

基于味觉活力值的烤烟主流烟气关键酸味物质的研究

冒德寿, 李智宇, 刘强, 者为, 曲荣芬, 王凯, 蔡炳彪, 洪鎏

云南中烟工业有限责任公司技术中心, 昆明市五华区红锦路 367 号, 650231

摘要: 对 51 份烟叶样本主流烟气中 27 种有机酸进行了测定, 通过味觉活力值分析技术, 鉴定出烟气中的关键酸味物质, 以此建立烟气酸味指数模型, 并与感官评价进行了比较研究。结果表明: (1) 甲酸、乙酸、棕榈酸、琥珀酸、乳酸、苹果酸、油酸、亚油酸和亚麻酸是主流烟气中主要的 9 种有机酸, 异戊酸、辛酸、苯乙酸、苯甲酸、己酸和戊酸在不同样本中含量变化较大, 而琥珀酸、乳酸、草酸、苹果酸和肉豆蔻酸的变化较小。(2) 甲酸、乙酸、异丁酸、丁酸、异戊酸、戊酸、乳酸和琥珀酸等 8 种有机酸在 51 份样本中的味觉活力值即 TAV 均 > 0.1, 是烤烟主流烟气中关键的酸味物质, 大小排序是异戊酸 > 乙酸 > 戊酸 > 甲酸 > 丁酸 > 琥珀酸 > 异丁酸 > 乳酸, 其它 19 种有机酸的贡献率可以忽略不计。(3) 以 8 种关键酸味物质味觉活力值为基础, 提出并建立的烟气酸味指数模型, 在主流烟气酸味强度评价方面与感官评价之间取得了较高的趋势一致性, 佐证了关键酸味物质研究的科学性, 为卷烟烟气味觉特征剖析和调控技术提供支持。

关键词: 有机酸; 味觉阈值; 味觉活力值; 烟气酸味指数

doi: 10.3969/j.issn.1004-5708.2014.06.004

中图分类号: TS411

文献标志码: A

文章编号: 1004-5708 (2014) 06-0021-07

Taste active value-based research on key sour compounds in flue-cured tobacco mainstream smoke

MAO Deshou, LI Zhiyu, LIU Qiang, ZHE Wei, QU Rongfen, WANG Kai, CAI Bingbiao, HONG Liu

Research & Development Center, China Tobacco Yunnan Industrial Co., Ltd., Kunming 650231

Abstract: Twenty seven organic acids in mainstream smoke from 51 tobacco leaf samples were identified as key sour compounds in tobacco smoke based on taste active value. Tobacco smoke sour index was then established and compared with sensory evaluation. Results indicated that: (1) Fomic acid, acetic acid, palmitic acid, succinic acid, lactic acid, malic acid, oleic acid, linoleic acid and linolenic acid were main organic acids in tobacco mainstream smoke. Contents of isovaleric acid, octanoic acid, benzoic acid, hexanoic acid and valeric acid varied in different samples while only slightly changes were found in succinic acid, lactic acid, oxalic acid, malic acid and myristic acid contents. (2) Eight acids including isovaleric acid, acetic acid, valeric acid, fomic acid, butyric acid, succinic acid, isobutyric acid and lactic acid (in descending order of sour content) were identified as key sour compounds in flue-cured tobacco mainstream smoke with higher than 0.1 taste active value in 51 samples. Other 19 organic acids had negligible contribution to smoke sourness. (3) Smoke sour index was firstly proposed and established based on taste active value of 8 key sour compounds, which showed good consistency and verification with sensory evaluation. It will provide good scientific basis for key sour compounds research and for smoke taste analysis.

Keywords: organic acid; taste threshold; taste active value; tobacco smoke sour index

卷烟感知是香和味的融合, 二者的有机结合才是中式卷烟风格的全部内涵。长期以来, 烟草工作者对

香和味进行了大量探索研究, 尤其是在香气风格特征的研究上取得了突破性的进展^[1-6]; 目前针对烟气味觉的评价、物质基础及调控技术的系统研究尚处于起步阶段^[7-8], 在大力发展低焦油卷烟的背景下, 对烟气味觉的专项研究尤为重要。依据食品风味学分类原则, 烟气基本味觉含酸、甜、苦、咸等四个味觉指标, 而酸味和甜味是中式卷烟重要的风格因素。各实验室先后开发出一系列烟叶和烟气有机酸的分析方法^[9-19], 用于烟叶原料和卷烟质量稳定的控制和监督。自然界

基金项目: 中国烟草总公司资助项目“卷烟烟气味觉特征及其调控技术研究”(110200901001)和“烟气味觉特征感官评价方法研究”(110201402032)

作者简介: 冒德寿(1975—), 硕士研究生, 工程师, 从事烟用香精香料研究, Email: 913540487@qq.com

通讯作者: 刘强(1963—), 硕士, 主要从事卷烟调香研究, Email: lqly@hongta.com

收稿日期: 2013-12-01

的许多食品或香料,如当归^[20]、芒果^[21]、香蕉^[22]、黄瓜^[23]和芫荽^[24]等,其关键致香成分并非主要成分,往往是微量成分,其奥妙在于化合物除含量高低外,还有阈值属性。利用香气活力值(Odor Active Value,以下简称 OAV)或味觉活力值(Taste Active Value,以下简称 TAV)已成为研究关键致香或致味成分的主要技术手段之一^[25-29]。运用活力值技术手段研究关键致香或致味成份在烟草行业鲜有报道,曾有学者利用 OAV 技术手段,比较讨论了不同类型烟叶的烟气酸性成分含量、嗅觉阈值和比值,揭示了香料烟烟气关键酸香成分^[30]。鉴此,以 51 个烟叶原料为材料,测定其主流烟气中 27 种有机酸含量,引入阈值概念,通过味觉活力值技术手段,鉴定出烟气中关键酸味物质,建立烟气酸味指数模型,并与人体感官评价之间进行比较研究,以期卷烟烟气味觉特征剖析和调控技术提供支持,为烟草行业正在实施的增香保润战略提供参考。

1 材料与方法

1.1 烟叶来源

采集云南(8 个地州)、福建、贵州、湖南、江西、四川、黑龙江、湖北、巴西、美国 and 津巴布韦等 11 个烟叶原料主产区共计 51 份烟叶样本,其中,白肋烟叶 5 份、晒烟 1 份、梗丝 1 份、烤烟 44 份;上部烟叶 25 份、中部烟叶 17 份、下部烟叶 8 份;国外烟叶 9 份(津巴布韦 3 份、巴西 4 份、美国 2 份),国内烟叶 42 份。按 GB 5606 3-1996 方法卷制烟支,放置于温度(22±1)℃、相对湿度(60±3)% 环境下平衡 48 h 以上,筛选重量和吸阻后(除 50 号梗丝样本外)用于烟气测试和感官评价。

1.2 试剂

甲醇、二氯甲烷(色谱纯,国药试剂有限公司),甲酸(33015,≥98%)、乙酸(320099,≥99.7%)、丙酸(402907,≥99.5%)、异丁酸(58360,≥99.5%)、丁酸(B103500,≥99%)、异戊酸(129542,≥99%)、戊酸(V0125,≥99%)、3-甲基戊酸(222453,≥97%)、己酸(153745,≥99.5%)、庚酸(75190,≥99%)、辛酸(C2875,≥99%)、壬酸(N5502,≥97%)、癸酸(C1875,≥98%)、月桂酸(W261408,≥98%)、肉豆蔻酸(M3128,≥99%)、苯甲酸(242381,≥99.5%)、苯乙酸(78490,≥98%)、苯丙酸(P16001,≥99%)、棕榈酸(P0500,≥99%)、油酸(O1008,≥99%)、亚油酸(L1376,≥99%)、亚麻酸(L2376,≥99%)、草酸(75688,≥99%)、乳酸(69785,≥90%)、苹果酸(240176,≥97%)、柠檬酸(251275,≥99.5%)、琥珀酸(S3674,≥99%)、反式-2-己

烯酸(193089,≥99%)、N,O-双(三甲基硅基)三氟乙酰胺(155195,≥99%)和反式-肉桂酸(C80857,≥99%)均来源于 Sigma-Aldrich 公司。所有样品均保存在低于 4℃ 冰箱中备用。

1.3 仪器

RM20H 半自动 20 孔道吸烟机(德国 Borgwaldt 公司),气相色谱质谱联用仪(Agilent 7890GC/5973MS),Jy92-2D 超声细胞粉碎仪(宁波新芝生物科技股份有限公司),F319-04 剑桥滤片(沃特曼公司),安捷伦 1100 高效液相色谱仪,AE163 电子天平(感量 0.1 mg,瑞士梅特勒托利多公司)。

1.4 测试与评价方法

烟气中有机酸含量采用 N,O-双(三甲基硅基)三氟乙酰胺衍生化法^[31]测定,其中甲酸、乙酸和丙酸等小分子低沸点分子易通过剑桥滤片,用气相物和粒相物之和代表主流烟气总含量,而其余高沸点分子易被剑桥滤片截留,用粒相物代表主流烟气总含量。烟气酸味的感官评价采用“烟气味觉特征感官评价方法研究”项目中建立的评价方法。

1.5 统计分析方法

采用 SPSS19.0 和 Excel2010 对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 酸味物质和烟气中酸味物质的初筛

食品风味学^[32]对酸味物质的阐述比较清晰:(1) H⁺ 离子本身并不形成酸味,感官接受到的酸味并不总是直接和测定 pH 值成正比;(2) 在同样 pH 值下,有机酸比无机酸的酸感强,多数无机酸有苦味和涩味;(3) 有机酸在 pH 值相同时,一元酸的酸味强度随其烃链的增长而减少,二元酸在一定限度内随烃链增长其酸味强度增加;(4) 食品中常用的酸味物质有醋酸、柠檬酸、苹果酸、酒石酸、乳酸、抗坏血酸、葡萄糖酸和磷酸等。结合烟气实际,烟气酸味物质应重点考虑有机酸,初步筛选名单见表 1。

2.2 不同有机酸的数量特征

51 份样本有机酸含量的数量特征见表 2,平均含量超过 100 μg/支的是棕榈酸、甲酸、乙酸 3 种有机酸,在 10~100 μg/支的是琥珀酸、乳酸、苹果酸、油酸、亚油酸和亚麻酸等 6 种有机酸,1~10 μg/支的是丙酸、苯甲酸、异戊酸、柠檬酸、草酸、苯乙酸、丁酸、己酸、苯丙酸、异丁酸、月桂酸和肉豆蔻酸等 12 种有机酸,而余下的 6 种有机酸则小于 1 μg/支。从变异系数看,异戊酸、辛酸、苯乙酸、苯甲酸、己酸和戊酸最大,琥珀酸、乳酸、草酸、苹果酸和肉豆蔻酸等有机酸最小。

表 1 主流烟气中酸味物质的初步筛选名单

Tab. 1 Tentatively sorted organic acids in tobacco mainstream smoke

有机酸分类	物质名称
挥发性有机酸	甲酸，乙酸，丙酸，异丁酸，丁酸，异戊酸，戊酸，3- 甲基戊酸，己酸
半挥发性有机酸	庚酸，辛酸，壬酸，癸酸，苯甲酸，苯乙酸，油酸，亚油酸，亚麻酸
难挥发性有机酸	草酸，乳酸，苹果酸，柠檬酸，琥珀酸，月桂酸，肉豆蔻酸，棕榈酸，苯丙酸

表 2 主流烟气中不同有机酸含量的统计分析

Tab. 2 Statistical analysis of different organic acids' content in flue-cured tobacco mainstream smoke

µg/cig

有机酸名称	极小值	极大值	均值	标准差 /%	变异系数 /%
甲酸	17.91	258.81	122.98	59.69	48.54
乙酸	34.58	314.08	119.49	52.92	44.29
丙酸	0.56	32.91	9.46	4.54	48.01
异丁酸	0.49	2.61	1.09	0.37	33.89
丁酸	1.25	6.41	2.24	0.92	40.96
异戊酸	2.52	28.56	6.88	4.88	70.83
戊酸	0.30	2.49	0.69	0.41	59.33
3- 甲基戊酸	0.24	2.00	0.64	0.32	50.72
己酸	0.09	4.13	1.18	0.71	60.00
庚酸	0.48	1.46	0.74	0.19	25.56
辛酸	0.02	1.66	0.64	0.41	63.37
壬酸	0.22	1.15	0.55	0.15	27.94
癸酸	0.20	2.33	0.57	0.31	54.59
月桂酸	2.14	15.26	9.45	4.56	23.21
肉豆蔻酸	1.23	9.56	7.34	1.42	17.15
苯甲酸	1.97	16.32	7.51	3.30	43.88
苯乙酸	1.08	7.85	3.00	1.82	60.79
苯丙酸	0.43	4.10	1.12	0.67	60.23
棕榈酸	63.41	190.45	133.75	28.90	21.61
油酸	3.97	41.61	22.23	8.36	37.59
亚油酸	6.23	61.25	33.35	6.11	24.47
亚麻酸	7.34	97.73	55.58	7.34	26.23
草酸	2.55	4.55	3.52	0.43	12.22
乳酸	30.48	46.46	36.57	4.03	11.02
苹果酸	20.38	40.41	32.26	4.95	15.33
柠檬酸	1.74	6.36	4.44	1.24	28.03
琥珀酸	43.77	68.34	53.38	5.82	10.90

2.3 各有机酸的味觉阈值

由于香气和味觉阈值在食品和香料领域研究中的重要性，从十九世纪开始，有一大批科学工作者系统从事人体感官阈值研究工作，目前已有大量化合物的嗅觉阈值和味觉阈值数据报道，最具代表性^[33]的是由 Leo van Gemert 在 2011 年编撰的《Odour

and Flavour threshold values in air, water and other media》一书，2006 年第一版收集了 3000 篇文献 18000 条阈值数据，2011 年第二版在此基础上，增加了 3000 条嗅觉阈值和 1500 条味觉阈值数据，本文 23 个有机酸的味觉特征评价和味觉阈值均来源于此书，见表 3。

表 3 不同有机酸的味觉阈值

Tab. 3 Taste thresholds of different organic acids			mg/kg
物质名称	味觉特征评价	味觉阈值	
甲酸	刺鼻, 辣, 酸味	160	
乙酸	刺鼻, 辛辣, 酸味	50	
丙酸	辛辣, 刺激, 酸味	245	
异丁酸	酸奶酪, 水果味, 黄油	5	
丁酸	酸, 黄油, 水果香味	3.19	
异戊酸	酸, 坚果, 黄油	0.74	
戊酸	甜甜味, 水果, 酸奶酪, 黄油	0.5	
3- 甲基戊酸	酸, 奶酪, 水果, 香料烟	30	
己酸	蜡质, 甜, 枫槭	81	
庚酸	蜡质, 酸, 枫槭	94	
辛酸	甜, 蜡质, 柔和	101	
壬酸	脂肪, 蜡质, 清甜奶酪香	10	
癸酸	脂肪和弱酸味	69	
月桂酸	弱酸味和油脂味	500	
肉豆蔻酸	弱酸味和脂蜡味	5000	
苯甲酸	柔和的弱酸	340	
苯乙酸	甜, 蜂蜜, 花香, 弱酸味	647	
苯丙酸	膏香味, 弱酸味	755	
棕榈酸	弱酸味	5,000	
油酸	弱酸味	1,100	
亚油酸	弱酸味和脂蜡味	670	
亚麻酸	弱酸味和脂蜡味	1,000	
草酸	酸味	45	
乳酸	酸味	133.2	
苹果酸	酸味	87	
柠檬酸	酸味	770	
琥珀酸	酸味	50	

2.4 各有机酸在不同样本中的味觉活力值

香气活力值^[25-27] (OAV) 或味觉活力值 (TAV) 的定义是: 呈香 (味) 物质含量 / 嗅 (味) 觉阈值, OAV 值或 TAV 值 < 0.1 时, 表明该物质对香气或味觉贡献可以忽略, OAV 值或 TAV 值 ≥ 0.1 时, 该物质对香气或味觉有贡献, 值越大, 贡献越大。应用该法则, 可以计算出 27 种有机酸在 51 份样本中对烟气酸味的具体贡献率, 统计分析后的数据见表 4。

表 4 不同有机酸对味觉酸味贡献率 (TAV) 的统计分析

Tab. 4 Statistical analysis of different organic acids' taste active values				
有机酸名称	极小值	极大值	均值	≥ 0.1 样本所占百分比 /%
甲酸	0.112	1.618	0.769	100
乙酸	0.692	6.282	2.390	100
丙酸	0.002	0.134	0.039	1.96
异丁酸	0.097	0.521	0.219	98.04
丁酸	0.393	2.010	0.701	100
异戊酸	3.404	38.596	9.303	100
戊酸	1.009	8.310	2.298	100
3- 甲基戊酸	0.008	0.067	0.021	0.00
己酸	0.003	0.138	0.039	1.96
庚酸	0.005	0.016	0.008	0.00
辛酸	0.000	0.016	0.006	0.00
壬酸	0.022	0.115	0.055	0.00
癸酸	0.003	0.034	0.008	0.00
月桂酸	0.004	0.031	0.019	0.00
肉豆蔻酸	0.000	0.002	0.001	0.00
苯甲酸	0.006	0.048	0.022	0.00
苯乙酸	0.002	0.012	0.005	0.00
苯丙酸	0.001	0.005	0.002	0.00
棕榈酸	0.013	0.038	0.027	0.00
油酸	0.004	0.038	0.021	0.00
亚油酸	0.001	0.012	0.052	0.00
亚麻酸	0.007	0.097	0.056	0.00
草酸	0.057	0.101	0.078	0.00
乳酸	0.231	0.352	0.277	0.00
苹果酸	0.026	0.052	0.042	100
柠檬酸	0.035	0.127	0.088	39.22
琥珀酸	0.503	0.786	0.614	100

从表 4 的统计数据可知：从均值看，异戊酸、乙酸、戊酸的 TAV 值大于 1，甲酸、丁酸、琥珀酸、乳酸和异丁酸大于 0.1，而其余 15 种有机酸均小于 0.1；从标准差看，除异戊酸外，其余 22 种有机酸 TAV 值的标准差均小于 2%，因此这些有机酸对烟气酸味的贡献率呈现极高的规律性；从 TAV 值≥0.1 样本所占百分比（%）看，甲酸、乙酸、丁酸、异戊酸、戊酸、乳酸和琥珀酸等 7 个有机酸在 51 个样本中均是 100%，而异丁酸也高达 98.04%。综上所述，烟气中关键的酸味物质是甲酸、乙酸、异丁酸、丁酸、异戊酸、戊酸、乳酸和琥珀酸等 8 种有机酸，具体排序是：异戊酸>乙酸>戊酸>甲酸>丁酸>琥珀酸>异丁酸>乳酸，而六碳以上的直连羧酸、芳香酸和多数二元酸等其它 15 种有机酸对酸味的贡献几乎可以忽略不计。

2.5 指数模型法与感官评价法对烟气酸味评价的比较研究

基于物质基础建立烟气危害性、烟叶成熟度等指数模型评价方法，使烟叶原料和卷烟产品的品质评价从感官评价的主观方式过渡为客观的量化表征成为可能，是烟草行业对品质研究创新成果和有效经验的集中体现^[34-37]。鉴于此，本文借鉴相关指数模型建立的经验，首次提出与建立烟气酸味指数模型，并与人体感官评价进行相关性检验，为卷烟烟气味觉特征剖析和调控技术提供技术支持。从 2.4 结论可知：对烟气酸味有主要贡献的物质是甲酸、乙酸、异丁酸、丁酸、异戊酸、戊酸、乳酸和琥珀酸等，故烟气酸味指数=（异戊酸 /0.74+ 乙酸 /50+ 戊酸 /0.50+ 甲酸 /160+ 丁酸 /3.19+ 琥珀酸 /50+ 异丁酸 /5.0+ 乳酸 /133.2），按此计算出的烟气酸味指数与按 1.4 方法感官评价得到的酸味分值进行比较，并采用 Excel2010 对两组数据进行相关性检验，分别见表 5 和图 1。

表 5 指数模型法与感官评价法对 51 份烟气样本酸味评价的比较表
Tab. 5 Sour comparison sheet between index model method and sensory evaluation method on 51 tobacco smoke samples

序号	指数模型法	感官评价法	序号	指数模型法	感官评价法	序号	指数模型法	感官评价法
1	16.30	3.52	18	14.19	3.28	35	18.31	3.97
2	13.75	2.87	19	13.34	2.73	36	20.69	4.22
3	8.69	1.64	20	15.92	3.46	37	13.08	2.54
4	12.06	2.00	21	12.88	2.27	38	17.22	3.70
5	11.82	2.00	22	15.96	3.48	39	12.03	1.97
6	10.26	1.77	23	6.80	1.18	40	17.61	3.75
7	12.95	2.33	24	9.87	1.34	41	7.57	1.52
8	15.82	3.44	25	6.52	1.23	42	7.83	1.50
9	27.69	4.77	26	6.99	1.20	43	17.08	3.69
10	12.26	2.14	27	7.38	1.20	44	13.48	2.80
11	9.17	2.25	28	11.16	1.83	45	8.03	1.56
12	10.67	1.84	29	29.46	5.03	46	17.36	3.76
13	14.30	3.28	30	44.39	5.38	47	11.72	1.95
14	14.51	3.23	31	28.66	4.75	48	14.17	3.19
15	17.74	3.92	32	23.12	4.38	49	6.27	1.45
16	9.26	1.86	33	22.83	4.33	50	28.92	5.54
17	7.88	1.53	34	20.03	4.00	51	8.74	2.02

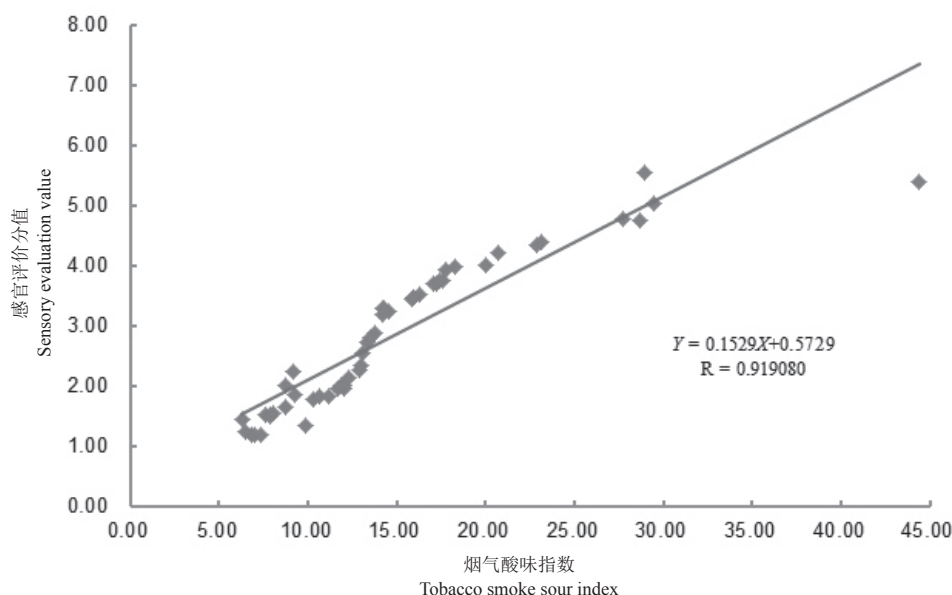


图 1 51 份样品烟气苦味指数与感官评价分值的相关性检验图

Fig.1 Correlation test chart between tobacco smoke sour index and sensory evaluation value on 51 tobacco smoke samples

从图 1 可以看出,指数模型法和感官评价法对 51 份烟气样本酸味评价具有较高的趋势一致性,相关系数达 0.919080。因此,建立的酸味指数模型是量化表征烟气酸味强度的新方法,也从侧面佐证了关键酸味物质鉴定的正确性。

3 结论

甲酸、乙酸、棕榈酸、琥珀酸、乳酸、苹果酸、油酸、亚油酸和亚麻酸是主流烟气中主要的 9 种有机酸,异戊酸、辛酸、苯乙酸、苯甲酸、己酸和戊酸在不同样本中含量变化较大,而琥珀酸、乳酸、草酸、苹果酸和肉豆蔻酸的变化较小。

烟气中关键的酸味物质是甲酸、乙酸、异丁酸、丁酸、异戊酸、戊酸、乳酸和琥珀酸等 8 种有机酸,而六碳以上的直连羧酸、芳香酸和多数二元酸等其它 19 种有机酸对酸味的贡献几乎可以忽略不计。

以上述 8 种机酸味觉活力值为基础建立的烟气酸味指数与人体感官评价之间在烟气酸味强度评价方面取得了较高的趋势一致性,佐证了烟气关键酸味物质研究的科学性,为卷烟烟气味特征剖析和调控技术提供支持。

本文虽系统比较了 51 个样品主流烟气中 27 个有机酸成分含量和味觉阈值,并应用味觉活力值技术实现了关键酸味物质的鉴定,但也存在样品类型(如香料烟)的丰富性、阈值数据的介质为水或空气而非烟气等不足,相关工作有待进一步深化研究。

参考文献

- [1] 陆龙建,陈磊,余冬,等.多元因子分析在卷烟风格特征剖析中的应用[J].烟草科技,2012(10):36-40.
- [2] 王刘胜,马戎.浓香型产区烟叶主要化学成分与风格品质特色及其关系研究[J].中国烟草科学,2013,34(5):28-32.
- [3] 武怡,曾晓鹰,朱保昆,等.中式卷烟风格感官评价方法区域适应性分析[J].烟草科技,2012(9):5-9.
- [4] 李庆华,陈国辉,段姚俊,等.基于 PCA-MD 分类法的云烟系列卷烟风格表征及品质维护[J].烟草科技,2012(9):5-9.
- [5] 吴宁宁,杨俊,张天栋,等.主成分回归法建立卷烟风格与组分的定量关系[J].光谱实验室,2013,30(5):2604-2610.
- [6] 唐远驹.烟叶风格特色的定位[J].中国烟草科学,2008,29(3):1-5.
- [7] 顾永波,肖作兵,刘强,等.基于电子舌技术的卷烟主流烟气味觉识别[J].烟草科技,2011(8):48-51.
- [8] 叶楠,肖作兵,刘强,等.气质联用结合主成分分析辨别卷烟基本味觉的研究[J].食品工业科技,2012(5):76-79.
- [9] Stedman R L, Burdick D, Schmeltz I. Composition studies on tobacco. XVII.:Steam volatile acidic fraction of cigarette smoke[J]. Tob Sci, 1963, 7: 166.
- [10] Frank E Resnik. Chromatography of organic acids in cured tobacco[J]. Anal Chem,1955, 27(6): 928-931.
- [11] Inger Wahiberg, Kerstin Karlsson, Douglas J. Effects of flue curing and ageing on the volatile neutral and acidic constituents of Virginia tobacco[J].Phytochem, 1977, 16: 1217-1231.
- [12] 郭亚东.云南烟草中有机酸的气相色谱研究[D].云南大

- 学硕士论文, 1988.
- [13] 李炎强, 洗可法. 直接进样法分析烟草挥发性和半挥发性酸性成分 [J]. 烟草科技, 1998(6): 22-24.
- [14] 刘百战, 徐亮, 詹建波. 云南烤烟中非挥发性有机酸及某些高级脂肪酸的分析 [J]. 中国烟草科学, 1999(2): 28-31.
- [15] 闫克玉, 李春松, 阎洪喜. 国产烤烟挥发酸含量的对比分析 [J]. 烟草科技, 2006(9): 31-35.
- [16] 申进朝. 烟草中有机酸分析研究进展 [J]. 烟草科技, 2003(8): 29-32.
- [17] 易娇. 反相 HPLC 法同时测定烟草中的 6 种有机酸 [J]. 烟草科技, 2006(7): 25-29.
- [18] 李云. 气相色谱法分析中国烟叶的低级脂肪酸 [J]. 烟草科技, 1989(3): 27-30.
- [19] 鲁喜梅, 谢复炜, 刘晖, 等. 卷烟主流烟气总粒相物中挥发性和半挥发性有机酸的分析 [J]. 烟草科技, 2006(6): 24-29, 64.
- [20] Surburg H, Panten J. Common fragrance and flavor materials. Preparation, properties and uses. 5th completely revised and enlarged edition[M]. Weinheim: Wiley-VCH, 2006.
- [21] Pino J A, Mesa J. Contribution of volatile compounds to mango (*Mangifera indica*) aroma[J]. Flavour Fragr J, 2006, 21(2): 207-213.
- [22] Miranda E J F, Nogueira R I, Pontes SM, et al. Odour-active compounds of banana passa identified by aroma extract dilution analysis[J]. Flavour Fragr J, 2001(16): 281-285.
- [23] Boehlens MH, van Gemert L. Physicochemical parameters related to organoleptic properties of flavour components[J]. Perfum Flavor, 1987, 12(5): 31-43.
- [24] Eyres G, et al. Identification of character-impact odorants in coriander and wild coriander leaves using GC-olfactometry and GC $\times$ GC-TOFMS[C]//11th Weurmann Flavour Research Symposium, 21-24 June, 2005, Roskilde, Denmark.
- [25] Kiefl J, Pollner G, Schieberle P. Sensomics Analysis of Key Hazelnut Odorants (*Corylus avellana* L. 'Tonda Gentile') Using Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography in Combination with Time-of-Flight Mass Spectrometry (GC $\times$ GC-TOF-MS) [J]. J Agric Food Chem, 2013, 61(22): 5226-35.
- [26] Poehlmann S, Schieberle P. Characterization of the aroma signature of styrian pumpkin seed oil (*Cucurbita pepo* subsp. *pepo* var. *Styriaca*) by molecular sensory science[J]. J Agric Food Chem, 2013, 61(12): 2933-42.
- [27] Jeleń H, Majcher M, Ginja A, et al. Determination of compounds responsible for tempeh aroma[J]. Food Chem, 2013 Nov 1, 141(1): 459-65.
- [28] Majcher M A, Klensporf-Pawlik D, Dziadas M, et al. Identification of aroma active compounds of cereal coffee brew and its roasted ingredients[J]. J Agric Food Chem, 2013 Mar 20, 61(11): 2648-54.
- [29] Steinhaus M, Sinuco D, Polster J, et al. Characterization of the key aroma compounds in pink guava (*Psidium guajava* L.) by means of aroma re-engineering experiments and omission tests[J]. J Agric Food Chem, 2009 Apr 8, 57(7): 2882-8.
- [30] Leffingwell J C. Chemical constituents of tobacco leaf and differences among tobacco types [J]. Leffingwell Reports, 2001, 1(2): 1-56.
- [31] 张迎春, 郭国宁, 岳海波, 等. 卷烟主流烟气气相物和总粒相物中有机酸的分析研究 [J]. 分析科学学报, 2010(5): 567-571.
- [32] Philip R Ashurst. Food Flavorings(Third Edition)[M]. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland, 1999.
- [33] van Gemert L J. Flavour Thresholds, compilations of flavor threshold values in water and other media(Edition 2003)[M]. Oliemans Punter & Partners BV, Houten, The Netherlands, 2011.
- [34] 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.
- [35] 谢卫, 黄朝章, 苏明亮, 等. 辅助材料设计参数对卷烟 7 种烟气有害成分释放量及其危害性指数的影响 [J]. 烟草科技, 2013(1): 31-38.
- [36] 夏国聪, 马丽娜, 黄红仪, 等. 国内外不同品牌卷烟样品危害性指数比较 [J]. 烟草科技, 2012(6): 37-41.
- [37] 刘剑君, 杨铁钊, 朱宝川, 等. 基于数字图像数据的烤烟成熟度指数研究 [J]. 中国烟草学报, 2013(3): 61-66.