

李波, 张书铭, 宋时浩, 等. 传统卷烟和电子烟混合烟气的感官评价—基于模糊数学对跨界型电子烟的研究[J]. 中国烟草学报, 2020, 26 (6) . LI Bo, ZHANG Shuming, SONG Shihao, et al. Sensory evaluation of mixed smoke of traditional cigarette and electronic cigarette: Research on transboundary electronic cigarette based on fuzzy mathematics [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2020, 26(6). doi: 10.16472/j.chinatobacco.2019.093

传统卷烟和电子烟混合烟气的感官评价—基于模糊数学对跨界型电子烟的研究

李波, 张书铭, 宋时浩, 王明霞, 刘震, 王辉, 张从跃, 岳明飞, 尹绍锴

青岛颐中科技有限公司, 青岛 266021

摘 要: 以传统卷烟和电子烟的混合烟气为研究对象, 确定了口味、香气、谐调、杂气、刺激性、余味、甜腻感、烟雾量为感官评价词, 以非常好、很好、中等、较差作为四个评语等级, 采用层次分析法确定混合烟气感官评价词的权重, 对 8 款样品进行基于模糊数学的综合感官评价。重复性试验证明该方法可靠稳定, 能够对传统卷烟和电子烟混合烟气比较科学、合理、贴近实际的精确量化评价。

关键词: 混合烟气; 跨界型电子烟; 评价; 权重; 模糊综合评判

近年来, 受国际控烟形势大环境的影响, 传统卷烟的销量在许多西方发达国家出现下降趋势, 国外许多烟草公司把目光投向了新型烟草领域^[1] (包含加热非燃烧卷烟、无烟气烟草制品、电子烟三大类), 投入了大量的资金和人力进行产品研发、技术创新和市场推广。我国虽然起步较晚, 但国家烟草专卖局将新型烟草制品产品作为关系行业可持续发展的战略性、全局性、长远性重大课题高度重视, 加大研发力度^[2]。烟草消费者在通过吸烟得到生理和心理满足感的同时, 希望烟草香味多样化, 并最大程度减少抽烟的危害。但当前所用的卷烟降焦技术都不同程度地影响了传统卷烟烟气的香味成分, 电子烟虽然香味种类丰富、可玩性较强但无法调得传统卷烟独特的烟草香味^[3-6]。因此兼具卷烟香味和多样香味种类的“电子烟与传统卷烟相融合的跨界组合产品” (即: 跨界型电子烟) 成为一个新的研究方向。部分企业开发了此类产品, 在小部分指定体验者中测试, 体验者抽吸感觉较好。

模糊综合评判是一种基于模糊数学的综合评价

方法, 可利用模糊数学理论的隶属度及隶属函数, 以及模糊关系合成的原理^[7-9], 将一些边界不清、不易定量的因素抽象量化, 然后建立一个反应其本质特质和动态过程的、理想化的评价模式, 在食品感官评价中有良好的应用先例^[10-12]。殷建忠等^[13]采用模糊综合评判法对紫甘薯酒进行评价, 认为能够弥补传统感官评价普遍采用的加权平均法、总分法等缺陷。传统卷烟感官质量评价标准将光泽、香气、谐调、杂气、刺激性、余味 6 个项目分为 3 个区间界定得分范围, 采用求和取平均获得评价分值^[14]。高同启等^[15]论述了采用多级模糊综合评判模型对传统卷烟进行感官评价, 认为该方法可以克服现行评价方法的不足, 且能与工序质量控制等紧密结合, 方法更科学、灵活。

跨界型电子烟具有模糊特性, 为了指导此类产品的开发, 本研究将模糊综合评价法应用于跨界型电子烟混合烟气的感官质量评价, 以期对跨界型电子烟卷烟烟支和电子烟烟液的开发和工艺优化提供理论依据。

基金项目: 中国烟草总公司科技重大专项项目“跨界电子烟产品集成定型” 110201801004 (XX-04)

作者简介: 李波 (1987—), 工程师, 研究生, 新型烟草制品产品研发, Email: 18724766970@163.com

收稿日期: 2019-04-08; **网络出版日期:** 2020-12-18

1 材料与方法

本研究的整体流程图为：

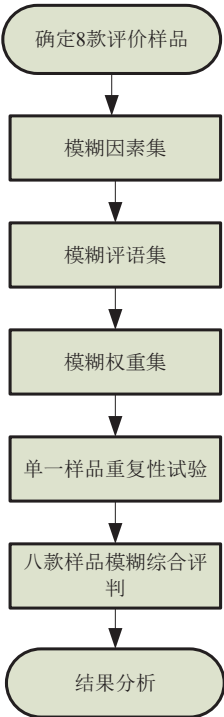


图 1 综合感官评价流程图

Fig. 1 Flow chart of comprehensive sensory evaluation

1.1 材料和仪器

1) 传统卷烟

样品 X（泰山红将军）：焦油量 11 mg；烟气烟碱量 1.1 mg；烟气 CO 量 11 mg；

样品 Y（泰山新品）：焦油量 11 mg；烟气烟碱量 1.1 mg；烟气 CO 量 11 mg。

2) 电子烟

电子烟烟液（烟草口味）：样品 A（烟碱含量 6 mg）、样品 B（烟碱含量 6 mg）；

电子烟烟液（非烟草口味）：样品 C（烟碱含量 6 mg）、样品 D（烟碱含量 6 mg）。

1.2 仪器与设备

所用烟具（图 2）为青岛颐中科技有限公司自主研发的跨界型电子烟烟具（第三代），该烟具可实现电子烟与传统卷烟的同时抽吸：抽吸时，传统卷烟仍通过火源点燃；电子烟通过按键开关控制，电池供电加热发热丝雾化产生烟雾。在烟具内，卷烟主流烟气由传统烟气道输送，电子烟烟雾由电子烟烟气道输送，两者烟气在交汇处混合，通过烟嘴气道被吸入口腔。



图 2 跨界型电子烟烟具

Fig. 2 Transboundary e-cigarette smoking set

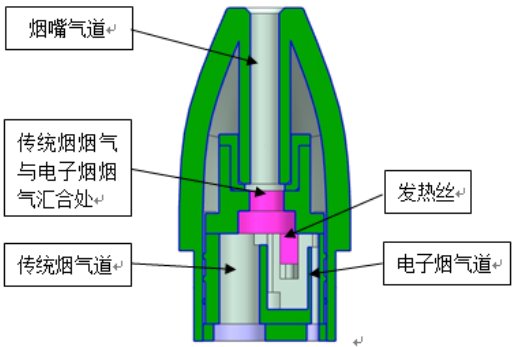


图 3 烟气混合图

Fig. 3 Smoke mixing diagram

表 1 8 款混合烟气样品信息表

Tab. 1 Information of eight mix smoke samples

传统卷烟	电子烟烟液			
	电子烟烟液样品 A	电子烟烟液样品 B	电子烟烟液样品 C	电子烟烟液样品 D
样品 X（泰山红将军）	1#	2#	3#	4#
样品 Y（泰山新品）	5#	6#	7#	8#

1.3 感官评吸人员的选择及方法

评吸人员应具有专业知识、良好的感觉敏锐性及基本的感官评定知识与技巧,同时拥有传统卷烟感官质量评价经验和电子烟感官质量评价经验。本次实验的感官评定小组由10名专家人员组成,设置1名评价组长。

2 分析与结果

2.1 建立模糊数学模型

2.1.1 模糊因素集的确定

对象集: 设感官评价的因素集论域为 U ,

$U=\{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8\}$, 评价因素集 U 是指对跨界型电子烟混合烟气感官质量集合。分别代表本研究中的8个评价词,分别为口味、香气、谐调、杂气、刺激性、余味、甜腻感、烟雾量。

2.1.2 模糊评语集的确定

评语集: 设感官评价的评语集论域为 V ,

$V=\{v_1, v_2, v_3, v_4\}$, 评语集是指对因素集中某一 u_i 的评判等级。分别代表非常好、很好、中等、较差四个等级,具体感官评价标准见表2。

表2 混合烟气感官评定指标
Tab.2 Mixed smoke sensory evaluation indexes

评判因素	评价等级			
	非常好	很好	中等	较差
口味	口味适宜	口味较适宜	口味尚适宜	口味较差
烟雾量	烟雾量充足	微有烟雾量	略有烟雾量	少量烟雾
杂气	无杂气	微有杂气	略有杂气	杂气强烈
刺激性	无刺激	略有刺激	较有刺激	刺激强烈
甜腻感	无甜腻感	微有甜腻感	略有甜腻感	甜腻感强烈
余味	纯净、舒适	较净、舒适	尚净、尚舒适	不纯净、不舒适
谐调	谐调	较谐调	尚谐调	无谐调
香气	香气丰满、细腻	香气充分、稍粗糙	香气淡薄、较粗糙	基本无香气、粗糙

2.1.3 权重集的确定

2.1.3.1 构造判断矩阵

利用层次分析法确定混合烟气各评价指标的权重,首先构造判断矩阵,然后对判断矩阵进行的一致性检验,最后利用原理公式确定各评价因素的权重^[16-20]。

层次分析法的一个重要特点就是用两两重要性程度之比的形式表示出两个方案的相应重要性等级。如对某一准则,对其下个方案进行两两对比,并按其重要性程度评定等级。记为第 i 和第 j 方案的重要性之比,表3给出了9个重要性等级及其赋值。重要性由专家感官评价员确定赋值。

表3 9比例标度表
Tab.3 Nine scale table

x_i 比 x_j	极端重要	强烈重要	明显重要	稍微重要	同样重要
相对重要性 量化标度	9	7	5	3	1

按两两比较结果构成的矩阵 $R=(r_{ij})_{n \times n}$, 称作判断矩阵。易见 $r_{ij} > 0$, $r_{ij}=1$ 且 $r_{ji}=1/r_{ij}$ ($i, j=1, 2, \dots, n$), 即 R 为正互反矩阵。判断矩阵如下:

$$R_{\text{判断矩阵}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 7 & 7 & 7 & 9 & 9 \\ 1 & 1 & 3 & 7 & 7 & 7 & 9 & 9 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 3 & 3 & 3 & 5 & 5 \\ 1/7 & 1/7 & 1/3 & 1 & 1 & 1 & 3 & 3 \\ 1/7 & 1/7 & 1/3 & 1 & 1 & 1 & 3 & 3 \\ 1/7 & 1/7 & 1/3 & 1 & 1 & 1 & 3 & 3 \\ 1/9 & 1/9 & 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1 \\ 1/9 & 1/9 & 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

2.1.3.2 判断矩阵的一致性检验

在实际应用过程中,由于专家在进行两两比较时的价值取向和定级技巧以及重要性等级赋值的非等比性,当判断矩阵的阶数大于2时,通常难于构造出满足一致性的矩阵。但判断矩阵偏离一致性又应有一个度,为此,必须对判断矩阵进行一致性检验,若

检验结果不满足要求，则可以确定新的判断矩阵，直至满意为止。经计算，该判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}=8.1911$ ，计算一致性指标：

$$CI = (\lambda_n - n) / (n - 1) = (8.1911 - 8) / (8 - 1) = 0.0273$$

然后计算一致性比值：

$$CR = CI / RI = 0.0273 / 1.42 = 0.0192 < 0.1$$

其中：为平均一致性指标，经查表，当 $n=8$ 时， $RI=1.42$ 。因此判断矩阵具有满意的一致性，该判断矩阵可以用来确定权重。

2.1.3.3 各评价因素权重值的确定

根据公式：

$$W_i = \left[\prod_{j=1}^n b_{ij} \right]^{1/n} / \sum_{i=1}^n \left[\prod_{j=1}^n b_{ij} \right]^{1/n}$$
可确定各评价因素的权重：

$$A = [\text{口味} \quad \text{香气} \quad \text{谐调} \quad \text{杂气} \quad \text{刺激性} \quad \text{余味} \quad \text{甜腻} \quad \text{烟雾量}] = [0.31 \quad 0.31 \quad 0.14 \quad 0.06 \quad 0.06 \quad 0.06 \quad 0.03 \quad 0.03]$$

2.1.4 单一样品重复性试验

选取 8 种样品中的任一款采用模糊综合评判方法进行重复性试验。

2.1.4.1 模糊综合评判方法

选取 6# 样品，由 10 人评判小组对以上 8 个评价因素逐个进行评判，在连续不间隔 3 天（Date1、Date2、Date3）的同一地点，同一时间（上午 9:00）组织品吸实验。统计每个因素各个评语的人次，每个因素的 4 个评语共有 10 人次，然后对每个因素的每个评语的人次进行归一化处理^[18-20]，即 $A=[a'_1, \dots, a'_p, \dots, a'_s]$ ， $a'_i = a_i / \sum_{i=1}^4 a_i$ 则对应每一因素 u_i 都对应一个模糊评价 $R_{ij} = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}) \in f(Y)$ ，则 8 个因素就可以建立 8 个单因素模糊评判矩阵。连续 3 天的混合烟气评分结果见表 4。

表 4 6# 样品连续 3 天混合烟气评分结果表

Tab. 4 6# Table of mixed smoke score results of samples for 3 consecutive days

日期	口味				香气				谐调				杂气				刺激性				余味				甜腻感				烟雾量			
	非 常 好	很 好	中 等	较 差	非 常 好	很 好	中 等	较 差	非 常 好	很 好	中 等	较 差	非 常 好	很 好	中 等	较 差	非 常 好	很 好	中 等	较 差	非 常 好	很 好	中 等	较 差	非 常 好	很 好	中 等	较 差	非 常 好	很 好	中 等	较 差
Date1	3	3	2	2	4	4	1	1	3	3	2	2	6	1	2	1	3	5	2	0	4	1	3	2	6	2	1	1	5	2	2	1
Date2	2	3	4	1	4	3	3	0	3	4	2	1	5	3	1	1	4	4	1	1	3	4	2	1	5	4	1	0	4	4	2	0
Date3	2	3	3	2	4	4	1	1	4	2	2	2	7	1	1	1	3	5	1	1	5	0	4	1	7	3	0	0	6	3	1	0

以 6# 样品第一天 Date1 测试的混合烟气为例，可建立口味、香气、谐调、杂气、刺激性、余味、甜腻感、烟雾量 8 个单因素的模糊评价矩阵，将 6# 样品混合烟气的上述 8 个单因素评价结果写成 1 个评判关系矩阵，即：

$$R_{61} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{\text{口味}} \\ r_{\text{香气}} \\ r_{\text{谐调}} \\ r_{\text{杂气}} \\ r_{\text{刺激性}} \\ r_{\text{余味}} \\ r_{\text{甜腻感}} \\ r_{\text{烟雾量}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.30 & 0.30 & 0.20 & 0.20 \\ 0.40 & 0.40 & 0.10 & 0.10 \\ 0.30 & 0.30 & 0.20 & 0.20 \\ 0.60 & 0.10 & 0.20 & 0.10 \\ 0.30 & 0.50 & 0.20 & 0.00 \\ 0.40 & 0.10 & 0.30 & 0.20 \\ 0.60 & 0.20 & 0.10 & 0.10 \\ 0.50 & 0.20 & 0.20 & 0.10 \end{bmatrix}$$

同理，可以得到 6# 样品第 2 天（Date2）和第 3 天（Date3）的模糊评判矩阵，此处不一一列举。对于权重 $A=[0.31 \quad 0.31 \quad 0.14 \quad 0.06 \quad 0.06 \quad 0.06 \quad 0.03 \quad 0.03]$ ，取模糊

算子为 $M(, +)$ 合成运算，模糊评判矩阵 $B = A * R = (b_1, \dots, b_j, \dots, b_n)$ ，其中 $b_j = \sum_{i=1}^n (a_i r_{ij})(j=1, 2, 3, \dots, m)$ 。

经计算得到：

$$B_{61} = A * R_{61} = [0.31 \quad 0.31 \quad 0.14 \quad 0.06 \quad 0.06 \quad 0.06 \quad 0.03 \quad 0.03] * \begin{bmatrix} 0.30 & 0.30 & 0.20 & 0.20 \\ 0.40 & 0.40 & 0.10 & 0.10 \\ 0.30 & 0.30 & 0.20 & 0.20 \\ 0.60 & 0.10 & 0.20 & 0.10 \\ 0.30 & 0.50 & 0.20 & 0.00 \\ 0.40 & 0.10 & 0.30 & 0.20 \\ 0.60 & 0.20 & 0.10 & 0.10 \\ 0.50 & 0.20 & 0.20 & 0.10 \end{bmatrix} = [0.370 \quad 0.313 \quad 0.172 \quad 0.145]$$

对评语集论域 V 中的四个评价因素进行赋值打分，非常好为 100 分，很好为 80 分，中等为 60 分，较差为 40 分，可以建立感官特殊性数集 $Z=[100 \quad 80 \quad 60 \quad 40]^T$ ，则样品的模糊综合评判总分用公式：

$SCORE_{6i} = B_{6i} \times Z$ ($i=1, 2, 3$)。可以得到 6# 样品日期 Date1 混合烟气的总得分为:

$$SCORE_{61} = B_{61} \times Z = [0.370 \ 0.313 \ 0.172 \ 0.157] \times [100 \ 80 \ 60 \ 40]^T = 0.370 \times 100 + 0.313 \times 80 + 0.172 \times 60 + 0.145 \times 40 = 78.16$$

其中 6# 样品的口味得分计算如下:

$$A_{61\text{口味}} = [0.31] \quad R_{61\text{口味}} = [0.30 \ 0.30 \ 0.20 \ 0.20]$$

$$B_{61\text{口味}} = A_{61\text{口味}} * R_{61} = [0.93 \ 0.093 \ 0.062 \ 0.062]$$

$$SCORE_{61\text{口味}} = B_{61\text{口味}} \times Z = [0.93 \ 0.093 \ 0.062 \ 0.062] \times [100 \ 80 \ 60 \ 40]^T = 0.93 \times 100 + 0.093 \times 80 + 0.062 \times 60 + 0.062 \times 40 = 22.94$$

同理可以得到各分项香气、谐调、杂气、刺激性、余味、甜腻感、烟雾量的得分, 总分既为各分项之和。

2.1.5 6# 样品方差分析

根据表 5 数据, 应用方差分析比较不同日期感官评价得分的差异性, 结果显示 $Df=2$, $F=0$, $P=1$, 无显著差异, 即模糊综合评判方法总分及各指标之间无明显差异, 该评价方法一致性较好。

2.2 8 款样品的模糊综合评判方法

评判小组对 8 款样品从口味、香气、谐调、杂气、刺激性、余味、甜腻感、烟雾量 8 个因素逐个进行评判, 得到 8 个样品的感官评定结果, 见表 6。

表 5 6# 样品连续 3 天模糊综合评判得分表

Tab.5 6# Table of fuzzy comprehensive evaluation scores of samples for 3 consecutive days

日期	6# 样品评价指标得分							
	口味	香气	谐调	杂气	刺激性	余味	甜腻感	烟雾量
Date1	22.94a	25.42a	10.36a	5.04a	4.92a	4.44a	2.58a	2.46a
Date2	22.32a	25.42a	10.92a	5.04a	4.92a	4.68a	2.64a	2.52a
Date3	21.7a	25.42a	10.64a	5.28a	4.8a	4.68a	2.82a	2.7a

注: 小写字母表示 0.05 水平下的显著性。

表 6 混合烟气评分结果表

Tab. 6 Table of mixed smoke scores

编号	口味		香气		谐调		杂气		刺激性		余味		甜腻感		烟雾量	
	非常好	很好	中等	较差	非常不好	很好	中等	较差	非常不好	很好	中等	较差	非常不好	很好	中等	较差
1#	2	2	3	3	3	3	3	1	5	0	5	0	2	3	2	3
2#	4	2	2	2	2	5	0	3	6	0	2	2	1	4	4	1
3#	6	0	4	0	4	4	2	0	8	0	2	0	5	5	0	0
4#	7	1	2	0	5	4	1	0	6	4	0	0	5	1	4	0
5#	5	2	2	1	4	3	2	1	7	0	2	1	4	1	4	1
6#	2	3	3	2	4	4	1	1	4	2	2	2	7	1	1	1
7#	7	2	1	0	6	4	0	0	7	2	1	0	9	1	0	0
8#	8	2	0	0	7	3	0	0	5	3	2	0	5	3	2	0

以 1# 样品为例, 把 1# 混合烟气的上述 8 个单因素评价结果写成一个评判关系矩阵, 即:

$$R_1 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{\text{口味}} \\ r_{\text{香气}} \\ r_{\text{谐调}} \\ r_{\text{杂气}} \\ r_{\text{刺激性}} \\ r_{\text{余味}} \\ r_{\text{甜腻感}} \\ r_{\text{烟雾量}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.20 & 0.20 & 0.30 & 0.30 \\ 0.30 & 0.30 & 0.30 & 0.10 \\ 0.50 & 0.00 & 0.50 & 0.00 \\ 0.20 & 0.30 & 0.20 & 0.30 \\ 0.50 & 0.20 & 0.10 & 0.20 \\ 0.20 & 0.20 & 0.40 & 0.20 \\ 0.10 & 0.40 & 0.40 & 0.10 \\ 0.50 & 0.20 & 0.20 & 0.10 \end{bmatrix}$$

同理, 可以得到样品 2#~8# 混合烟气的模糊评判矩阵, 此处不一一列举。对于权重 $A = [0.31 \ 0.31 \ 0.14 \ 0.06 \ 0.06 \ 0.06 \ 0.03 \ 0.03]$, 取模糊算子为 $M(, +)$ 合成运算, 按照 2.1.4.1 的计算方法, 可以得到样品 1#~8# 混合烟气的总得分为:

$$SCORE_1 = B_1 \times Z = [0.297 \ 0.215 \ 0.316 \ 0.172] \times [100 \ 80 \ 60 \ 40]^T = 0.297 \times 100 + 0.215 \times 80 + 0.316 \times 60 + 0.172 \times 40 = 72.74$$

$$SCORE_2 = B_2 \times Z = 74.90$$

$$SCORE_3 = B_3 \times Z = 85.36$$

$$SCORE_4 = B_4 \times Z = 88.28$$

$$SCORE_5 = B_5 \times Z = 81.16$$

$$SCORE_6 = B_6 \times Z = 78.04$$

$$SCORE_7 = B_7 \times Z = 91.94$$

$$SCORE_8 = B_8 \times Z = 92.54$$

由以上模糊综合评判得分可知, 以上 8 个样品的混合烟气感官评价排序为: $8\# > 7\# > 4\# > 3\# > 5\# > 6\# > 2\# > 1\#$ 。

3 讨论

本研究参考传统卷烟感官技术要求, 以跨界电子烟混合烟气的口味、香气、谐调、杂气、刺激性、余味、甜腻感、烟雾量 8 个因素为出发点, 对不同混合烟气的质量分数梯度进行感官评价, 应用模糊综合评判的方法对统计的数据进行矩阵运算, 能够客观地从 8 个样品中选出较好的混合烟气, 通过具有感官评价经验的专业人士筛选和制定感官评价指标, 利用层次分析法确定混合烟气各评价指标的权重, 保证了评价结果的准确性。通过单一样品重复性试验证明了模糊综合评判在混合烟气的感官评价中数据并未出现显著差异, 证明了其可靠性和稳定性。本研究方法可以应用在跨界电子烟混合烟气感官质量评价上, 也可以单独应用在电子烟感官质量评价, 本方法可以给烟草行业电子烟、加热不燃烧卷烟等产品质量和感官特性评价提供一条新的途径, 为后续研究提供参考。

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 B J. 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] 凌成兴. 2014 年全国烟草工作会议 [R], 2014-01-16.
LING C X. 2014 national tobacco working conference[R], 2014-01-16.
- [3] 许春平, 王充, 李萌姗, 等. 不同口味电子烟烟液挥发性成分的主成分分析 [J]. 化学研究及应用, 2017.29(5):610-616.
XU C P, WANG C, LI M SH, et al. Principal component analysis of volatile components in refill liquids for electronic cigarette with different tastes[J]. Chemical Research and Application, 2017.29(5):610-616.
- [4] 李寿波, 吴俊, 洪鑫, 等. 基于美拉德反应焦甜感特征香韵香精的制备及其在电子烟中的应用, 2017.4:28-32.
LI SH B, WU J, HONG L et al. The preparation of coke sweet characteristic flavor based on maillard reaction and its application in electronic cigarettes, 2017.4:28-32.
- [5] STEDMAN, R L. Chemical composition of tobacco and tobacco smoke J. Chem. Rew, 1968.68(2):153-207.
- [6] 孔浩辉, 郭璇华, 等. 卷烟烟丝热裂解产物香味成分分析 [J]. 烟草科技, 2009,(5):38-43.
KONG H H, GUO X H et al. Analysis of Aromatic Components in Pyrolytic Products of Cut Tobacco[J]. Tobacco Science & Technology, 2009,(5):38-43.
- [7] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2003:10-110.
XIE J J, Liu CH P. Fuzzy mathematics method and its application[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2003:10-110.
- [8] 许树伯. 层次分析法原理 [M]. 天津: 天津出版社, 1988:54-200.
XU SH B. The principle of analytic hierarchy process [M]. Tianjin: Tianjin press, 1988:54-200.
- [9] 刘旺金, 何家儒. 模糊数学导论 [M]. 四川: 四川教育出版社, 1992:35-46.
LIU W J, HE J R. Introduction to Fuzzy Mathematics[M]. Sichuan: Sichuan Education Press. 1992:35-46.
- [10] 邓屹洋. 基于模糊综合评判的肉制品感官质量评价及控制研究 [D]. 湖南: 湖南科技大学: 2013.
DENG Y Y. Fuzzy Comprehensive Evaluation of meat quality evaluation and control of sensory[D]. Hunan: Hunan University of Science and Technology: 2013.
- [11] 张晓慧. 模糊数学在综合评价中的应用 [D]. 哈尔滨工业大学: 2004.
ZHANG X H. The Application Of Fuzzy Mathematic In Poly-index Evaluation[D]. Harbin Institute of Technology: 2004.
- [12] 霍红. 模糊数学在食品感官评价质量控制方法中的应用 [J]. 食品科学, 2004.25(6):185-188.
HUO H. Fuzzy Mathematics Study on Evaluating Food Sensual Quality[J]. Food Science, 2004.25(6):185-188.
- [13] 殷建忠, 王琦, 吴少雄, 等. 正交试验法优化水提紫甘薯色素废渣发酵酒工艺及模糊综合评判模型评价 感官质量 [J]. 食品科学, 2011. 32(6):131-134.
YIN J ZH, WANG Q, WU SH X, et al. Orthogonal Array Optimization of Wine Fermentation from Purple Sweet Potato Residue after Pigment Extraction and Sensory Evaluation by Fuzzy Comprehensive Evaluation Model[J]. Food Science, 2011. 32(6):131-134.
- [14] GB/T5606.1~5606.2-1996, GB5606.3~5606.6-1996. 中华人民共和国国家标准 (卷烟) [J]. 1996, 4(17)
GB/T5606.1~5606.2-1996, GB5606.3~5606.6-1996. National Standard of the People's Republic of China (Cigarette) [J]. 1996, 4(17)
- [15] 高同启, 张卫旗. 卷烟质量多级模糊综合评判模型研究 [J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 1998.2(6):57-61.
GAO T Q, ZHANG W Q. Research on Multi-Ply Fuzzy Synthetic Judgment Model of Cigaretts Quality[J]. Hefei Institute of Economics and Technology: Journal Of Hefei University Of Technology, 1998.2(6):57-61.
- [16] 李东亮, 胡军, 许自成, 等. 单料烟感官质量的层次模糊综合评价 [J]. 郑州轻工业学院学报 (自然科学版), 2007.22:27-30.
LI D L, HU J, XU Z CH, et al. Comprehensive evaluation based on

- hierarchical fuzzy systemsof unblended cigarette sensory quality [J]. Journal of Zhengzhou University of Light Industry(Natural Science), 2007.22:27-30.
- [17] 姬长英. 感官模糊综合评价中权重分配的正确制定 [J]. 食品科学, 1991.3:9-11.
- JI CH Y. Correct Formulation of Weight Distribution in Synthetic Evaluation of Sensory Fuzziness[J].Food Science, 1991.3:9-11.
- [18] Stanley L.E. Fuzzy multiple objective programming and compromise programming with pareto optimum. Fuzzy Set and Systems, 1993, 53:601-610.
- [19] Katarina Kavsek-Biasizzo, Igor Skrjanc, Drago Matko. Fuzzy Predictive control of highly non linear ph process Computer Chemical Engineer, 1997. 21: 613-618.
- [20] 张晓慧, 冯英俊, 白莽. 一种反映突出影响因素的评价模型 [J]. 哈尔滨工业大学学报: 自然科学版, 2003, 35(10):1168-1170.
- ZHANG X H. Evaluation model for reflection of dominant influencing factors[J].Journal of Harbin Institute of Technology, 2003, 35(10):1168-1170.

Sensory evaluation of mixed smoke of traditional cigarette and electronic cigarette: Research on transboundary electronic cigarette based on fuzzy mathematics

LI Bo, ZHANG Shuming, SONG Shihao, WANG Mingxia, LIU Zhen, WANG Hui,

ZHANG Congyue, YUE Mingfei, YIN Shaokai

Qingdao Etsong Technology Co., Ltd. , Qingdao 266021, Shandong, China

Abstract: Taking mixed smoke of traditional cigarette and e-cigarette as research objects, with taste, aroma, harmony, miscellaneous gas, irritation, aftertaste, sweet and greasy feeling and smoke amount as sensory evaluation indexes, and excellent, very good, medium, poor as the four ratings, in this paper, analytic hierarchy process (AHP) was used to determine the weights of sensory evaluation indexes for mixed smoke, and fuzzy mathematics based comprehensive sensory evaluation was carried out for 8 samples. The reproducibility test proves that the method is reliable and stable, and can realize scientific, reasonable and quantitative evaluation the mixed smoke of traditional cigarette and e-cigarette.

Keywords: mixed smoke; trans-boundary e-cigarette; evaluation; weight; fuzzy comprehensive sensory evaluation

*Corresponding author. Email: 18724766970@163.com