



电子烟液中烟碱稳定性及其释放行为分析

杨洋, 徐建, 刘金莉, 卢昕博, 李霞, 朱书秀

浙江中烟工业有限责任公司技术中心, 浙江省杭州市西湖区科海路118号 310024

摘要: 对7种品牌市售电子烟及30种电子烟液, 从烟液烟碱含量、单次充电最大抽吸口数、烟碱释放行为进行了分析比较, 为深入研发电子烟产品提供数据参考。结果表明: ①电子烟液常温放置半年, 具有良好的稳定性; ②电子烟液的实测值和盒标烟碱值差异较大; ③不同品牌电子烟电池容量差异较大, 可抽吸口数在50-420之间; ④抽吸时烟弹中可释放烟液量和烟杆中电池电量对烟碱释放行为有明显影响。

关键词: 电子烟; 电子烟液; 烟碱; 释放行为

引用本文: 杨洋, 徐建, 刘金莉, 等. 电子烟液中烟碱稳定性及其释放行为分析 [J]. 中国烟草学报, 2017, 23 (6)

电子烟通过硅芯片和气流感应器控制烟雾输出量及工作状态, 吸气时, 在传感器中形成高速气流, 气流传感器感知人口腔吸气, 从而触发气流传感开关, 使气流传感开关打开, 产品开始进入工作状态, 雾化器将电子烟液雾化成气溶胶, 电子烟可以使消费者像吸食传统卷烟一样吐出烟雾。根据文献报道^[1-2], 电子烟液的主要成分是溶剂(1,2-丙二醇和甘油, 总含量一般在90%以上), 烟碱(一般为0~3%)和香味物质(根据不同口味, 如烟草, 薄荷, 咖啡, 水果等)。

目前, 国内针对电子烟的研究报道多集中在电子烟化学组分的分析方法^[3-6]及物理指标测定方法^[7-9], 国外针对电子烟的研究报道多集中在电子烟的烟碱成瘾及吸食安全性研究^[10-12]。电子烟作为一种烟碱释放系统, 烟碱释放行为是其产品设计、构建、成型的核心评价指标。Goniewicz等^[10]研究了英国普及率很高的五个品牌(六个产品)电子烟的烟碱释放行为, 结果表明, 抽吸300口烟碱释放范围从2 mg到15 mg, 气溶胶中烟碱浓度与电子烟液中烟碱浓度没有直接关系。Trtchounian等^[13]研究发现, 电子烟的雾化量的稳定性较传统卷烟差, 随着抽吸口数的增加, 电子烟雾化量下降明显, 这反映了电子烟的烟碱、香味成分释放都是不均匀的。左力玮^[14]考察电子烟液在调配完成30天内烟碱含量及烟液pH值变化情况, 发现电子烟液稳定性良好, 常规干燥避光保存即可保

证其稳定性, 采用ISO和加拿大深度两种抽吸模式抽吸电子烟, 认为气溶胶中烟碱释放率主要受电子烟自身雾化能力及物质由烟液向气溶胶的转化能力这两个因素控制。

本文选取了7种市售电子烟及30种市售电子烟液, 采用气相色谱对电子烟液、抽吸试验气溶胶中烟碱指标开展检验并进行分析, 旨在深度解析电子烟中烟碱的释放差异, 为深入研发电子烟产品提供基础参考, 同时为电子烟质量评价和吸食品质的控制提供新的思路。

1 材料与方法

1.1 材料和仪器

电子烟及烟液样品: 购买国内网络销量前列的7个品牌仿真型电子烟(气动式), 均为可充电分段式电子烟, 烟弹可以拆卸更换, 同时购买了其不同规格(不同风格口味、不同烟碱含量)电子烟液30种; XS205型电子天平, 感量0.01 mg、XP504型电子天平, 感量0.1 mg, (梅特勒托利多仪器(上海)有限公司); PHH-101烘箱(上海爱斯佩克环境试验设备有限公司); THZ-320型台式恒温振荡器(上海精宏实验设备有限公司); SM-450型直线吸烟机(CERULEAN); 安捷伦气相色谱仪7980A, 配备自动进样器、GC ChemStation色谱工作站(美国安捷伦公司); 烟碱(纯

基金项目: 浙江中烟工业有限责任公司科技项目“电子烟中烟碱释放行为研究”(ZJZY2015A002)

作者简介: 杨洋(1982—), 工程师, 主要从事烟草技术研究, Email: yangy@zjtobacco.com

通讯作者: 徐建(1981—), 博士, 工程师, 主要从事烟草技术研究, Email: xujian@zjtobacco.com

收稿日期: 2017-05-23; **网络出版日期:** 2017-11-29

度 > 99.5%，国家烟草质量监督检验中心制）；烟碱 /1,2- 丙二醇 标准品（6.00 mg/mL, AccuStandard® 公司）；无水硫酸钠为分析纯（国药集团）。

1.2 分析方法

电子烟抽吸口数检测：根据不同种类电子烟的电池结构，分别选取电子烟各部分组件，设计不同接口实现电池与雾化器的连接，采用多功能数据采集器对雾化器工作时电阻丝两端的电压进行实时记录，获得在电子烟抽吸过程中电池的实时损耗状况及抽吸口数的差异。

电子烟液中烟碱含量的检测^[8]：从电子烟烟弹或补充液中准确称取 100μL（mg）的烟液至 100 mL 具塞锥形瓶，加入 20 mL 的含 0.5 g/L 的正十七烷异丙醇溶液，加入 0.5 g 无水硫酸钠脱水干燥。在振荡摇床（转速为 120 rpm）上振荡萃取 10 min。用 0.22 μm 有机滤膜后直接进样 GC 分析，计算得出烟弹中烟碱值。气相色谱分析条件为：采用固定相为 80~100 目的 Chromsorb W+10 % PEG 20M + 2 % KOH 的填充不锈钢柱；柱温：170 ℃；进样口温度：270 ℃；检测器温度：270 ℃；载气：氦气；流速：30 mL/min。分析时间为 10 min；进样量：2 μL。

电子烟气溶胶中烟碱含量的检测^[5]：参考 CORESTA 推荐电子烟抽吸模式（55 mL/3 s/30 s），

拟每轮抽吸 25 口，即每张剑桥滤片捕集 25 口的气溶胶，进行电子烟抽吸时烟碱释放行为的考察，气相分析条件同上。

2 结果与分析

2.1 烟液中烟碱含量和稳定性考察

对 30 种市售电子烟液的烟碱值进行检测，结果如表 1 所示。从表中可以观察到，不同品牌电子烟液烟碱含量差异较大，实测值在 0~19.43 mg/mL。目前市售电子烟液针对烟碱含量标注没有统一规范，部分电子烟液没有明确标注烟碱含量，仅仅以高、中、低标注，部分电子烟液仅标注其烟碱含量（mg）和烟液总体积（mL）。实测值（mg/mL）均低于标注值，实测值（mg/mL）与标注值偏离最高可达 29.3%。El-Hellani^[15] 和 St.Helen^[16] 等人对常见市售电子烟中烟碱进行大量检测表明，电子烟液或烟弹中的实测烟碱含量与其盒标烟碱含量之间存在很大差异，且实测值（mg/mL）均低于标注值。这反映了目前电子烟液在质量控制上尚有待改进，实验中发现电子烟液粘度较大，在移取过程中，容易在移液管壁或移液枪头残留，建议电子烟液产品烟碱含量标注信息采用“mg/g”为单位的表述方法。

表 1 电子烟液中烟碱的标注值和实测值
Tab.1 Labeled value and measured value nicotine in cartridges or refill fluids of e-cigarette products

电子烟液 编号	烟液盒标 烟碱值	实测烟碱值 / (mg/g)	实测烟碱值 / (mg/mL)	标注偏离率 /%
1-1#	高	14.13	15.53	-
1-2#	高	14.49	15.93	-
1-3#	高	14.20	15.61	-
1-4#	高	14.03	15.42	-
2-5#	中 -11	8.25	9.31	-15.4
2-6#	中 -11	9.21	10.40	-5.5
2-7#	中 -11	8.92	10.07	-8.5
2-8#	中 -11	8.48	9.58	-12.9
2-9#	中 -11	9.70	10.99	-0.1
2-10#	中 -11	9.41	10.66	-3.1
3-11#	高	12.49	14.23	-

续表 1

电子烟液 编号	烟液盒标 烟碱值	实测烟碱值 / (mg/g)	实测烟碱值 / (mg/mL)	标注偏离率 /%
3-12#	高	12.90	14.69	-
3-13#	高	13.48	15.36	-
4-14#	12	7.83	8.49	-29.3
4-15#	0	0	0	-
4-16#	12	8.31	9.00	-25.0
4-17#	12	8.00	8.67	-27.8
4-18#	12	7.95	8.62	-28.2
5-19#	中	10.63	11.59	-
5-20#	中	11.11	12.11	-
5-21#	中	12.04	13.13	-
6-22#	6	4.47	4.85	-19.2
6-23#	24	17.92	19.43	-19.0
6-24#	6	4.31	4.87	-18.8
6-25#	11	8.52	9.58	-12.9
6-26#	11	8.93	10.04	-8.7
6-27#	11	8.50	9.60	-12.7
7-28#	高	16.90	18.06	-
7-29#	低	4.83	5.16	-
7-30#	低	5.10	5.45	-

注：编号中第 1 位数字代表不同品牌，第 2 位数字代表同一品牌的不同口味产品，偏离率是标注值与实测烟碱值（mg/mL）的差异。

烟碱是一种易挥发，碱性较强的吡啶族生物碱，在空气中易被氧化，也会被微生物和细菌的酶降解。市售电子烟液多为室温存放，进一步研究电子烟液中烟碱的室温稳定性，选取了 3 种电子烟液，（1-3#：15.61 mg/mL、2-7#：10.07 mg/mL 和 7-30#：5.45 mg/mL）和 AccuStandard® 公司提供的 6.00 mg/mL 烟碱 /1,2- 丙二醇标准品为研究对象。分别对样本进行烟碱含量测试，每周测试一次，持续检测半年，样本室温存放在实验室通风柜中，结果如图 1 所示。3 种不同品牌浓度的烟液样本和标准品都表现出了良好的稳定性，1-3#、2-7#、7-30#、标准品的测试烟碱值依次为 15.53 ± 0.21 、 10.11 ± 0.19 、 5.54 ± 0.14 、 5.98 ± 0.14 mg/mL。在半年的检测周期内，样本无明显外观变化，

检测出的烟碱量基本稳定。其原因可能是由于烟碱在丙二醇、丙三醇中具有较高的溶解性，溶液体系相对稳定，丙二醇、丙三醇所拥有的抗菌活性，能够抑制烟液中细菌的存在，从而延缓了烟碱的降解。

2.2 电子烟抽吸口数考察

当前，电子烟中电池的容量是影响电子烟抽吸时抽吸口数的重要指标，但未能引起足够重视，市售电子烟的使用说明书中，多数没有提及所用电池的类型、容量和一次充电周期下的可抽吸次数。文中将电池正负极和雾化器正负极二者用铜导线串联，使用 fluke 数字万用表实测吸烟机抽吸电子烟过程中，电池电压的衰减变化，为防止烟弹中烟液不足损伤雾化器，实验过程中电子烟每抽吸 50 口后，更换新烟弹。

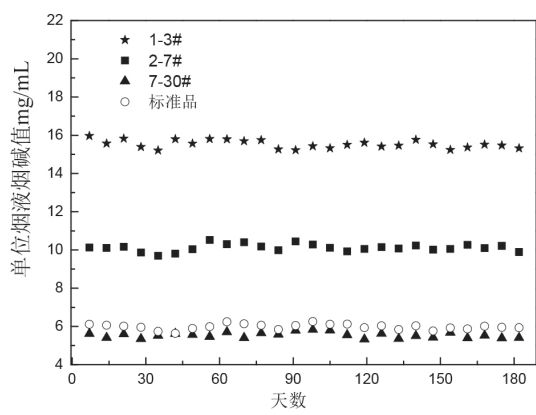


图 1 不同浓度电子烟液的烟碱稳定性

Fig.1 Nicotine stability of electronic cigarette refill solutions with different concentrations

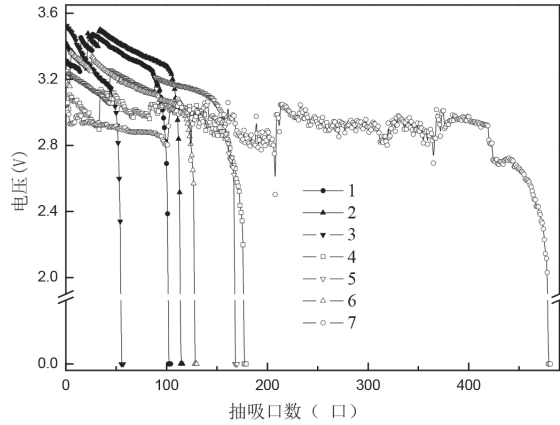


图 2 不同品牌电子烟的抽吸口数

Fig.2 The puff number of different brands of electronic cigarette

7 种品牌电子烟的电池依次编号为 1#~7#, 结果如图 2, 可以发现 7 种市售电子烟电池满额功率下, 使用电压范围在 3.0~3.6 V 之间, 使用 SM450 直线吸烟机, 在 CORESTA 推荐电子烟抽吸模式 (55 mL/3

s/30 s) 下^[2, 14], 可抽吸口数范围在 50~420 口之间, 其中使用 7# 电池的电子烟具有最多的可抽吸口数。由此可见不同品牌电子烟所用电池在一次充电周期下, 可抽吸口数差异较大, 这与不同厂家所用电池的容量和所用雾化器的功率有关。当电压衰减至 3.0 V 以下时, 所选电子烟样品均随着抽吸口数的增加而急剧衰减, 需对电池进行充电。所检测电子烟使用说明书内关于电池信息标注不全, 未见所用雾化器的标准信息, 建议应标示所用电池额定容量、正常工作电压, 所用雾化器的功率, 阻值等信息。

2.3 烟碱释放行为考察

选用可抽吸次数最多的 7# 电池, 7-28# 电子烟液, 使用微量注射器在空白烟弹中分别注入 0.5 mL、0.8 mL 的烟液, 采用直线吸烟机在 CORESTA 电子烟抽吸模式 (55 mL/3 s/30 s) 下抽吸, 每轮抽吸 25 口, 连续抽吸 (若电池电量耗尽或烟弹内可释放烟液耗尽, 记录具体抽吸口数: 电子烟电池电量耗尽, 前端指示灯会连续闪烁示警; 烟弹内可释放烟液耗尽, 每轮吸烟实验后捕集器质量不再增加), 通过剑桥滤片捕集电子烟气溶胶, 利用气相色谱方法检测捕集的气溶胶中的烟碱量。试验中发现电池电压对烟碱的释放行为有较直观的影响, 因此设定了两种实验条件, 来考察烟碱的释放。一种为稳压抽吸状态, 实验电子烟在完全充满电量的起始条件开始每轮抽吸, 每轮抽吸实验结束后, 在下一轮抽吸实验开始前再次充满电量; 考察电池稳压情况下烟液中烟碱的释放行为。另一种为自然抽吸状态, 实验电子烟在完全充满电量的起始条件开始抽吸 (之后不再充电, 一直测试到电量耗尽或可释放烟液耗尽), 考察常态下烟液中烟碱的释放行为 (表 2)。

表 2 7# 电子烟抽吸口数及烟碱释放量

Tab.2 The puff number and nicotine release profiles for 7# electronic cigarette

7~28#	烟弹中初始烟碱值 (mg) / 百分含量 (%)	抽吸口数	气溶胶中烟碱值 (mg) / 百分含量 (%)	烟弹中残留烟碱值 (mg) / 百分含量 (%)
稳压抽吸实验 1	9.03/100	275	6.55/73	1.57/17
自然抽吸实验 1	9.03/100	325	6.15/68	1.96/22
稳压抽吸实验 2	14.45/100	425	10.03/69	2.17/15
自然抽吸实验 2	14.45/100	450	8.60/60	4.49/31

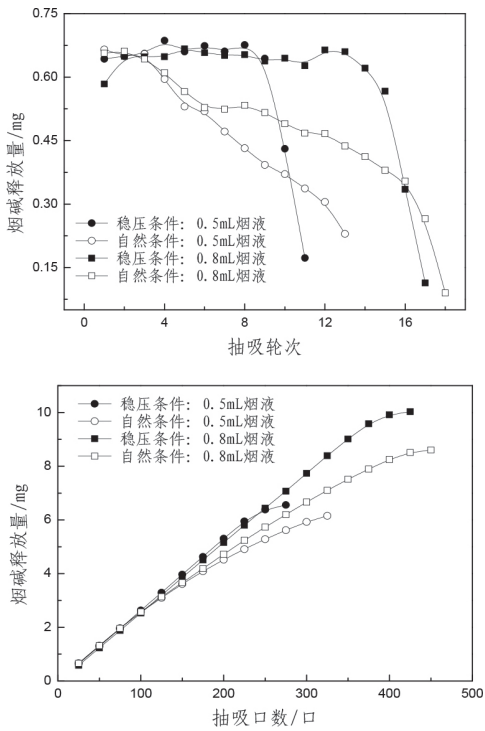


图3 (7#) 电子烟在稳压、自然抽吸条件下的烟碱释放行为
Fig.3 Nicotine release behaviors of 7# electronic cigarette under constant/exhausted voltage

实验结果如图3所示,在稳压抽吸条件下,烟弹内初始烟液为0.5 mL,在前8轮(200口)的抽吸实验中,烟碱释放量维持在0.65 mg/轮次附近,烟碱释放量和抽吸口数呈正相关性,11轮之后,烟碱释放量随着烟弹内残余烟液减少,逐步降低到0.1 mg/轮次以下;烟弹内初始烟液为0.8 mL,在之前的13轮抽吸实验中,烟碱释放量维持0.65 mg/轮次上下,烟碱释放量和抽吸口数呈正相关性,14轮之后,烟碱释放量随着烟弹内烟液消耗,逐步降低到0.1 mg/轮次以下。

在自然抽吸条件下,随着电子烟抽吸口数的增加,每轮烟碱释放量逐步降低,释放速率明显低于稳压抽

吸实验;相同抽吸口数下,烟碱释放量低于稳压抽吸实验;总抽吸口数相对稳压抽吸实验略有增加。当烟弹内初始烟液为0.5 mL时,稳压和自然抽吸试验下,可抽吸口数都不足300口,电池电量尚有剩余,烟弹内可释放烟碱(或烟液)耗尽,其中稳压抽吸下烟碱释放率为73%,自然抽吸下烟碱释放率为68%。当烟弹内初始烟液为0.8 mL时,稳压抽吸实验中,烟弹内可释放烟碱(或烟液)耗尽,自然抽吸实验中,电池电量耗尽,烟弹内尚有部分可释放烟碱(或烟液)残留,其中稳压抽吸下烟碱释放率为69%,自然抽吸下烟碱释放率为60%。自然抽吸时,烟弹内初始烟液0.5 mL(前六轮每轮抽吸的烟碱释放量依次为0.67、0.65、0.65、0.60、0.53、0.52 mg)和0.8 mL(前六轮每轮抽吸的烟碱释放量依次为0.66、0.66、0.64、0.61、0.57、0.53 mg),前6轮每一轮烟碱释放量基本一致。对于初始烟液0.5 mL的样品,由于后续实验电池电量充足,6轮之后,烟碱释放量随着烟弹内烟液减少,以每轮减少0.04 mg的速率逐步降低到0.1 mg/轮次以下,每轮烟碱释放量和抽吸口数呈负相关性。对于初始烟液0.8 mL的样品,由于后续实验可释放烟液富余,6轮之后,每轮烟碱释放量随着电池电量的损耗逐渐降低,相同轮次下,初始烟液0.8 mL的样品释放量要高于初始烟液0.5 mL的样品。图3的分析结果表明,自然抽吸时,烟弹中可释放烟液量和烟杆中电池电量对烟碱释放行为有明显影响。

结合7-28#电子烟液烟碱释放行为结果,依次考察了其余6种牌号电子烟在自然抽吸条件下的烟碱释放行为,抽吸方法同上,烟弹内初始烟液为0.4 mL,抽吸至该轮电池电量耗尽或烟弹内可释放烟液耗尽,停止抽吸。实验电子烟烟弹中初始烟碱含量、抽吸时气溶胶的烟碱值、及烟弹中残留的烟碱值详见表3,结果如图4所示。

表3 其他电子烟自然抽吸口数及烟碱释放量
Tab.3 Nicotine measured value in vapour and cartridges of other e-cigarette products after puffs

电子烟及烟液 型号	烟弹中初始烟碱值 (mg) / 百分含量 (%)	抽吸口数	气溶胶中烟碱值 (mg) / 百分含量 (%)	烟弹中残留烟碱值 (mg) / 百分含量 (%)
1-1#	6.21/100	100	0.63/10	0.68/11
2-5#	3.72/100	125	1.44/39	1.82/49
3-11#	5.70/100	50	0.68/12	1.37/24
4-14#	3.40/100	175	1.17/34	1.23/36
5-19#	4.63/100	175	3.37/73	0.64/19
6-22#	1.94/100	125	1.25/64	0.45/23

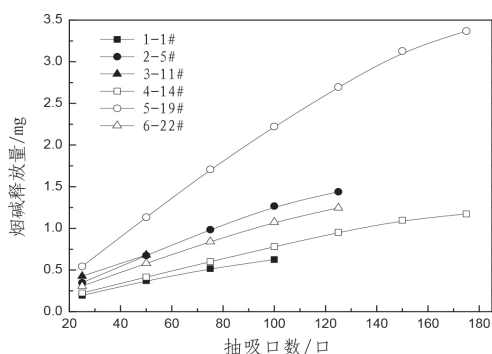


图4 不同牌号电子烟, 抽吸口数与烟碱释放量的关系

Fig.4 Nicotine release behavior of different grades of electronic cigarette

实验过程中测试电子烟电池电量耗尽, 前端指示灯会连续闪烁示警, 并结合图2不同品牌电子烟的抽吸口数, 可以发现, 2#、3#、4#、6#属于电池容量耗尽, 烟液尚有残余; 实验过程中测试电子烟内可释放烟液耗尽, 后续每轮吸烟实验后捕集器质量不再增加, 实验发现, 1#电子烟从第4轮开始、5#电子烟从第7轮开始, 后续2轮抽吸试验, 每轮抽吸前后, 捕集器质量基本无变化, 烟碱均未检出。故1#、5#电子烟在自然抽吸条件下, 属于烟弹可释放烟液耗尽。不同品牌电子烟可释放烟碱值存在显著差异, 释放量范围为初始烟弹中烟碱含量的10%~73%不等。1-1#、3-11#、4-14#样品中的烟弹残留烟碱值与气溶胶中烟碱值之和远低于烟弹初始烟碱值, Goniewicz等^[10]研究了E-Lites品牌电子烟的烟碱释放, 在抽吸300口后, 样品中的烟弹残留烟碱值(1.9 mg)与气溶胶中烟碱值(2.1 mg)之和也同样远低于烟弹初始烟碱值(19.7 mg), 可能是由于电子烟内部构造的差异、导油棉及雾化器的残留及烟弹的物理泄漏导致烟碱损失。各品牌电子烟抽吸实验结束(电池电量耗尽或烟弹内可释放烟液耗尽), 烟弹中均有烟碱残留, 残留烟碱范围为初始烟弹中烟碱含量的11%~49%不等。废弃的电子烟(含烟弹)及使用后烟弹具有安全隐患, 应投入有害垃圾箱中, 维护消费者自身安全。

3 结论

对7种市售电子烟和30种烟液产品, 从烟碱含量、可抽吸口数、烟碱释放行为方面进行了分析比较, 结果表明: ①电子烟液常温放置半年, 其中烟碱仍具有良好的稳定性; ②不同品牌电子烟液中烟碱含量差别很大, 含量范围在0~19.43 mg/mL, 电子烟液中实测烟碱值与标注值差异较大, 建议烟碱含量标注信息采用“mg/g”为单位的表述方法; ③不同品牌电子烟可抽吸口数差异较大, 建议应标示所用电池额定容量、正常工作电压, 所用雾化器的功率, 阻值等信息; ④抽吸时烟弹中可释放烟液量和烟杆中电池容量对烟碱释放行为影响显著, 气溶胶中烟碱浓度与电子烟液中烟碱浓度没有直接关系。

参考文献

- [1] 李保江. 全球电子烟市场发展、主要争议及政府管制[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(4): 101-107.
LI BaoJiang. A global perspective on electronic cigarette's future development and related controversial and regulatory issues[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2014, 20(4): 101-107.
- [2] 谢剑平. 电子烟相关技术与法律监管[C]. 中国烟草学会2014年学术年会报告文集. 2014: 1-16.
XIE JianPing. The relative technology and legislation of electronic cigarette [C]. The 2014 annual conference proceedings published by China Tobacco Society. 2014: 1-16.
- [3] 韩书磊, 陈欢, 刘彤等. 气相色谱法分析电子烟烟液中主要生物碱含量[J]. 分析科学学报, 2015, (31): 494-498.
HAN Shulei, CHEN Huan, LIU Tong, et al. Analysis of Main Alkaloids of Refill Liquids for Electronic Cigarettes by Gas Chromatography[J]. Journal of Analytical Science, 2015, (31): 494-498.
- [4] 王奕, 谢涛, 王冲, 等. 电子烟烟油中烟碱含量的测定方法: 中国, CN104215596A [P]. 2014-12-17.
WANG Yi, XIE Tao, WANG Chong, et al. Determination method of nicotine content in e-liquids. China, CN104215596A [P]. 2014-12-17.
- [5] 段沅杏, 杨帅, 杨柳, 等. 一种检测电子烟烟液中烟碱含量的方法: 中国, CN104062385A [P]. 2014-09-24.
DUAN Ruanxing, YANG Shuai, YANG Liu, et al. A determination method of nicotine content in vapour of e-cigarettes. China, CN104062385A [P]. 2014-09-24.
- [6] 李霞, 温宝英, 卢昕博, 等. 拉曼光谱法快速测定电子烟烟液中的1,2-丙二醇和丙三醇[J]. 烟草科技, 2017, (03): 52-56.
LI Xia, Wen BaoYing, LU XinBo, et al. Rapid determination of 1,2-propylene glycol and glycerol in refill fluids for electronic cigarettes by Raman spectroscopy [J]. Tobacco Science & Technology, 2017, (03): 52-56.
- [7] 何庆, 徐迎波, 宁勇, 等. 电子烟灵敏度与抽吸轻松度性能测定方法[J]. 中国烟草学报, 2017, (01): 15-19.
HE Qing, XU YingBo, NING Yong, et al. Determination of vaping sensibility and easiness of e-cigarettes[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, (01): 15-19.
- [8] 韩敬美, 杨柳, 张子龙, 等. 电子烟烟液pH与游离烟碱含量的关系研究[J]. 化学研究与应用, 2016, (3): 295-300.
HAN JingMei, YANG Liu, ZHANG ZiLong, et al. Relationship between pH and free nicotine of liquids for E-cigarettes[J]. Chemical Research and Application, 2016, (3): 295-300.
- [9] 段沅杏, 赵伟, 杨继等. 传统卷烟和电子烟烟气气溶胶粒径分布研究[J]. 中国烟草学报, 2015, (1): 1-5.
DUAN YuanXing, ZHAO Wei, YANG Ji, et al. Research on particle size distribution in traditional cigarette and electronic cigarette smoke aerosols[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2015, (1): 1-5.
- [10] Goniewicz M L., Hajek P and McRobbie H. Nicotine content of electronic cigarettes, its release in vapour and its consistency across batches: regulatory implications[J]. Addiction, 2013, 109: 500-507.
- [11] Meng Wang, Jian-Wei Wang, Shuang-Shuang Cao. Cigarette Smoking and Electronic Cigarettes Use: A Meta-Analysis[J]. Int. J. Environ. Res. Public Health 2016, 13: 120-135.
- [12] Cheng T. Chemical evaluation of electronic cigarettes[J]. Tob Control 2014, 23: ii11-ii17.
- [13] Trtchounian A, Williams M, Talbot P. Conventional and electronic cigarettes (e-cigarettes) have different smoking characteristics[J]. Nicotine & Tobacco Research, 2010, 12: 905-912.
- [14] 左力玮. 电子烟烟液稳定性及烟气释放基本规律研究[D]. 昆明理工大学, 2016.
- [15] El-Hellani A, El-Hage R, Baalbaki R, et al. Free-Base and Protonated Nicotine in Electronic Cigarette Liquids and Aerosols[J]. Chemical Research in Toxicology, 2015, 28 (8): 1532-1537.
- [16] St. Helen G, Havel C, Dempsey D, et al. Nicotine delivery, retention, and pharmacokinetics from various electronic cigarettes. [J]. Addiction, 2016, 111(3): 535-544.

Research on e-cigarettes' sweetness evaluation models based on electronic tongue data

GONG Xiaowei¹, ZHU Donglai¹, HONG Liu¹, LI Shoubo¹, NIU Yunwei², Yang Ji¹, WU Jun¹, ZHANG Xia¹, LI Tinghua¹,
CHEN Yongkuan¹, HAN Yi^{1*}

1 R & D Center, China Tobacco Yunnan Industrial Co., Ltd., Kunming 650231, China;

2 Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China

Abstract: The aim of this work is to establish objective methods to quantitatively analyze e-cigarettes' sweetness. Sixty samples of e-liquid were collected and measured by electronic tongue. Based on correlation analysis of electronic tongue data and artificial sensory data, three sweetness evaluation models were established by partial least squares, artificial neural network and support vector machine. Comparison results indicated that the support vector machine model was the most reliable for predicting sweetness of unknown e-cigarette samples. The correlation coefficient of the model was 0.96 with average relative error of predicted results of 7.30% and root mean square error of predicted results of 0.61. It was concluded that the evaluation model based on the combination of electronic tongue and the support vector machine can achieve reliable prediction of unknown e-cigarettes' sweetness.

Keywords: electronic tongue; e-cigarette; sweetness; support vector machine

Citation: GONG Xiaowei, ZHU Donglai, HONG Liu, et al. Research on e-cigarettes' sweetness evaluation models based on electronic tongue data [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017,23(6)

*Corresponding author. Email: 15288389322@163.com

(上接第 21 页)

Stability and release behavior of nicotine in e-liquids

YANG Yang, XU Jian^{*}, LIU Jinli, LU Xinbo, LI Xia, ZHU Shuxiu
China Tobacco Zhejiang Industrial Co., Ltd., Hangzhou 310024, Zhejiang, China

Abstract: Data reference was provided for further research and development of electronic cigarette products. Seven brands of commercial e-cigarettes and 30 e-liquids were compared in terms of maximum puff number of battery, nicotine content and its release behavior. Results showed that: (1) E-liquids were highly stable under natural temperature in six months. (2) Due to lack of regulations, e-liquids may contain inaccurately labelled nicotine levels. (3) Puff number based on battery capacity was in the range of 50-420. (4) Releasable nicotine in cartridges and battery energy had a significant influence on release behavior of nicotine.

Keywords: electronic cigarette; e-liquid; nicotine; release behavior

Citation: YANG Yang, XU Jian, LIU Jinli, et al. Stability and release behavior of nicotine in e-liquids [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017,23(6)

*Corresponding author. Email: xujian@zjtobacco.com