

烤烟型细支与常规卷烟烟气中 9 种主要成分的逐口释放量比较

Analysis of puff-by-puff release of nine main components in mainstream smoke of typical flue-cured slim and normal cigarettes

刘 琪 马梦婕 龚珍林 袁益来

LIU Qi MA Meng-jie GONG Zhen-lin YUAN Yi-lai

朱怀远 吴 洋 廖惠云

ZHU Huai-yuan WU Yang LIAO Hui-yun

(江苏中烟工业有限责任公司, 江苏 南京 210019)

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

摘要:为研究不同圆周卷烟主流烟气主要成分逐口释放的差异,对同一烤烟型配方烟丝的细支卷烟和常规卷烟主流烟气中焦油、烟碱、CO、NNK、B[a]P、苯酚、巴豆醛、HCN 和 NH_3 9 种主要成分逐口释放量进行量化分析。结果显示:① 细支卷烟和常规卷烟的平均抽吸口数存在极显著差异,分别为 5.49, 6.72 口;各成分在细支卷烟中的逐口释放量及总量均低于常规卷烟,其中焦油、烟碱、NNK、B[a]P、苯酚、HCN 和 NH_3 成分在细支卷烟中的波动均小于常规卷烟,而 CO 和巴豆醛则相反;② 随着抽吸口数的增大,细支卷烟和常规卷烟中焦油、烟碱、CO、NNK、B[a]P、苯酚、HCN 和 NH_3 成分均逐步增加,仅巴豆醛第一口释放量大于第二口;③ 常规卷烟烟气中 9 种主要成分的单口烟气释放量随抽吸口数递增而增加的趋势整体上更显著于细支卷烟,而在控制焦油因素情况下,细支卷烟各成分逐口释放量与抽吸口数相关性发生变化的程度更甚于常规卷烟。

关键词: 细支卷烟; 常规卷烟; 主流烟气; 主要成分; 逐口分析

Abstract: In order to investigate the difference of the puff-by-puff release of nine major components (tar, nicotine, CO, NNK, B[a]P, phenol, crotonaldehyde, HCN and NH_3) in mainstream smoke of slim and normal cigarettes, typical flue-cured cigarette

samples from same cut tobacco were smoked by smoking machine under ISO. Results showed that: ① The average puffs of slim and normal cigarettes were 5.49 and 6.72 respectively, which showed there were significant statistical differences. In general, the puff-by-puff and total release of all components from slim cigarette were lower than from normal cigarette, and puff-by-puff release deviations of tar, nicotine, NNK, B[a]P, phenol, HCN and NH_3 in slim cigarette were smaller than normal cigarettes, while the law of CO and crotonaldehyde were opposite; ② With the proceeding of puffing, the puff-by-puff release of tar, nicotine, CO, NNK, B[a]P, phenol, HCN and NH_3 release per puff increased in both slim and normal cigarettes, except the crotonaldehyde release of the first puff; ③ The correlation trend between puff-by-puff yield of nine main components and puff number in normal cigarette were more significant than slim cigarette, while the factor of tar was controlled, the degree of change in correlation was opposite.

Keywords: slim cigarette; normal cigarette; mainstream smoke; main components; puff-by-puff analysis

卷烟烟气成分复杂,一般将焦油、烟碱、CO、HCN、 NH_3 、NNK、B[a]P、苯酚和巴豆醛 9 种主要成分作为表征卷烟烟气危害体系的化合物,并对常规卷烟烟气及逐口烟气释放量进行了大量研究^[1-3]。相比于常规卷烟,细支卷烟具有圆周小、焦油和烟碱量较低等特点^[4-5],在满足消费者吸食需求基础上,其烟叶原料和辅材料明显降低,烟气中有害物质释放量更少。近年来,中国细支卷烟发展迅速^[6],但关于细支卷烟主流烟气中有害成分释放量的研究相对较少。Siu 等^[4]研究表明超细卷烟主流

基金项目: 江苏中烟工业有限责任公司科技创新项目(编号: 201703, 201704)

作者简介: 刘琪,女,江苏中烟工业有限责任公司工程师,硕士。

通信作者: 廖惠云(1979—),男,江苏中烟工业有限责任公司高级工程师,硕士。E-mail: liaohy@jszygs.com

收稿日期: 2020-03-04

烟气的一氧化碳、羰基化合物及芳香胺等多种有害成分释放量明显降低;Ashley 等^[7]研究发现 HCl、MASS、ISO 3 种抽吸模式下,较细烟支所产生的一氧化碳、乙醛、氢氰酸、苯及烟草特有亚硝胺的含量较少。甘学文等^[8]对比研究了 ISO 模式和 HCl 模式对超细卷烟常规成分的影响;刘彤等^[9]基于单光子飞行时间质谱在线逐口分析了细支烟主流烟气中 7 种挥发性有机化合物;田忠等^[10]探索了制丝关键工序对细支卷烟燃烧温度、烟气成分以及感官质量的影响;边照阳等^[5]研究了 ISO 模式和 HCl 模式下细支卷烟主流烟气中 15 种有害成分的释放量规律;葛畅等^[11]从单支卷烟和单位焦油的角度考察了细支和常规卷烟主流烟气常规指标及中性致香成分的差异;施丰成等^[12]对比分析了接装纸透气度变化对常规、中支及细支卷烟物理指标、感官质量、烟气指标、烟气化学成分的影响;廖惠云等^[13]考察了细支与常规卷烟主流烟气中生物碱的逐口释放量变化,并对 8 个不同卷烟样品进行了对比分析;杨松等^[14]探讨了细支和常规卷烟主流烟气常规成分和 5 种关键烤烟甜香味成分逐口释放量的差异;袁海霞等^[15]设计了适应细支卷烟大流量叶丝风选的三级柔性风选系统。丁美宙等^[16]对比研究了丝状梗丝和片状梗丝与叶丝在加工过程中的混合均匀性,以及 2 种梗丝对细支卷烟物理、烟气、有害成分释放、感官、燃烧等方面及质量稳定性的影响。

细支卷烟烟支细长、横截面小、吸阻较大、抽吸气流速度大,理论上决定了烟气逐口成分释放规律区别于常规卷烟,但目前还缺乏实际的数据支撑^[11]。因此,在保持配方烟丝一致和辅材尽量相同的情况下,试验拟以典型的不同盒标焦油量烤烟型细支卷烟和常规卷烟为对象,考察逐口烟气中焦油、烟碱及 7 种危害性指标释放量的规律,并对比分析圆周对逐口烟气释放量的影响,旨在进一步了解细支卷烟的烟气释放特征。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

1.1.1 卷烟样品

34 个不同品牌规格细支卷烟、85 个不同品牌规格常规卷烟;江苏中烟工业有限责任公司;

典型烤烟型细支卷烟、常规卷烟:按同一配方烟丝卷制而成,相关参数见表 1。

1.1.2 试剂

- 正十七烷:标准物质,日本 TCI 公司;
- 烟碱:标准物质,加拿大 TRC 公司;
- B[a]P、B[a]P-d₁₂(内标):标准物质,美国 Sigma 公司;
- 苯酚:标准物质,美国 AccuStandard 公司;
- NH₄⁺标准溶液:国家标准物质中心;
- NNK、NNK-d₄(内标):标准物质,德国 Dr. Ehrenstorfer 公司;
- 环己烷、乙醇、异丙醇、甲基磺酸:色谱纯,德国 Chemicell 公司;
- 超纯水:电阻率 18.2 MΩ·cm,自制;
- 2,4-二硝基苯肼、吡啶:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;
- 邻苯二甲酸氢钾:分析纯,天津市光复科技发展有限公司;
- 氢氧化钠:分析纯,重庆川东化工集团有限公司;
- 氯胺-T:分析纯,成都市科龙化工试剂厂;
- 1,3-二甲基巴比妥酸:分析纯,美国 Alfa Aesar 公司;
- 盐酸:分析纯,德国 CNW 公司;
- 乙酸铵:分析纯,上海晶纯生化科技股份有限公司。

1.1.3 主要仪器设备

- 转盘式吸烟机:RM20H 型,德国 Borgwaldt 公司;
- 气相色谱仪:7890A 型,美国 Agilent 公司;
- 气相色谱质/谱联用仪:7890A/5975C 型,美国 Agilent 公司;
- 高效液相色谱仪:1200 型,美国 Agilent 公司;
- 连续流动分析仪:SAN++ 型,荷兰 Skalar 公司;
- 离子色谱仪:ICS-5000 型,美国 Dionex 公司;
- 液相色谱/三重四极杆质谱联用仪:1260/6460 型,美国 Agilent 公司;
- 旋转蒸发仪:R-215 型,瑞士 Büchi 公司;
- 回旋式振荡器:HY-5A 型,金坛市旭生仪器厂;
- 超声波发生器:KQ-500DE 型,昆山市超声仪器有限公司;
- 超纯水系统:Milli-Q Reference 型,美国 Millipore 公司;
- 电子天平:T201 型,瑞士 Mettler Toledo 公司。

表 1 试验卷烟物理指标及盒标烟气指标

Table 1 Physical and smoke index of test cigarette samples

样品	烟支物理指标					烟气释放量/mg		
	长度/mm	圆周/mm	烟蒂长度/mm	烟丝重量/g	滤嘴通风率/%	焦油	烟碱	CO
细支卷烟	30+67	17	38	0.53(0.36)	40	6	0.6	5
常规卷烟	24+60	24	33	0.88(0.66)	20	10	1.0	10

1.2 方法

参照 GB/T 16447—2004 的方法平衡卷烟样品。ISO 模式下,根据 GB/T 19609—2004 对 34 个细支卷烟和 85 个常规卷烟样品进行抽吸,采集样品抽吸口数,并用吸烟机标配的逐口捕集单元(剑桥滤片)捕集卷制的细支和常规卷烟主流烟气颗粒物中焦油、烟碱,以及 NNK、B[a]P、苯酚和巴豆醛 6 种目标成分,采用递减法逐口捕集主流烟气中 CO、HCN 和 NH₃,其中使用剑桥滤片和吸收瓶捕集气、颗粒物中 HCN 和 NH₃。主流烟气中目标物的处理手段及分析方法见表 2。

1.3 数据处理

所有样品平行测定两次。采用 SPSS 19.0 软件对不同圆周卷烟抽吸口数对比、成分逐口释放量数据描述统计,以及成分逐口释放量与抽吸口数的相关性进行系统分析;采用 Microsoft Excel 软件对成分逐口释放特征进行比较。

2 结果与讨论

2.1 不同圆周卷烟抽吸口数对比

由图 1 可知,细支卷烟和常规卷烟样品平均抽吸口

数分别为 5.49,6.72,细支卷烟抽吸口数约为常规卷烟的 82%,*t* 检验结果显示 $P=0.000$ (双侧) <0.05 ,说明细支卷烟与常规卷烟抽吸口数量存在极显著差异,可能是细支卷烟圆周较常规卷烟大幅降低,圆周与烟柱截面积比值增大,抽吸期间更大比例的烟草与外部空气接触,导致抽吸和阴燃期间烟柱长度的消耗速率(直线燃烧速率)上升。后续可规定细支卷烟和常规卷烟的抽吸口数分别为 5,6 口。

2.2 主要成分逐口释放量数据描述统计

由表 3 可知,不同卷烟样品主流烟气中 9 种目标成分的逐口释放量变化较大,细支卷烟主流烟气中各目标成分的释放量均值均小于常规卷烟,其释放量中位数、最小值、最大值及逐口释放量总和也均小于常规卷烟,与 Siu 等^[4,17]的结论相符。经估算,以样品卷烟的烟丝质量/抽吸口数,得出细支卷烟单口烟气中配方烟丝的平均燃烧消耗值约为常规卷烟的 66%,间接佐证了 Perfetti 等^[18]指出的有关随着烟支圆周的下降,抽吸和阴燃期间烟柱长度的消耗速率(直线燃烧速率)上升,而烟柱质量的消耗速率(质量燃烧速率)下降的结果。相比于常规卷

表 2 卷烟主流烟气中 9 种主要成分逐口释放量测试方法

Table 2 Analysis conditions of nine main components from puff-by-puff mainstream cigarette smoke

指标	烟支数量	样品处理	参照方法
焦油	20	测试水分时,用 25 mL 含内标的异丙醇作萃取剂	GB/T 19609—2004
烟碱	20	用 25 mL 含内标的异丙醇作萃取剂	GB/T 23355—2009
CO	20		GB/T 23356—2009
NNK	20	用 10 mL 含氘代内标的 0.1 mol/L 乙酸铵水溶液作萃取剂	GB/T 23228—2008
B[a]P	20	捕集滤片中加入 1 mL 氘代内标和 10 mL 环己烷	GB/T 21130—2007
苯酚	4	用 10 mL 1%乙酸—水溶液作萃取剂	YC/T 255—2008
巴豆醛	5	用 25 mL 2%吡啶/乙腈溶液为萃取剂	YC/T 254—2008
HCN	第 1 口为 8,其余为 4	第 1~2 口气、粒两相萃取液体积为 15 mL,其余口数为 30 mL	YC/T 253—2008
NH ₃	第 1 口为 8,其余为 4	气、粒两相各用 20 mL 吸收液萃取。细支卷烟第 1~3 口移取 10 mL 萃取液,其余口数各移取 5 mL 萃取液,常规卷烟第 1~4 口移取 10 mL 萃取液,其余口数各移取 5 mL 萃取液,合并置于 25 mL 容量瓶、定容	YC/T 377—2010

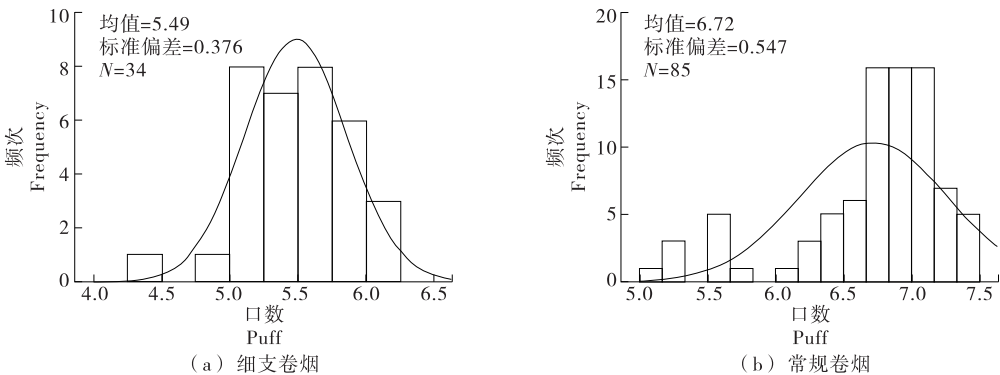


图 1 ISO 抽吸模式下的抽吸口数分布直方图

Figure 1 Distribution histogram of puff number from slim and normal cigarette under ISO mode

表 3 逐口烟气中 9 种主要成分描述统计结果[†]

Table 3 Statistical results of nine main components from puff-by-puff smoke of slim and normal cigarette

成分	样品	均值	标准误差	中位数	众数	方差	极差	最小值	最大值	求和
焦油	细支	1.23	0.145	1.33	# N/A	0.105	0.79	0.77	1.56	6.14
	常规	1.53	0.152	1.62	# N/A	0.139	1.03	0.93	1.96	9.18
烟碱	细支	0.11	0.016	0.13	# N/A	0.001	0.09	0.05	0.14	0.55
	常规	0.14	0.017	0.15	# N/A	0.002	0.12	0.07	0.19	0.83
CO	细支	0.96	0.123	1.09	# N/A	0.076	0.63	0.62	1.25	4.79
	常规	1.53	0.099	1.47	1.34	0.059	0.60	1.33	1.93	9.19
NNK	细支	0.54	0.078	0.64	# N/A	0.030	0.42	0.27	0.69	2.71
	常规	0.77	0.108	0.77	# N/A	0.070	0.77	0.44	1.21	4.62
B[a]P	细支	0.94	0.017	0.95	# N/A	0.001	0.09	0.90	0.99	4.72
	常规	1.44	0.065	1.46	# N/A	0.025	0.41	1.22	1.63	8.62
苯酚	细支	2.40	0.360	2.47	# N/A	0.648	2.11	1.08	3.19	12.00
	常规	3.26	0.495	3.56	# N/A	1.471	3.11	1.14	4.25	19.56
巴豆醛	细支	1.90	0.127	1.96	2.03	0.080	0.73	1.47	2.20	9.51
	常规	2.10	0.076	2.03	# N/A	0.035	0.45	1.92	2.37	12.61
HCN	细支	9.85	1.452	7.77	# N/A	10.538	7.30	7.49	14.79	49.24
	常规	12.49	1.744	10.33	# N/A	18.258	10.81	9.47	20.28	74.96
NH ₃	细支	0.93	0.124	0.78	# N/A	0.077	0.64	0.73	1.37	4.67
	常规	1.07	0.146	1.03	# N/A	0.128	0.92	0.74	1.66	6.42

[†] 细支卷烟和常规卷烟的观测数分别为 5,6。

烟,抽吸期间配方烟丝燃烧消耗值的降低,使得细支卷烟逐口烟气中的焦油、烟碱、CO 等主要有毒成分释放量也随之下降。

细支卷烟中焦油、烟碱、NNK、B[a]P、苯酚、HCN 和 NH₃ 7 种成分的极差、均值、标准误差、方差均小于常规卷烟。综合离散指标结果,说明焦油、烟碱、NNK、B[a]P、苯酚、HCN 和 NH₃ 7 种成分在细支卷烟逐口烟气之间的释放量波动较常规卷烟更为稳定,而 CO 和巴豆醛的则相反,主要原因可能源于不同圆周卷烟之间主流烟气中气、粒两相的物质递送存在差异。研究^[19]表明,焦油、烟碱、NNK、B[a]P、苯酚以及 HCN、NH₃ 等成分均全部或大部分分布于主流烟气粒相中,而 CO 和巴豆醛则分布于气相中,加之细支卷烟吸阻及其波动性较常规卷烟大,对逐口烟气递送中气相物质的影响可能甚于粒相物质,进而使得 CO 和巴豆醛在细支卷烟烟气逐口释放波动较常规卷烟大,而其他 7 种成分则相反。

此外,常规卷烟的 CO 和细支卷烟的巴豆醛分别存在众数,仅说明该样品烟气中此成分逐口释放量一定程度上较其他成分变化小,关于细支与常规卷烟在该统计指标之间的差异有待进一步研究。

2.3 主要成分逐口释放特征比较

由图 2 可知,随着抽吸口数的增加,除个别数据(细支卷烟中第 5 口苯酚释放量)外,细支卷烟和常规卷烟主

流烟气中的焦油、烟碱、CO、NNK、B[a]P、苯酚、HCN 和 NH₃ 8 种成分大体呈逐步增加的趋势,而巴豆醛第 1 口的释放量大于第 2 口,与文献[20]的结论较为一致,而与文献[21]中有关巴豆醛第 1 口释放量的结论不一致,可能与卷烟燃吸所采用的点燃方式不同有关。除少部分口数释放量(巴豆醛和 HCN 的第 4 口,第 5 口,以及 NH₃ 的第 5 口)外,细支卷烟的其余绝大部分逐口释放量均小于常规卷烟,各成分逐口释放量总和均小于常规卷烟,说明相比于常规卷烟,细支卷烟烟气中有害成分的释放量有不少幅度降低。

2.4 主要成分逐口释放量与抽吸口数的相关性

由表 4 可知,细支卷烟中 9 种主要成分逐口释放量与抽吸口数相关性系数为 0.608~0.986,表明整体上细支卷烟烟气中 9 种主要成分的单口烟气释放量随抽吸口数递增而增加,其中焦油、B[a]P 呈极显著正相关,烟碱、CO、NNK、HCN 和 NH₃ 呈显著正相关,苯酚和巴豆醛的正相关性一般。常规卷烟的相关性系数除巴豆醛为 0.009 外,其他的为 0.867~0.992,其中焦油、烟碱、CO、NNK、B[a]P 和 NH₃ 呈极显著正相关,苯酚和 HCN 呈显著正相关,巴豆醛的正相关性较小。相比于细支卷烟,常规卷烟烟气中 9 种主要成分的单口烟气释放量随抽吸口数递增而增加的趋势整体上更显著。

不同圆周卷烟焦油逐口释放量与抽吸口数存在极显

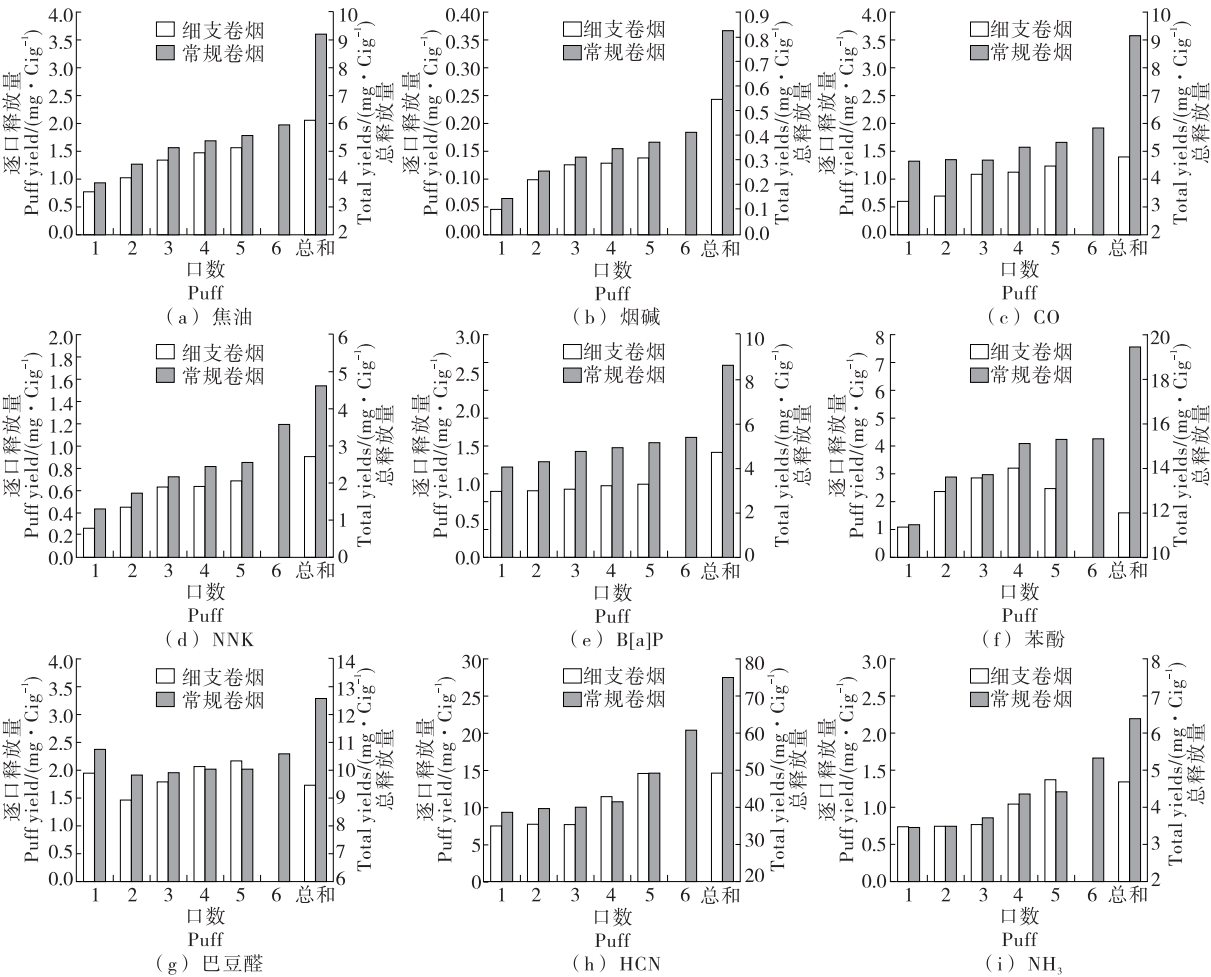


图 2 逐口烟气中 9 种主要成分的逐口释放量及总释放量

Figure 2 Single puff and total yields of of nine main components in mainstream smoke of slim and normal cigarette

表 4 主要成分逐口释放量与抽吸口数的相关性[†]

Table 4 Analysis of correlation between puff-by-puff yield of nine main components and puff number

样品	控制变量	焦油	烟碱	CO	NNK	B[a]P	苯酚	巴豆醛	HCN	NH ₃
细支 卷烟	无	相关性	0.977 * *	0.919 *	0.957 *	0.925 *	0.986 * *	0.703	0.608	0.903 *
		显著性	0.004	0.027	0.011	0.024	0.002	0.185	0.276	0.036
	焦油	相关性	-0.577	-0.034	-0.887	0.714	-0.795	0.602	0.992 * *	0.993 * *
		显著性		0.423	0.966	0.113	0.286	0.205	0.398	0.007
常规 卷烟	无	相关性	0.974 * *	0.959 * *	0.930 * *	0.963 * *	0.992 * *	0.914 *	0.009	0.867 *
		显著性	0.001	0.002	0.007	0.002	0.000	0.011	0.987	0.025
	焦油	相关性	-0.635	0.919 *	0.607	0.828	-0.267	0.828	0.850	0.841
		显著性		0.250	0.027	0.278	0.083	0.664	0.084	0.074

[†] * * 在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

著正相关。由偏相关统计可知,相比于无控制焦油情况下,细支卷烟中烟碱、CO、NNK、苯酚的相关性均发生了正负反转,B[a]P 的相关性稍有降低,巴豆醛的变化较小,HCN 和 NH₃ 的变化为极显著正相关。常规卷烟中

仅烟碱和苯酚的相关性发生了正负反转,巴豆醛的相关性有所增加,其余各指标则略有不同程度的降低。综上,焦油对细支卷烟中主要成分逐口释放量与抽吸口数之间相关性的影响更甚于常规卷烟。

3 结论

以同一烤烟型配方烟丝的细支卷烟和常规卷烟为对象,量化分析逐口烟气中焦油、烟碱、CO、NNK、B[a]P、苯酚、巴豆醛、HCN 和 NH_3 9 种主要成分的释放量,并从不同圆周卷烟抽吸口数、逐口数据描述统计、逐口释放量特征,以及逐口释放量与抽吸口数之间的相关性等角度考察了细支卷烟与常规卷烟之间的差异。结果表明:① 细支卷烟和常规卷烟的平均抽吸口数存在极显著差异,分别为 5.49, 6.72 口,各成分在细支卷烟中的逐口释放量及其总量均低于常规卷烟;② 细支卷烟中焦油、烟碱、NNK、B[a]P、苯酚、HCN 和 NH_3 等成分的波动小于常规卷烟,而 CO 和巴豆醛的则相反;③ 随着抽吸口数的增大,细支卷烟和常规卷烟中的焦油、烟碱、CO、NNK、B[a]P、苯酚、HCN 和 NH_3 等成分大体呈逐步增加的趋势,唯独巴豆醛的第 1 口释放量大于第 2 口;④ 常规卷烟烟气中 9 种主要成分的单口烟气释放量随抽吸口数递增而增加的趋势整体上更显著于细支卷烟,而在控制焦油情况下,细支卷烟各成分逐口释放量与抽吸口数相关性发生变化的程度更甚于常规卷烟。

参考文献

- [1] 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, 42(2): 5-15.
- [2] 彭斌, 赵乐, 孙学辉, 等. 基于多目标决策的卷烟危害性评价[J]. 烟草科技, 2010, 43(12): 31-35.
- [3] 张霞, 刘巍, 张涛, 等. 烟叶原料对卷烟主流烟气 7 项有害成分释放量的影响研究[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(6): 1-8.
- [4] SIU M, MLADJENOVIC N, SOO E. The analysis of mainstream smoke emissions of Canadian 'super slim' cigarettes[J]. Tobacco Control, 2013, DOI: 10.1136/tobaccocontrol-2012-050450.
- [5] 边照阳, 王颖, 李中皓, 等. 细支卷烟主流烟气有害成分释放量的分析[J]. 中国烟草学报, 2016, 22(5): 33-40.
- [6] 王斌. 国产细支烟发展思路探讨: 以江苏中烟为例[J]. 现代商贸工业, 2015, 36(2): 4-5.
- [7] KASHLEY M, DIXON M, PRASAD K. Relationship between cigarette format and mouth-level exposure to tar and nicotine in smokers of Russian king-size cigarettes[J]. Regul Toxicol Pharmacol, 2014, 70(1): 430-437.
- [8] 甘学文, 胡启秀, 蒋锦锋, 等. HCl 模式对超细卷烟常规烟气成分测试结果的影响[J]. 烟草科技, 2014, 47(7): 40-44.
- [9] 刘彤, 陈欢, 韩书磊, 等. 单光子飞行时间质谱在线逐口分析细支烟主流烟气中 7 种挥发性有机化合物: 中国, 104833719 A[P]. 2015-08-12.
- [10] 田忠, 陈闯, 许宗保, 等. 制丝关键工序对细支卷烟燃烧温度及主流烟气成分的影响[J]. 中国烟草学报, 2015, 21(6): 19-26.
- [11] 葛畅, 赵明月, 胡有持, 等. 细支与常规卷烟主流烟气常规指标及中性致香成分对比分析[J]. 烟草科技, 2017, 50(4): 43-50.
- [12] 施丰成, 罗诚, 李东亮, 等. 接装纸透光度对不同规格卷烟感官质量和烟气化学成分的影响分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(12): 73-80.
- [13] 廖惠云, 秦艳华, 张华, 等. GC-MS/MS 法分析细支与常规卷烟主流烟气中生物碱的逐口释放量[J]. 烟草科技, 2018, 51(6): 64-72.
- [14] 杨松, 赵晓东, 田海英, 等. 细支和常规卷烟主流烟气常规成分和 5 种关键烤甜香味成分逐口释放量的差异分析[J]. 中国烟草学报, 2019, 25(5): 1-9.
- [15] 袁海霞, 郑茜, 张胜华, 等. 适应细支卷烟加工特性的柔性风选系统优化设计[J]. 食品与机械, 2019, 35(9): 122-126.
- [16] 丁美宙, 刘欢, 刘强, 等. 梗丝形态对细支卷烟加工及综合质量的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(9): 197-202.
- [17] IRWIN W D E. The effects of circumference on mainstream delivers and composition: Progress report 2[R/OL]. Southampton: BritishAmerican Tobacco, 1989. [2020-02-13]. <http://industrydocuments.library.ucsf.edu/tobacco/docs/lnvv0205>.
- [18] PERFETTI P F, TOWNSEND D E, TAYLOR J N. The effect of circumference on cigarette burn rates and deliveries: RJRT Report [R/OL]. Winston-Salem: R J Reynolds Tobacco, 1983. [2020-02-13]. <http://industrydocuments.library.ucsf.edu/tobacco/docs/qjhg0082>.
- [19] SCHNEIDER M, SCHLUTER A. A semi-empirical model for simulating the effect of design components on smoke deliveries[R/OL]. Southampton: British American Tobacco, 1987. [2020-02-13]. <https://industrydocuments.library.ucsf.edu/tobacco/docs/#id=msfl0138>.
- [20] CHEN P X, MOLDOVEANU S C. Mainstream smoke chemical analyses for 2R4F kentucky reference cigarette[J]. Beiträge zur Tabakforschung International, 2003, 20(7): 448-458.
- [21] 马宇平, 蔡莉莉, 孙世豪, 等. APCI-MS/MS 法在线分析主流烟气气相物中 7 种有机化合物的逐口释放特征[J]. 烟草科技, 2014, 47(1): 40-44.