

回潮温度对中试试样烟丝中致香物质的影响

Effect of resurgence temperature on thearoma substances in the try cut tobacco

李 达¹ 李晓科¹ 许仁杰¹ 袁 鹏¹ 李娥贤²

LI Da¹ LI Xiao-ke¹ XU Ren-jie¹ YUAN Peng¹ LI E-xian²

(1. 红云红河烟草[集团]有限责任公司, 云南 昆明 650231;

2. 云南省农业科学院生物技术及种质资源研究所, 云南 昆明 650223)

(1. Cigarette Product Quality Test Center, Technology Center of China Tobacco Yunnan Industrial

Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650231, China; 2. Institute of Biotechnology and Genetic Resources,

Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming, Yunnan 650223, China)

摘要:以中国市售具有代表性的主力卷烟品牌 M 的两个不同批次(A、B)样品为原料,建立了静态顶空-GC/MS 联用法, MES 自动控制系统采集数据,对 A、B 两批次烟丝样品中的致香成分进行测定。结果显示:①两个批次的成品烟丝共检测出 40 种核心致香成分,其中批次 A 含 34 种,批次 B 含 37 种;② 3-甲基-1-丁醇、2,6-二甲基吡嗪、正十六烷、2-乙酰基呋喃、2-己烯-1-醇、顺式-4-庚烯醛为 A 中未检出的成分,2-甲基吡嗪、异戊烯醇、2-乙酰基吡咯为 B 中未检出的成分;③ B 中的致香物质相对总含量小于样品 A 中的致香物质相对总含量,将回潮区温度控制在 60 °C 有利于保留烟丝中的致香成分。

关键词:回潮区温度;致香成分;静态顶空;MES 系统

Abstract: Taking two different representative batches (A, B) of the domestic commercial cigarette brand M as raw materials. A static headspace-GC/MS method was established and the datas were collected by the MES automatic control system. Aroma components in two batches of tobacco samples (A and B) were determined. RESULTS A total of 40 core aroma components were detected in two batches of finished cut tobacco, of which batch A contained 34 and batch B contained 37; 3-methyl-1-butanol, 2,6-dimethyl Pyridazine, n-hexadecane, 2-acetyl furan, 2-hexen-1-ol, cis-4-heptenal are undetected components in A, 2-

methylpyrazine, isoprene Enol and 2-acetylpyrrole were undetected components in B; the relative total content of aroma substances in B was less than that of aroma substances in sample A, and controlling the temperature of the regain zone at 60 °C was favorable to retain the aroma components in the tobacco.

Keywords: resurgence temperature; aroma component; static headspace; MES system

烟草中的致香物质是一类具有挥发性并且能够刺激人的嗅觉器官的化学物质,可以丰富卷烟的香气,降低卷烟的刺激性,改善卷烟的余味,其主体致香成分是烟碱^[1-3]。烟草中的致香成分和含量与烟草产品的质量密切相关,是评价烟草质量的重要指标,也是衡量其可用性的重要因素,烟草品质的优劣,很大程度上取决于烟草中的致香成分,但对烟丝中致香物质的定性定量测定及指导工业生产仍是一个难点,此外,关于回潮温度参数的设置对烟丝致香成分的影响研究还未见报道^[4]。

中国烟草资源十分丰富,但与国外相比,香气不足仍是影响中国烟草质量的突出问题,长期以来,国内外烟草科技人员对烟草香味以及香味物质进行大量研究。Schumacher 等^[5]从土耳其烟叶中鉴定出 118 种致香物质;黄学跃等^[6]利用蒸馏萃取联合气相-质谱分析方法对两个晒烟品种的致香成分进行分析研究,共检测出 56 种核心致香成分;谢剑平等^[7]采用蒸馏与气质联用的方法对白肋烟中的致香成分进行过研究,共得到 200 种香味物质。目前对烟草致香物质的分析方法有气相色谱-质谱联用法(GC-MS)、水蒸气蒸馏法、溶剂萃取法、固相微萃取和超临界萃取等方法^[8-9],其中以蒸馏萃取与 GC-MS 相结合的方法为主,这些分析方法虽然也能对烟叶中的致香成分进行检测分析,但操作步骤繁琐,提取

基金项目:红云红河烟草(集团)有限责任公司科技项目(编号:HYHH2016GY04);云南省应用基础研究计划项目(编号:2017FD048)

作者简介:李达,男,红云红河烟草(集团)有限责任公司工程师,硕士。

通信作者:李娥贤(1985—),女,云南省农业科学院生物技术及种质资源研究所助理研究员,硕士。

E-mail: 318475043@qq.com

收稿日期:2019-01-29

效率较低,而且溶剂的纯度在痕量分析中也是不可忽视的问题,蒸馏萃取中,也会存在溶剂污染的问题,但是高纯度的气体是很容易得到,可以避免不必要的干扰,顶空气分析法就可以弥补溶剂污染的缺点^[9]。顶空气分析法是一种定性、定量的方法,常用于植物、化工等方面的分析研究^[10-13],但对回潮温度参数的不同设置来研究其对烟丝致香成分的影响方面的研究还尚未见报道。

本试验拟采用静态顶空一气相色谱质谱联用法结合MES系统(制造执行系统)对中国市售同规格卷烟不同批次烟丝中的致香成分进行检测分析,并对回潮温度的控制选择对烟丝致香物质的影响进行探究,以期卷烟生产加工过程中回潮温度的选择提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料、试剂与仪器

1.1.1 材料及试剂

材料:同一主力品牌规格M的两个不同批次的国内市售卷烟成品烟丝样品(批次A、批次B),红云红河集团工艺质量部;

乙酸-2-苯乙酯内标:纯度为99%,美国Sigma公司;

DB-WAX毛细管柱(30 m×0.25 mm i.d.×0.25 μm d.f.):美国Aglient公司。

1.1.2 仪器与设备

顶空自动进样器:TurboMatrix 40 Trap型,美国PerkinElmer公司;

气相色谱质谱联用仪:Clarus 600-Clarus 600T型,美国PerkinElmer公司;

电子分析天平:CP225D型,德国Sartorius公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品前处理 在室温下,称取烟丝样品0.8 g放入顶空瓶中,并加入0.1 μL的内标标准工作液乙酸-2-苯乙酯,旋紧、密封,然后利用静态顶空与气相、质谱相结合的方式对待检烟丝样品中的致香物质进行分析检测。

1.2.2 顶空进样器条件 取样针温度120℃;加热炉温度100℃;载气为高纯度氦气(99.99%),压力135.2 kPa;进样量2 mL;样品加热平衡时间50 min;加压时间0.4 min;进样时间0.4 min;拔针时间0.7 min;操作模式:恒定。

1.2.3 气相色谱—质谱检测条件

(1) 气相色谱检测条件:色谱柱RTX-5MS毛细管柱(30 m×0.32 mm i.d.×0.25 μm d.f.);柱温,起始温度50℃,保持3 min,以5℃/min的速率升温至150℃,然后以6℃/min的速率升到250℃,保持3 min;进样口温度为230℃;载气为高纯氦气(99.99%)。

(2) 质谱检测条件:电离源为EI⁺离子源;电压70 eV;离子源温度200℃;四极杆温度130℃;全扫描模式,质量数扫描范围45~450 amu。

1.2.4 内标物的选择 烟草中的致香成分,大多数都具

有挥发性,在前处理的过程中可能会使致香成分造成一定的损失,用外标定量法会使所测结果存在很大的误差,因此本试验采用内标法来进行半定量分析,选择乙酸-2-苯乙酯作为内标物^[14]。

1.2.5 定性、定量分析

(1) 定性分析:利用GC-MS联机,将作为检测器的质谱和气相色谱联用,通过NIST和WILEY谱库检索,进行定性分析,使烟丝样品中的致香成分在很短的时间内可以得到分离、鉴定。

(2) 定量分析:利用内标法对烟丝样品中致香成分进行半定量分析。以纯度为99%的乙酸-2-苯乙酯为内标物,根据烟丝样品中致香物质的峰面积与内标物峰面积的比值,按式(1)计算出烟丝样品中的致香成分的含量。

$$X = \frac{A_s}{A_i} \times \frac{m_i}{M}, \quad (1)$$

式中:

X——各个化合物的含量,mg/kg;

A_s——各化合物的峰面积;

A_i——内标物质的峰面积;

m_i——内标物质的质量,mg;

M——烟丝质量,kg。

1.2.6 数据采集 为了研究卷烟生产过程中松散回潮工序的回潮温度对成品烟丝致香成分影响,红云红河集团工艺质量部设计了3种回潮温度工艺参数的中试放样批次进行试验。通过红云红河烟草(集团)有限责任公司研发的集团工艺质量云平台对松散回潮工序各个参数点进行数据采集。依据集团生产过程数据采集标准,系统通过实时数据复制机制对生产过程底层原始数据(在线数据)进行采集,并将生产厂的实时数据上报至红云红河烟草(集团)有限责任公司的Historian数据库,运用平台对2个中试批次的卷烟加工过程实时数据进行抽取,对采集的数据进行预处理,数据存储模式如图1所示。

2 结果与讨论

2.1 A、B两批次烟丝中致香成分含量分析

烟丝中的致香成分具有不同的结构和化学性质,因

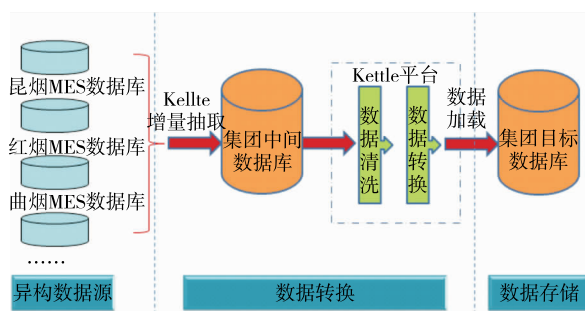


图1 数据存储模式

Figure 1 Data storage mode

而对人的嗅觉可以产生不同的刺激作用,形成不同的嗅觉反应。A、B 两批次烟丝样品中致香成分的种类大致相同,但含量差异明显(表 1)。两批次烟丝共检测出 40 种致香成分,A 含其中 34 种,B 含 37 种,A 中未检测出 3-甲基-1-丁醇、2,6-二甲基吡嗪、正十六烷、2-乙酰基呋喃、2-己烯-1-醇、顺式-4-庚烯醛;样品 B 中未检测出 2-甲基吡嗪、异戊烯醇、2-乙酰基吡咯。A、B 两批次烟丝样品中共同的主体致香成分有 7 种,分别是糠醛、苯甲醇、苯乙醇、苯甲醛、苯乙醛、烟碱、新植二烯和乙酸,其相对含量均在 3.00 mg/kg 以上,其中相对含量最高的是烟碱,分别为 117.987 mg/kg(A)和 98.012 mg/kg(B),其次是新植二烯和乙酸。A、B 样品中的致香成分在含量上存在一定差异:A 中乙酸、烟碱、水合麦芽酚、泛解酸内酯、糠醇和面包酮的相对含量明显高于 B,B 中糠醛、苯甲醇、苯乙醇、香叶基丙酮、新植二烯、苯甲醛、苯乙醛、三乙酸甘油酯的相对含量则明显大于 A,A 中致香物质相对总含量为 205.791 mg/kg,略高于 B(195.129 mg/kg),由此可知,同一规格不同批次烟丝样品中致香成分含量存在不同。

2.2 主要致香物质的分析

烟碱的含量在 A、B 中是最高的,说明烟碱在调节烟丝香气方面起着关键作用,烟碱是生物碱类化合物,提供卷烟抽吸时的烟味、劲头和生理满足感,同时也会带来抽吸时的刺激性,烟碱裂解产生的吡啶类化合物也会产生树脂的香气,共同丰富烟草香味^[15];新植二烯为烟草中重要的萜烯类化合物,是叶绿素降解产物,其本身具有清香香气,烟草燃烧时可直接进入烟气,减轻刺激性、醇和烟气,还可以分解转化为低分子香味成分,在调和烟草香味方面起着重要作用,新植二烯在 A、B 中含量也比较高,仅次于烟碱含量,且 B 中新植二烯的含量高于 A;乙酸在两批次中含量也比较高,乙酸可以调节烟草酸碱度,调和烟草香味;两批次烟丝样品中均检测出芳香族氨基酸类裂解产物,其裂解产物会产生多种致香成分,本试验结果表明,A、B 样品中苯甲醇、苯乙醇、苯甲醛和苯乙醛的含量都相对较高,但总体来看 B 中芳香族氨基酸类裂解产物相对含量高于 A 中;氨基酸与糖类作用的棕色化反应不仅具有香气,还有颜色,香气的优劣与棕色化反应产物有很大关系,糠醛的含量在 B 中是最高的,糠醇、5-甲基呋喃醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮的相对较低,且 A 中这些物质的含量略大于 B。其他致香成分如:胡萝卜素降解产物香叶基丙酮、面包酮、水和麦芽酚、泛解酸内酯等,虽然其含量较低,但对丰富烟草香味,调和香气也有很重要的作用。

2.3 A、B 两批次烟丝中致香成分种类和相对含量占比分析

两个样品中致香成分有 13 类,不同种类的化合物在 A、B 中的数目统计如图 1 所示,两个批次中的化合物成

分在种类上相差不大,但烷烃类和呋喃类化合物在 A 中未检测到,B 中未检测出吡咯类成分,由图 2 可知,A、B 样品中醇类化合物最多,其次是醛类和酮类。不同种类化合物的相对含量在这两个批次的烟丝样品中也存在一定的差异,从图 3 中可以看出,两个样品相对含量占比最高的是生物碱类化合物(烟碱),占总含量的 50%~60%,其次是醛类、羧酸类和烯炔类化合物,醛类和烯炔类成分在 B 中含量更高,而羧酸类和生物碱类成分在 A 中含量更高,其他种类的化合物含量虽然在这两个烟丝样品中相差不大,但对调节烟草香味是不可或缺的,A、B 样品中致香成分含量和数目的差异是烟丝产生不同香味的原因所在。

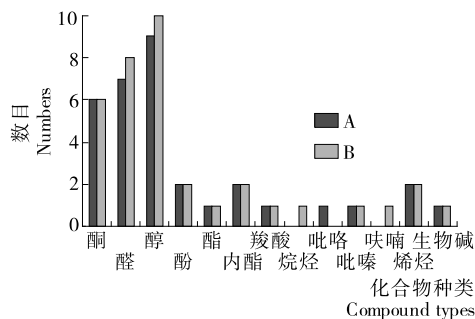


图 2 不同香气种类化合物在 A、B 中数目统计
Figure 2 Statistics of aroma species in A and B

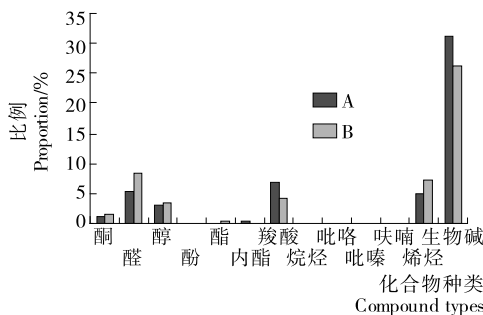


图 3 不同香气种类化合物在 A、B 中相对含量占比
Figure 3 The proportion of different aroma species's content in A and B

2.4 回潮区温度对成品烟丝致香成分的影响

松散回潮工序的工艺参数设定见表 2,实时数据的设定和记录由集团工艺质量云平台系统完成,分别对不同回潮区温度(50,60,70 °C)下的两种成品烟丝样品进行致香成分的分析测定,测定结果见表 3,两批次烟丝中的致香成分在 50~60 °C 变化比较稳定,整体高于 70 °C 下的成分含量。A 中顺-2-戊烯醇在 70 °C 时未检出,香叶基丙酮则在这 3 个回潮区温度下均未检出;当温度为 70 °C 时,B 中苯乙烯、顺-2-戊烯醇和苯酚 3 种成分未检出,可能在 70 °C 时,某些致香成分在较高温度下会挥发或者致香成分发生分解。甘油、1,2-丙二醇、三乙酸甘油酯等成

表 1 市售卷烟 M 的两个批次中致香成分、保留时间及相对含量比较
 Table 1 Comparison of aroma components, retention time and relative content in two batches of commercial cigarette M

序号	化合物名称	批次 A		批次 B	
		保留时间/min	相对含量/(mg · kg ⁻¹)	保留时间/min	相对含量/(mg · kg ⁻¹)
1	1-戊烯-3-酮	4.478	0.305	4.473	0.575
2	2,3-戊二酮	5.925	1.824	5.922	1.714
3	己醛	6.012	1.327	6.013	1.476
4	苯乙烯	9.915	0.272	9.918	0.168
5	2-甲基吡嗪	10.021	0.436	—	—
6	3-甲基-1-丁醇	—	—	8.143	1.037
7	顺-2-戊烯醇	8.357	0.198	8.355	0.154
8	2,6-二甲基吡嗪	—	—	11.035	0.475
9	正十六烷	—	—	12.746	0.315
10	乙酸	16.785	25.996	16.788	15.512
11	异戊烯醇	17.589	0.309	—	—
12	2,3-丁二醇	19.074	0.363	19.074	0.425
13	糠醛	16.557	8.934	16.558	15.106
14	2-乙酰基呋喃	—	—	16.414	0.556
15	烟碱	25.739	117.987	25.739	98.012
16	苯甲醇	22.113	3.013	22.114	5.079
17	苯乙醇	24.511	3.936	24.511	5.031
18	香叶基丙酮	16.136	0.218	16.135	1.227
19	甘油	30.155	0.311	30.156	0.264
20	苯酚	19.187	0.163	19.188	0.373
21	1,2-丙二醇	17.512	1.576	17.512	1.289
22	γ-丁内酯	12.096	0.532	12.096	0.341
23	2-乙酰基吡咯	27.193	1.163	—	—
24	新植二烯	25.655	18.729	25.654	25.732
25	庚醛	9.126	0.726	9.126	0.311
26	正戊醇	11.231	0.436	11.231	0.438
27	面包酮	10.582	0.815	10.582	0.219
28	3-甲基-3-丁烯-2-酮	8.679	0.326	8.674	0.331
29	顺-2-戊烯醇	7.195	0.217	7.197	0.203
30	壬醛	12.989	0.389	12.985	0.377
31	苯甲醛	15.336	3.183	15.336	6.198
32	苯乙醛	23.586	3.559	23.589	7.613
33	乙酸-2-苯乙酯(内标)	26.772	178.242	26.772	178.242
34	三乙酸甘油酯	27.913	0.788	27.913	1.763
35	水合麦芽酚	30.166	0.976	30.163	0.381
36	泛解酸内酯	28.447	0.897	28.447	0.314
37	糠醇	22.046	1.769	22.043	0.681
38	5-甲基呋喃醛	14.229	0.419	14.228	0.203
39	6-甲基-5-庚烯-2-酮	10.833	0.948	10.833	0.712
40	2-己烯-1-醇	—	—	14.117	0.448
41	顺式-4-庚烯醛	—	—	8.175	0.103

表 2 松散回潮工序工艺参数设置

Table 2 Process parameters setting of loose resurgence process

回潮区 温度/℃	温度设 定值/℃	工艺流量/ (kg · h ⁻¹)	滚筒转速/ (r · min ⁻¹)	循环风机转速/ (r · min ⁻¹)	循环气温/ ℃	汽水混合 阀门开度/%	蒸汽阀门 开度/%	加水流量/ (L · h ⁻¹)
50	50	3 000	40	45	60	25	55	121
60	60	3 000	40	45	60	25	55	121
70	70	3 000	40	45	60	25	55	121

表 3 回潮区温度对 A、B 两批次成品烟丝样品致香成分的影响

Table 3 Effect of temperature in resurgence zone on the aroma components of two batches of finished tobacco samples A and B

序号	化合物名称	批次 A			批次 B		
		50 ℃	60 ℃	70 ℃	50 ℃	60 ℃	70 ℃
1	1-戊烯-3-酮	0.312	0.351	0.259	0.575	0.572	0.503
2	2,3-戊二酮	1.819	1.729	1.217	1.713	1.654	1.351
3	己醛	1.317	1.361	1.011	1.476	1.476	1.070
4	苯乙烯	0.269	0.362	0.259	0.154	0.243	—
5	2-甲基吡嗪	0.433	0.451	0.436	—	—	—
6	3-甲基-1-丁醇	—	—	—	1.038	1.233	1.027
7	顺-2-戊烯醇	0.193	0.191	—	0.151	0.150	—
8	2,6-二甲基吡嗪	—	—	—	0.472	0.572	0.470
9	正十六烷	—	—	—	0.314	0.373	0.313
10	乙酸	23.181	27.383	20.887	17.198	17.598	10.175
11	异戊烯醇	0.303	0.391	0.290	—	—	—
12	2,3-丁二醇	0.361	0.458	0.151	0.425	0.625	0.224
13	糠醛	8.125	9.213	6.337	4.001	13.271	7.003
14	2-乙酰基呋喃	—	—	—	0.554	0.551	0.548
15	烟碱	110.107	125.244	97.199	102.009	108.213	99.801
16	苯甲醇	2.306	3.308	1.292	3.008	5.987	3.984
17	苯乙醇	3.023	3.874	3.754	4.872	5.163	3.158
18	香叶基丙酮	—	—	—	0.726	1.323	0.418
19	甘油	0.311	0.610	0.209	0.261	0.260	0.254
20	苯酚	0.162	0.160	0.357	0.172	0.150	—
21	1,2-丙二醇	2.576	2.771	1.265	1.589	1.789	0.587
22	γ-丁内酯	0.331	0.631	0.330	0.342	0.541	0.337
23	2-乙酰基吡咯	1.163	1.161	1.159	—	—	—
24	新植二烯	23.188	26.128	17.694	22.132	29.964	18.209
25	庚醛	0.725	0.725	0.718	0.701	0.698	0.691
26	正戊醇	0.436	0.434	0.430	0.438	0.435	0.429
27	面包酮	0.214	0.213	0.210	0.217	0.213	0.213
28	3-甲基-3-丁烯-2-酮	0.325	0.926	0.323	0.331	0.331	0.330
29	顺-2-戊烯醇	0.217	0.314	0.214	0.201	0.198	0.189
30	壬醛	0.389	0.487	0.580	0.377	0.375	0.471
31	苯甲醛	3.097	3.224	5.872	6.943	7.352	8.798
32	苯乙醛	2.765	3.493	5.302	5.342	7.317	9.193
33	乙酸-2-苯乙酯(内标)	178.242	178.242	178.242	178.242	178.242	178.242
34	三乙酸甘油酯	1.766	1.784	0.281	1.961	2.760	0.756
35	水合麦芽酚	0.576	0.876	0.481	0.381	0.580	0.278
36	泛解酸内酯	0.293	0.790	0.687	0.309	0.502	0.279
37	糠醇	0.566	1.763	1.364	0.578	0.773	0.738
38	5-甲基呋喃醛	0.217	0.516	0.801	0.201	0.188	0.679
39	6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.443	1.941	0.940	0.811	1.210	0.902
40	2-己烯-1-醇	—	—	—	0.443	0.641	0.441
41	顺式-4-庚烯醛	—	—	—	—	—	—

分含量明显高于 70 °C 条件下含量,这些成分能够增加卷烟香味,减少抽吸时的刺激性和干燥感,对卷烟质量有重要影响;苯酚、苯甲醛、苯乙醛、5-甲基呋喃醛在 70 °C 时则偏高一点,这些物质大多有毒或对卷烟吃味不利。

A、B 样品中主体香气成分在不同回潮温度下的相对含量变化如表 4 所示,糠醛、苯甲醇、苯乙醇、苯甲醛、苯乙

醛、烟碱、新植二烯和乙酸 7 种主体致香成分在回潮温度为 60 °C 时其相对总含量最高,同样样品中总致香成分在 60 °C 时也达到最高,由于以上物质是构成烟丝香味的重要成分,所占比例也是最高,对平衡烟气酸碱、调和烟气香味、丰富烟草香味和降低刺激性具有重要作用。综合来看,设定回潮温度为 60 °C 更有利于保留烟丝中的致香成分。

表 4 A、B 样品中主要致香物质在不同回潮温度控制下的含量变化

Table 4 The content of main aroma substances in A and B in the different temperature of the resurgence zone mg/kg

名称	批次 A(相对含量)			批次 B(相对含量)		
	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C
糠醛	8.125	9.213	6.337	4.011	13.271	7.003
苯甲醇	2.306	3.308	1.292	3.008	5.987	3.984
苯乙醇	3.023	3.874	3.754	4.872	5.163	3.158
苯甲醛	3.097	3.224	5.872	6.943	7.352	8.798
苯乙醛	2.765	3.493	5.302	5.342	7.317	9.193
烟碱	110.107	125.244	97.199	102.009	108.213	99.801
新植二烯	23.188	26.128	17.694	22.132	29.964	18.209
乙酸	23.181	27.383	20.887	17.198	17.598	10.175
主要致香物质相对总含量	122.907	153.376	133.409	148.358	182.033	149.172
样品致香物质相对总含量	367.971	391.753	352.951	359.658	389.42	354.661

3 结论

采用静态顶空—气相色谱质谱(HS-GC/MS)联用法对 A、B 两批次的烟丝样品中致香成分进行分析测定,该方法可以快速准确进行分析测定,条件比较温和,操作简单可行。本试验研究表明,A、B 两个批次的成品烟丝样品致香成分及比例有差异,在所检测出的 40 种致香成分中,批次 A 含其中的 34 种,批次 B 含其中的 37 种,A 中的致香物质相对总含量大于 B 中的致香物质相对总含量。回潮区温度控制在 60 °C 更有利于保留烟丝中的致香成分,这对卷烟生产过程关于回潮温度参数的选择具有一定的现实意义。

参考文献

[1] 李汉超. 烟草香味化学的进展[J]. 郑州轻工业学院学报, 1986(1): 114-117.
 [2] 景延秋, 宫长荣, 张月华, 等. 烟草香味物质分析研究进展[J]. 中国烟草科学, 2005, 26(2): 44-48.
 [3] 段胜智, 李军营, 杨利云, 等. 烟叶致香成分及其环境影响因子的研究进展[J]. 贵州农业科学, 2015, 43(1): 45-52.
 [4] 刘宇, 颜合洪. 烟叶致香物质的研究进展[J]. 作物研究所, 2006, 20(5): 470-474.
 [5] SCHUMACHER J N, VESTAL L. Isolation and identification of some components of Turkish tobacco[J]. Tob Sci, 1974(18): 43-48.
 [6] 黄学跃, 柴家荣. 两个晒烟品种主要致香成分分析[J]. 云南农业大学学报, 2006, 21(2): 192-195.

[7] 谢剑平, 赵明月, 吴鸣. 白肋烟重要香味物质组成的研究[J]. 烟草科技, 2002(10): 3-16.
 [8] 曹琳, 秦利霞, 康诗钊, 等. 香精香料的常见检测方法综述[J]. 上海应用技术大学, 2017, 45(21): 17-20.
 [9] 黄曼艳, 陈森林, 陶红, 等. 烟叶中致香成分前处理与检测方法研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(9): 2 072-2 079.
 [10] 覃光炯, 饶雄飞, 杨艳华, 等. 静态顶空—气质联用法分析烤烟中香味物质[J]. 广州化工, 2015, 43(11): 116-118.
 [11] 卢斌斌, 张璟琳, 曾世通, 等. 静态顶空—GC/MS 技术分析浸膏中的溶剂残留[J]. 烟草科技, 2016, 49(10): 60-65.
 [12] 陆冰琳, 黄世杰, 朱静. 静态顶空—气质联用仪对铁观音茶叶中挥发性香味成分的分析[J]. 园艺与种苗, 2015(8): 78-79.
 [13] 员梦梦, 李保印, 周秀梅. 静态顶空进样—气质联用法测定玫瑰花香成分[J]. 分析检测, 2016, 37(20): 101-109.
 [14] 蒋举兴, 夏启东, 段焰青, 等. 卷烟香精香料中 23 种加香物质的气相色谱质谱法检测[J]. 食品工业, 2013, 34(9): 221-223.
 [15] 李孟华, 徐玉琼, 张峻松. 烟草中烟碱的分析研究进展[J]. 农产品加工: 学刊, 2009(9): 71-74.