究人员^[4-8]已开展较为深入的研究。在卷烟纸方面,已有研究^[9-10]显示,提高卷烟纸的助燃剂K/Na比例以及添加不同金属盐的卷烟纸可促进卷烟纸纤维的裂解致孔,有效降低烟气中HCN和CO释放量。但直接在卷烟纸上打孔尚鲜有报道。

由于国际标准化组织烟草技术委员会规定的吸烟机参数标准条件(ISO抽吸模式)越来越受到一些国家和地区的反反对和质疑,WHO推荐制定了“加拿大深度抽吸(HCI)模式”国际标准^[11]。这2种模式下,常规卷烟主流烟气及有害成分释放量差异性研究已有相关报道^[12-16]。然而针对细支卷烟、不同抽吸模式下纸打孔透气度对烟气释放量的影响及差异性尚未见报道。另一方面,细支卷烟的发展呈现个性化

基金项目:江苏中烟工业有限责任公司科技项目(编号:2010-09)

作者简介:何红梅,女,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:2018-01-07

的发展趋势,研究纸打孔卷烟主流烟气化学成分的逐口释放规律可以为细支卷烟的设计提供技术支撑。

本研究针对不同打孔参数的细支卷烟样品,分析 ISO 与 HCl 2 种抽吸模式下打孔卷烟主流烟气中焦油和烟碱的逐口递送趋势,旨在为降低卷烟主流烟气中相关化学成分的释放量提供理论参考和技术依据。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂和仪器

样品:烟支长度为 97 mm,圆周 17 mm,首孔距离烟支末端均为 2 mm,其余参数见表 1(图 1 为卷烟孔带示意图),江

苏中烟工业有限责任公司;
异丙醇:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;
乙醇:色谱纯,天津科密欧化学试剂有限公司;
正十七碳烷:色谱纯,梯希爱(上海)化成工业发展有限公司;
烟碱标液:>97%,郑州烟草研究院;
20 孔道吸烟机:RM20H 型,德国 Borgwaldt KC 公司;
综合测试台:DT-5 型,德国 Borgwaldt KC 公司;
气相色谱仪:7890A 型,美国 Agilent 公司;
电子天平:AL204 型,瑞士 Mettler Toledo 公司。

表 1 不同卷烟样品打孔参数及物理指标
Table 1 Perforation parameters and physical index of different cigarette samples

样品编号	打孔数量/个	孔带宽度/mm	孔间距离/mm	吸阻/kPa	滤嘴通风/%	纸通风/%	总通风度/%	烟支质量/g
P0	0	0.0	0.0	1.329	47.6	10.0	57.6	0.531
P1	3	1.0	6.5	1.291	47.4	15.5	62.9	0.531
P2	3	1.5	6.0	1.318	47.9	20.4	68.3	0.534
P3	3	2.0	5.5	1.308	47.0	22.6	69.6	0.541
P4	4	1.0	5.0	1.305	47.3	16.6	63.9	0.548
P5	4	1.5	4.5	1.309	47.9	20.7	68.6	0.532
P6	4	2.0	4.0	1.381	48.5	24.4	73.9	0.552

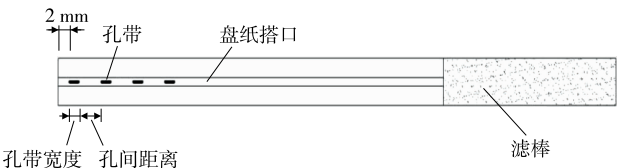


图 1 卷烟孔带示意图

Figure 1 Schematic diagram of the cigarette hole belt

1.2 方法

按照 GB/T 16450—2004《常规分析用吸烟机定义和标准条件》规定的条件逐口抽吸卷烟。抽吸完毕,按照 GB/T 19609—2004《卷烟常规分析用吸烟机测定总粒相物和焦油》、GB/T 23203.1—2013《卷烟 总粒相物中水分的测定 第 1 部分:气相色谱法》及 GB/T 23355—2009《卷烟 总粒相物中烟碱的测定 气相色谱法》处理每口抽吸的剑桥滤片,测定每口烟气粒相物中焦油、水分及烟碱的含量。每个样品平行测定 2 次。

2 结果与讨论

2.1 ISO 模式下焦油、烟碱释放量

表 2、3 给出了 ISO 模式下不同卷烟样品的逐口烟气焦油、烟碱释放量。结果表明,完整抽吸口序时(前 5 口),各样品焦油逐口释放量范围为 0.294 7~1.387 3 mg/Cig,烟碱逐口释放量范围为 0.032 5~0.151 7 mg/Cig,各样品焦油、烟碱逐口释放量随抽吸口序的增加呈显著增加趋势。对照样品的焦油和烟碱方差分别是 0.067 2 和 0.000 9,均小于纸打孔样品,表明相对于纸打孔样品,对照样品逐口烟气释放量的变化趋势较为平缓。

与对照样品相比,纸打孔卷烟样品从燃烧端进入的空气流量被分割为从燃烧锥端和孔带处两部分进入,增加了烟气的稀释度;另一方面,纸打孔增加了纸通风率,改变了卷烟燃烧锥燃烧状态,氧气补给速率提升,引起卷烟烟丝在富氧状态下燃烧^[17],焦油释放量也相应降低。因此,纸打孔样品的焦油释放量有不同程度降低。

表 2 的结果显示,与对照样相比,纸打孔卷烟样品第 1 口的焦油释放量均明显降低,且随着孔带宽度的增加,P4~P6 第 1 口焦油释放量显著降低,P1~P3 第 1 口焦油释放量变化规律不够明显。随着抽吸口序的进行,烟支燃烧端向滤嘴端前移,燃烧锥接近或通过打孔位置,抽吸至第 3 口时,P1~P3 3 个样品的燃烧锥已全部通过打孔位置,P4~P6 3 个样品的燃烧锥接近最后一个打孔位置,打孔数目的减少,直接导致打孔对卷烟焦油释放量的影响进一步减小。因此,并非所有纸打孔样品的第 2 口焦油释放量均低于对照样品,抽吸至第 3 口时,纸打孔样品的焦油释放量与对照样品已无明显差异。

表 3 的数据显示,卷烟纸打孔,对于卷烟焦油释放量的影响较烟碱更加明显。P6 的焦油降幅高达 9.38%,而烟碱降幅仅为 0.46%,其第 2 口焦油降幅为 30.93%,烟碱释放量仅从 0.099 7 mg/Cig 降至 0.084 5 mg/Cig,降幅为 15.25%。与对照样品相比,纸打孔卷烟的烟碱总释放量变化幅度并不明显,P3 样品的烟碱总释放量变化幅度最大,也仅增加了 4.07%。这可能是烟气中的烟碱由烟草中的烟碱直接迁移而来^[18],盘纸打孔降低了卷烟燃烧锥的温度,致使焦油有所降低^[19],但是燃烧锥温度仍远高于烟碱的迁移温度(160~220 ℃)^[20]。

2.2 HCl 模式下焦油、烟碱释放量

表 4、5 给出了 HCl 模式下不同卷烟样品的焦油、烟碱逐

表 2 ISO 模式下不同卷烟样品烟气中焦油释放量

Table 2 The yield of tar in mainstream smoke of different cigarette samples under ISO regime

样品	逐口释放量/(mg·Cig ⁻¹)							抽吸口数	总释放量/ (mg·Cig ⁻¹)
	第 1 口	第 2 口	第 3 口	第 4 口	第 5 口	第 6 口	方差		
P0	0.615 5	0.814 5	1.108 4	1.148 6	1.313 2	0.838 7	0.067 2	5.63	5.838 9
P1	0.492 6	0.794 3	1.106 0	1.227 5	1.276 2	0.706 1	0.099 8	5.59	5.602 7
P2	0.439 4	0.820 9	1.164 9	1.199 4	1.387 3	0.781 3	0.120 8	5.64	5.793 1
P3	0.466 8	0.728 0	1.084 4	1.172 6	1.296 5	1.041 3	0.095 4	5.90	5.789 6
P4	0.475 1	0.849 8	1.136 5	1.166 9	1.319 7	0.904 6	0.090 4	5.73	5.852 7
P5	0.423 5	0.799 6	1.115 2	1.195 4	1.301 2	0.626 9	0.121 1	5.49	5.461 8
P6	0.294 7	0.562 6	0.942 8	1.049 3	1.168 0	1.273 6	0.142 8	5.97	5.291 0

表 3 ISO 模式下不同卷烟样品烟气中烟碱释放量

Table 3 The yield of nicotine in mainstream smoke of different cigarette samples under ISO regime

样品	逐口释放量/(mg·Cig ⁻¹)							抽吸口数	总释放量/ (mg·Cig ⁻¹)
	第 1 口	第 2 口	第 3 口	第 4 口	第 5 口	第 6 口	方差		
P0	0.057 1	0.099 7	0.126 0	0.127 5	0.142 2	0.096 2	0.000 9	5.63	0.648 6
P1	0.048 5	0.104 1	0.128 1	0.131 9	0.135 4	0.082 3	0.001 2	5.59	0.630 3
P2	0.045 1	0.109 3	0.133 7	0.130 4	0.151 7	0.092 0	0.001 4	5.64	0.662 2
P3	0.045 4	0.101 4	0.131 7	0.133 4	0.144 4	0.118 7	0.001 3	5.90	0.675 0
P4	0.048 0	0.112 2	0.131 8	0.129 8	0.142 5	0.110 0	0.001 2	5.73	0.674 3
P5	0.042 7	0.109 3	0.130 5	0.131 4	0.144 2	0.074 5	0.001 5	5.49	0.632 5
P6	0.032 5	0.084 5	0.124 9	0.125 5	0.132 5	0.145 7	0.001 8	5.97	0.645 6

表 4 HCI 模式下不同卷烟样品烟气中焦油释放量

Table 4 The yield of tar in mainstream smoke of different cigarette samples under HCI regime

样品	逐口释放量/(mg·Cig ⁻¹)										抽吸口数	总量/ (mg·Cig ⁻¹)
	第 1 口	第 2 口	第 3 口	第 4 口	第 5 口	第 6 口	第 7 口	第 8 口	第 9 口	第 10 口		
P0	1.566 1	1.645 7	1.988 8	2.262 7	2.231 8	2.346 1	2.304 7	1.866 9	0.856 2	/	8.25	17.069 0
P1	1.360 8	1.644 1	1.824 6	1.940 7	1.985 1	2.439 6	2.046 2	2.035 8	1.359 6	0.590 7	8.40	17.227 3
P2	1.479 6	1.748 5	2.057 6	2.142 3	2.435 8	2.345 1	2.399 0	2.368 8	1.027 4	/	8.43	18.004 1
P3	1.322 6	1.638 4	2.005 4	2.290 3	2.324 1	2.466 0	2.380 7	2.281 8	1.126 3	/	8.37	17.835 6
P4	1.544 7	1.721 0	2.038 6	2.212 9	2.378 0	2.513 9	2.360 0	2.429 4	0.991 4	/	8.36	18.189 8
P5	1.360 4	1.713 7	2.069 0	2.260 3	2.383 8	2.442 8	2.308 2	1.943 7	0.902 6	/	8.48	17.384 6
P6	1.029 2	1.346 6	1.869 7	2.098 5	2.157 3	2.304 4	2.141 7	2.017 4	1.841 8	0.652 8	9.15	17.459 4

表 5 HCI 模式下不同卷烟样品烟气中烟碱释放量

Table 5 The yield of nicotine in mainstream smoke of different cigarette samples under HCI regime

样品	逐口释放量/(mg·Cig ⁻¹)										抽吸口数	总量/ (mg·Cig ⁻¹)
	第 1 口	第 2 口	第 3 口	第 4 口	第 5 口	第 6 口	第 7 口	第 8 口	第 9 口	第 10 口		
P0	0.113 7	0.151 7	0.175 8	0.198 7	0.199 0	0.207 0	0.200 2	0.200 7	0.061 1	/	8.25	1.507 9
P1	0.088 9	0.145 1	0.164 7	0.181 2	0.207 9	0.196 8	0.195 3	0.181 8	0.115 1	0.044 1	8.40	1.520 8
P2	0.103 8	0.174 1	0.198 5	0.198 1	0.213 9	0.208 0	0.210 8	0.206 7	0.080 0	/	8.43	1.593 9
P3	0.121 1	0.126 0	0.209 1	0.208 5	0.211 2	0.219 2	0.216 0	0.204 4	0.092 8	/	8.37	1.608 4
P4	0.102 9	0.167 9	0.193 6	0.199 7	0.217 0	0.220 1	0.213 1	0.213 6	0.081 1	/	8.36	1.608 8
P5	0.088 7	0.161 9	0.197 2	0.205 1	0.205 3	0.217 9	0.200 3	0.173 6	0.064 6	/	8.48	1.514 7
P6	0.063 1	0.132 7	0.187 3	0.195 4	0.196 8	0.195 2	0.187 1	0.197 7	0.162 4	0.032 4	9.15	1.550 1

口释放量。由于采用了更小的抽吸频率、更大的抽吸容量以及滤嘴通风孔的完全封闭,样品的抽吸口数明显增加,焦油和烟碱释放量明显高于 ISO 模式下的释放量。对照样品 HCI 模式下焦油、烟碱释放量分别是 ISO 模式的 2.92、2.32 倍,P6 样品更是高达 3.30、2.40 倍。

与 ISO 模式不同,HCI 模式下各样品完整抽吸口序时(前 8 口),只有前 5 口的焦油和烟碱释放量随抽吸口序的增加而增加,第 7 口开始,基本呈现逐渐降低的趋势。这可能是随着抽吸口序的进一步增加,烟支变短,烟气在未燃烧烟支内部的沉积、冷凝等因素令抽吸燃烧期间压降升高、截留效应增加^[21-22]。

在 HCI 模式下,卷烟纸打孔对样品烟气中焦油和烟碱释放量与 ISO 模式有较大的区别。与对照样品相比,只有 P6 样品前 7 口的焦油释放量有一定降低,P1 样品前 5 口略有下降,但是两样品的总焦油释放量较对照样均有所升高,其中 P6 的焦油升高了 2.29%,P1 升高了 0.93%,其它 4 个样品总焦油和烟碱释放量均比对照样品高,焦油和烟碱增幅分别为 0.94%~6.56%和 0.45%~6.7%,表明在 HCI 模式下,卷烟纸打孔对于卷烟整体焦油和烟碱释放量有不利的影响。

2.3 2 种抽吸模式下焦油与烟碱释放量分析

ISO 模式下,P1~P6 样品前 3 口焦油释放量变化较为明显,因此,进一步比较分析了 2 种抽吸模式下前 3 口焦油逐口释放量的增长率。图 2 为不同卷烟样品两种抽吸模式下前 3 口烟气中焦油的逐口增长率。如图 2 所示,ISO 模式下第 1 口到第 2 口的增长率最高,其对照样增长率为 32.3%,P1~P6 增长率为 56.0%~90.9%,而 HCI 模式下对照样增长率只有 5.1%,P1~P6 增长率为 11.4%~30.8%,远低于 ISO 模式下的增长率;第 2 口到第 3 口,对照样增长率为 36.1%,打孔卷烟增长率为 33.7%~67.6%,纸打孔样品的增长率有所减小,HCI 模式下对照样增长率为 20.8%,打孔卷烟增长率为 11.0%~38.8%,缩小了与 ISO 模式增长率之间的差距;ISO 模式下第 3 口到第 4 口的增长率继续迅速降低,此时卷烟样品 HCI 模式下的增长率已与 ISO 模式相当。前 3 口焦油增长率的变化趋势反映了 ISO 模式下焦油逐口释放量的变化趋势较 HCI 模式大。

与对照样品相比,HCI 模式下,纸打孔样品的焦油和烟碱总释放量均有不同程度的升高。P4 样品的焦油增幅最大,达 6.57%,烟碱增幅达 6.69%。一方面是由于纸打孔时,静燃速率未受卷烟纸打孔的影响^[23],卷烟抽吸口数明显增加所致(表 5 中 P6 样品的抽吸口数较对照样增加了 0.9 口);另一方面,尽管 HCI 模式下,采用较高的抽吸容量,卷烟燃烧温度升高,而阴燃温度差异性不大^[19],抽吸结束后热气流降温速率较快,有利于挥发性成分的迅速冷凝,以及在下一口抽吸时向烟支下游的递送,同时,抽吸燃烧期间升温速率的升高,也进一步增加了烟气焦油释放量^[24]。

2.4 2 种抽吸模式下烟碱/焦油比分析

表 6 给出了 2 种抽吸模式下,烟气中烟碱/焦油比值的分析结果。从表 6 中可以看出,HCI 模式下,与对照样品相

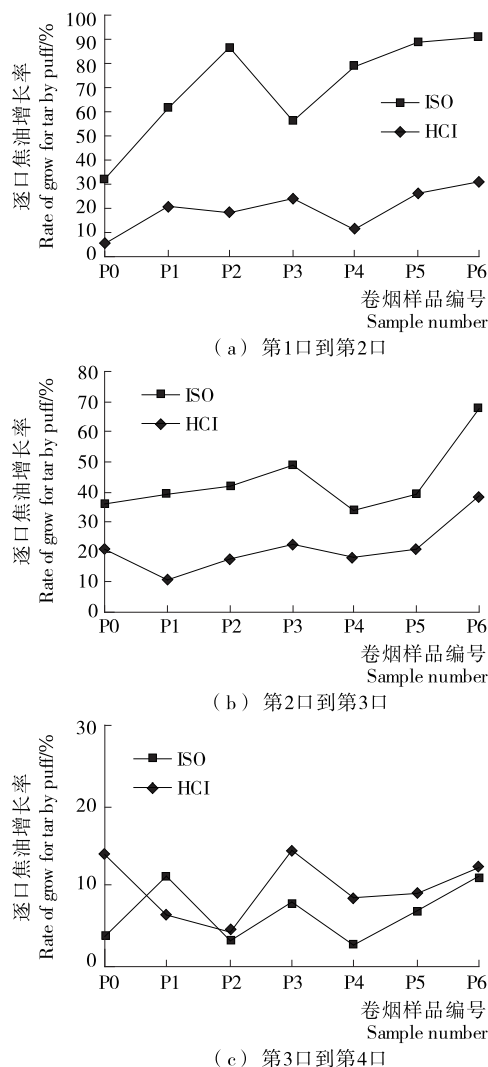


图 2 不同卷烟样品 2 种抽吸模式下前 3 口烟气中焦油的逐口增长率

Figure 2 The growth rate of tar in the first three puff with different cigarette samples under the two smoke regimes

比,总的烟碱/焦油比数值变化不大,变化范围为 0%~2.12%,但是无论是总烟碱/焦油比还是逐口烟碱/焦油比,打孔卷烟与对照样品均未呈现明显的变化规律。而在 ISO 模式下,纸打孔卷烟的总烟碱/焦油比均大于对照样品,且呈现打孔数目相同的情况下,总烟碱/焦油比随着孔带宽度的增加而增加,孔带宽度相同时,烟碱/焦油比随着打孔数目的增加而升高的趋势。ISO 模式下的逐口烟碱/焦油比值显示,针对完整抽吸口序(前 5 口),相同打孔数目下,随着孔带宽度的增加,P1~P3 样品第 2 口的烟碱/焦油比逐渐升高,第 3 口先降低后升高,第 4 口和第 5 口又逐渐升高。P4~P6 样品第 2 口和第 3 口的烟碱/焦油比逐渐升高,第 4 口先降低后升高,第 5 口又逐渐升高。如前文所述,相对于对照样品,打 3 个孔时,第 3 口为过渡抽吸口序,打 4 个孔时,第 4 口为过渡抽吸口序,纸打孔对卷烟燃烧状态的影响所致。有研究表明,烟草中烟碱保持一定水平,吸烟者抽吸低焦油卷

表 6 2 种模式下不同卷烟样品主流烟气烟碱/焦油比

Table 6 The nicotine/tar ratio in the mainstream smoke of different cigarette samples under the two smoke regimes

模式	样品	第 1 口	第 2 口	第 3 口	第 4 口	第 5 口	第 6 口	第 7 口	第 8 口	第 9 口	总量
ISO	P0	0.092 8	0.122 4	0.113 7	0.111 0	0.108 3	0.114 7	/	/	/	0.111 1
	P1	0.098 5	0.131 1	0.115 8	0.107 5	0.106 1	0.116 6	/	/	/	0.112 5
	P2	0.102 6	0.133 1	0.114 8	0.108 7	0.109 3	0.117 8	/	/	/	0.114 3
	P3	0.097 3	0.139 3	0.121 4	0.113 8	0.111 4	0.114 0	/	/	/	0.116 6
	P4	0.101 0	0.132 0	0.116 0	0.111 2	0.108 0	0.121 6	/	/	/	0.115 2
	P5	0.100 8	0.136 7	0.117 0	0.109 9	0.110 8	0.118 8	/	/	/	0.115 8
	P6	0.110 3	0.150 2	0.132 5	0.119 6	0.113 4	0.114 4	/	/	/	0.122 0
HCI	P0	0.072 6	0.092 2	0.088 4	0.087 8	0.089 2	0.088 2	0.086 9	0.107 5	0.071 4	0.088 3
	P1	0.065 3	0.088 3	0.090 3	0.093 4	0.104 7	0.080 7	0.095 4	0.089 3	0.084 7	0.088 3
	P2	0.070 2	0.099 6	0.096 5	0.092 5	0.087 8	0.088 7	0.087 9	0.087 3	0.077 9	0.088 5
	P3	0.091 6	0.076 9	0.104 3	0.091 0	0.090 9	0.088 9	0.090 7	0.089 6	0.082 4	0.090 2
	P4	0.066 6	0.097 6	0.095 0	0.090 2	0.091 3	0.087 6	0.090 3	0.087 9	0.081 8	0.088 4
	P5	0.065 2	0.094 5	0.095 3	0.090 7	0.086 1	0.089 2	0.086 8	0.089 3	0.071 6	0.087 1
	P6	0.061 3	0.098 5	0.100 2	0.093 1	0.091 2	0.084 7	0.087 4	0.098 0	0.088 2	0.088 8

烟时无代偿作用^[25],而且烟碱/焦油比与卷烟的香气、杂气、刺激性、余味等指标之间均呈极显著线性正相关关系^[26],即烟碱/焦油比在一定范围内增加时,卷烟的综合质量较好,设计低焦油卷烟时,应设法提高烟碱/焦油比的数值。本研究的纸打孔卷烟在焦油释放量降低的同时,烟碱/焦油比仍维持在较高的水平,可为低焦油细支卷烟的设计提供一定的技术支撑。

3 结论

ISO 模式下,卷烟纸打孔细支卷烟的焦油释放量整体呈现下降趋势,烟碱释放量无明显变化,打孔样品的总烟碱/焦油比均大于对照样品,且烟碱/焦油比与孔带宽度、打孔数目呈正比,即在焦油释放量降低的同时,烟碱/焦油比仍保持在较高水平,这可为有效解决低焦油卷烟烟气满足感提供技术支撑。HCI 模式下,卷烟纸打孔细支卷烟的焦油和烟碱总释放量均有不同程度的升高,且在完整抽吸口序下,第 6 口以后的逐口释放量呈现逐渐减小的趋势。一般说来,随着通风率的增加,焦油释放量降低;完整抽吸口序下,随着抽吸口序的增加,逐口释放量呈现增加趋势,本研究结论与此相左。这可能是在 HCI 模式下,卷烟纸打孔改变了卷烟的燃烧状态所致,下一步将针对 2 种抽吸模式下卷烟燃烧锥燃烧温度、逐口在线压降变化情况的差异性开展深入研究。

参考文献

[1] PLUNKETT S E, PARRISH M, SHAFER K, et al. Multiple-component analysis of cigarette combustion gases on a puff-by-puff basis using a dual infrared tunable diode laser system[J]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 1999, 3 758: 212-220.

[2] 于川芳, 罗登山, 王芳, 等. 卷烟“三纸一棒”对烟气特征及感官质量的影响: 一[J]. 中国烟草学报, 2001, 7(2): 1-7.

[3] 曹伏军, 解晓翠, 汪旭, 等. 在线激光打孔参数对卷烟通风率及常规烟气成分释放量的影响[J]. 烟草科技, 2014(11): 45-49.

[4] 金勇, 王诗太, 李克, 等. 接装纸打孔参数对卷烟烟气焦油及 7 种有害成分释放量影响的 PLS 回归分析[J]. 烟草科技, 2016, 49(4): 37-44.

[5] 赵乐, 彭斌, 于川芳, 等. 辅助材料设计参数对卷烟 7 种烟气有害成分释放量的影响[J]. 烟草科技, 2012(10): 46-50.

[6] 夏平宇, 王京武, 裴海波, 等. 接装纸通风率数学模型在混合型卷烟设计中的应用[J]. 烟草科技, 2009(8): 10-13.

[7] 蔡君兰, 韩冰, 张晓兵, 等. 滤嘴通风度对卷烟主流烟气中一些香味成分释放量的影响[J]. 烟草科技, 2011(9): 54-60.

[8] JING Yan-qi, LI Guang-liang, LIU Jian-jun, et al. The effects of filter ventilation on flavor constituents in cigarettes smoke[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, 79: 35-42.

[9] 尹升福, 谭蓉, 银董红, 等. 金属盐对卷烟纸裂解致孔及主流烟气中 CO 释放量的影响[J]. 烟草科技, 2016, 49(8): 35-43.

[10] 刘源, 银董红, 尹升福, 等. 卷烟纸裂解致孔对主流烟气中 HCN 释放量的影响[J]. 烟草科技, 2016, 49(12): 46-53.

[11] 胡启秀, 赵继俊, 向兰康. HCI 模式下吸烟机类型对常规烟气成分释放量及精密度的影响[J]. 烟草科技, 2014(1): 61-66.

[12] 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.

[13] 杨飞, 李中皓, 唐纲岭. 两种抽吸模式下卷烟主流烟气成分释放量的差异[J]. 烟草科技, 2016, 49(2): 55-61.

[14] ROEMER E, STABBERT R, RUSTEMEIER K, et al. Chemical composition, cytotoxicity and mutagenicity of smoke from US commercial and reference cigarettes smoked under two sets of machine smoking conditions[J]. Toxicology, 2004, 195(1): 31-52.

[15] LI Xiang, SHANG Ping-ping, PENG Bin, et al. Effects of smoking regimens and test material format on the cytotoxicity of mainstream cigarette smoke[J]. Food and Chemical Toxicol-

- ogy, 2012, 50(3/4): 545-551.
- [16] XIE Fu-wei, YU Jing-jing, WANG Sheng, et al. Rapid and simultaneous analysis of ten aromatic amines in mainstream cigarette smoke by liquid chromatography/electrospray ionization tandem mass spectrometry under ISO and "Health Canada intensive" machine smoking regimens[J]. *Talanta*, 2013, 115: 435-441.
- [17] BAKER R R. The kinetics of tobacco pyrolysis[J]. *Thermo-chimica Acta*, 1976, 17(1): 29-63.
- [18] DAVIS B R, HOUSEMAN T H, RODERICK H R. Studies of cigarette smoke transfer using radioisotopically labelled tobacco constituents Part III: The use of dotriacontane-16,17-14C as a marker for the deposition of cigarette smoke in the respiratory system of experimental animals[J]. *Beiträge Zur Tabakforschung*, 1973, 7(3): 148-153.
- [19] 郑赛品, 顾文博, 张建平, 等. 抽吸参数对卷烟燃烧温度及主流烟气中某些化学成分的影响[J]. *中国烟草学报*, 2007, 13(2): 6-11.
- [20] SEEMAN J I, FOURNIER J A, WAYMACK B E, et al. Thermal transfer of nicotine and nicotine acid salts to nicotine in the gas phase[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1999, 47(12): 5 133-5 145.
- [21] BAKER R R. Contribution to the draw resistance of aburning cigarette[J]. *Beiträge Zur Tabakforschung*, 1975, 8(3): 124-131.
- [22] 朱怀远, 张媛, 庄亚东, 等. 卷烟抽吸期间区带压降与温度的关系及对烟气常规成分的影响[J]. *烟草科技*, 2016, 49(2): 47-54.
- [23] 闫克玉. 卷烟烟气化学[M]. 郑州: 郑州大学出版社, 2002: 122-123.
- [24] OZBAY N, PÜTÜN A E, PÜTÜN E. Bio-oil production from rapid pyrolysis of cottonseed cake: product yields and compositions[J]. *International Journal of Energy Research*, 2010, 30(7): 501-510.
- [25] 刘景英. 吸烟者焦油代偿现象的配对双盲研究[J]. *华南预防医学*, 2003, 29(4): 41-42.
- [26] 王建民, 李晓, 闫克玉, 等. 烟碱/焦油比与卷烟吸味品质之间的关系[J]. *烟草科技*, 2002(5): 8-11.

(上接第 105 页)

- [17] TANG Ju-ming. Unlocking potentials of microwaves for food safety and quality[J]. *Journal of Food Science*, 2015, 80(8): E1 776-E1 793.
- [18] 巨汉基. 微波炉腔体电磁场分布仿真及尺寸结构优化设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2008: 30-43.
- [19] 宋瑞凯, 张付杰, 杨薇, 等. 矩形微波腔体双馈口位置与加热效率仿真及验证[J]. *昆明理工大学学报: 自然科学版*, 2017, 42(6): 51-57.
- [20] JIANG Hao, ZHANG Min, LIU Yin, et al. The energy consumption and color analysis of freeze/microwave freeze banana chips[J]. *Food and Bioproducts Processing*, 2013, 91(4): 464-472.
- [21] LIU Shi-xiong, OGIWARA Y, FUKUOKA M, et al. Investigation and modeling of temperature changes in food heated in a flatbed microwave oven[J]. *Journal of Food Engineering*, 2014, 131(3): 142-153.
- [22] GEEDIPALLI S S R, RAKESH V, DATTA A K. Modeling the heating uniformity contributed by a rotating turntable in microwave ovens[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 82(3): 359-368.
- [23] PANDIT R B, TANG Ju-ming, LIU Frank, et al. Development of a novel approach to determine heating pattern using computer vision and chemical marker (M-2) yield[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 78(2): 522-528.
- [24] PANDIT R B, TANG J, LIU Frank, et al. A computer vision method to locate cold spots in foods in microwave sterilization processes[J]. *Pattern Recognition*, 2007, 40(12): 3 667-3 676.
- [25] ZHANG Wen-jia, LUAN Dong-lei, TANG Ju-ming, et al. Dielectric properties and other physical properties of low-acyl gellan gel as relevant to microwave assisted pasteurization process[J]. *Journal of Food Engineering*, 2015, 149: 195-203.

(上接第 203 页)

- [11] 杨铭铎, 马雪, 贾庆胜. 复合因素对非油炸方便面品质影响的研究[J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(11): 69-73, 79.
- [12] 王立, 陈敏, 赵俊丰, 等. 复合磷酸盐在面制品中的应用现状及发展趋势[J]. *食品与机械*, 2017, 33(1): 195-200.
- [13] 李小平, 周晓倩, 杨晓霁, 等. 添加蚕蛹蛋白对非油炸方便面生产工艺和品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2011, 32(12): 377-381.
- [14] 王萍, 易建勇, 毕金峰, 等. 菠萝蜜真空冷冻-变温压差膨化联合干燥工艺优化[J]. *中国食品学报*, 2016, 16(11): 129-136.
- [15] ALBERTI A, ZIELINSKI A A, ZARDO D M, et al. Optimisation of the extraction of phenolic compounds from apples using response surface methodology[J]. *Food Chemistry*, 2014, 149(4): 151-158.
- [16] 赵应征, 鲁翠涛, 梅兴国. 常用多指标综合评价法在优选实验中的应用[J]. *医学研究生学报*, 2004, 17(7): 624-626.
- [17] MARCHETTI L, ANDRAS S C, CALIFANO A N. Low-fat meat sausages with fish oil: optimization of milk proteins and carrageenan contents using response surface methodology[J]. *Meat Science*, 2014, 96(3): 1 297-1 303.
- [18] 陈昌勇, 何腊平, 李翠芹, 等. Plackett-Burman 设计和响应面法优化速冻紫苏籽肉丸的配方[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(4): 259-265.
- [19] NIC PHIARAI S B P, SCHEHL B D, OLIVEIRA J C, et al. Use of response surface methodology to investigate the effectiveness of commercial enzymes on buckwheat malt for brewing purposes[J]. *Journal of the Institute of Brewing*, 2015, 112(4): 324-332.
- [20] 马浩然, 温雪瓶, 严俊波, 等. 亲水性胶体对非油炸杂粮方便面原料糊化特性及品质影响[J]. *粮食与油脂*, 2015(12): 45-48.
- [21] 张海芳, 胡美娟, 赵丽芹. 不同增稠剂对非油炸荞麦方便面粉质的影响研究[J]. *食品工业*, 2015(12): 43-45.