基于超快速气相电子鼻技术研究中药香囊放置过程中的气味成分变化Δ

于小聪[1*]，张礼欣[1]，王泽琨[1]，束雅春[1#]，张先林[1]，姚　毅[1]，毛春琴[2]（1.南京中医药大学附属医院药学部，南京 210029；2.南京中医药大学药学院，南京　210023）

中图分类号　R917　　**文献标志码**　A　　**文章编号**　1001-0408（2023）03-0339-06
DOI　10.6039/j.issn.1001-0408.2023.03.16

摘　要　目的　采用超快速气相电子鼻技术，解析不同放置时间下2种中药香囊（儿童型和成人型）的气味成分变化规律。**方法**　通过气相色谱法分析不同放置时间的香囊成分变化规律，同时结合电子鼻自带的Arochembase数据库得出定性结果，并运用判别因子分析方法分析2种香囊样品的整体气味成分差异。**结果**　儿童型香囊共鉴定出10种气味成分，其中α-蒎烯和β-蒎烯可作为儿童型香囊的功能性指标成分；儿童型香囊放置0.25 d后有5种气味成分消失，放置7 d后大部分气味成分基本消失；判别因子分析累计贡献率为99.225%。成人型香囊共鉴定出8种气味成分，其中α-蒎烯和α-水芹烯可作为成人型香囊的功能性指标成分。成人型香囊放置0.25 d后有4种气味成分消失；放置15 d后6～8号峰消失，5号峰强度较放置0 d时下降了34.3%；判别因子分析累计贡献率为91.965%。**结论**　随着放置时间延长，2种中药香囊的气味成分均在不断减少；建议儿童型香囊的使用时间为7 d，成人型香囊的使用时间为15 d。

关键词　中药香囊；电子鼻；气相色谱法；气味成分；物质基础

Study on odor composition change of traditional Chinese medicine sachet during placement based on ultra-fast gasphase electronic nose technology

YU Xiaocong[1], ZHANG Lixin[1], WANG Zekun[1], SHU Yachun[1], ZHANG Xianlin[1], YAO Yi[1], MAO Chunqin[2]（1. Dept. of Pharmacy, the Affiliated Hospital of Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210029, China; 2. College of Pharmacy, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China）

ABSTRACT　OBJECTIVE To analyze the odor composition changes of two kinds of traditional Chinese medicine sachet (children type and adults type) with different placement time by using ultra-fast gasphase electronic nose technology. **METHODS** The change rule of sachet components at different storage times was analyzed by gas chromatography. At the same time, the qualitative results were obtained by combining electronic nose with Arochembase database. Discriminant factor analysis was used to analyze the overall odor composition differences of the two sachet samples. **RESULTS** A total of 10 odor compositions were identified in children-type sachet, including α-pinene and β-pinene as the functional index compositions; five odor compositions of children-type sachet disappeared after 0.25 days, and most of them disappeared after 7 days; the cumulative contribution rate of discriminant factor analysis was 99.225%. A total of 8 odor compositions were identified in adult-type sachets, including α-pinene and α-phellandrene as the functional index compositions; four odor components disappeared after the adult-type sachet was placed for 0.25 days; after 15 days of placement, the peak 6-8 disappeared, and the intensity of peak 5 decreased by 34.3% compared with 0 day of placement; the cumulative contribution rate of discriminant factor analysis was 91.965%. **CONCLUSIONS** With the extension of storage time, the smell and composition of the two traditional Chinese medicine sachets are decreasing. It is recommended that the use time of children-type sachet is 7 days, and that of adult-type sachet is 15 days.

KEYWORDS　traditional Chinese medicine sachet; electronic nose; gas chromatography; odor composition; material basis

中药香囊是人类从古至今都在使用的装载有芳香类中药的预防与保健用品，现代香囊使用主要是佩戴于颈部、腰间、胸前、脚踝，亦可置于枕头内或床帐上[1]。辟疫香囊可用于预防和治疗疾病，是应用最为广泛、使用最早的一类中药香囊，也是配方种类最多的一种[2－3]。目前有关中药香囊的文献研究主要集中于香囊的药理

Δ**基金项目**　南京市高价值专利组合项目补助资金资助项目（No.宁科〔2018〕145号）

＊**第一作者**　硕士研究生。研究方向：中药制剂分析与代谢组学。E-mail：yu13693868679@163.com

＃**通信作者**　主任中药师，硕士生导师，博士。研究方向：中医药健康产品研究与开发。电话：025-86617141。E-mail：guzheng0512@163.com

作用和临床效果观察上[4－9]，而有关香囊的质量控制、气味研究鲜有相关文献报道。且随着放置时间增加，香囊的挥发性成分必然会损失，但挥发性成分的损失程度与放置时间的具体关系尚缺乏研究。因此对不同放置时间的中药香囊进行气味与成分研究可以为其使用时间提供一定的参考价值。本实验所用的上工香囊分为2种，其中儿童型香囊配方为全国名中医汪受传教授的经验方，主要由肉桂、苍术、艾叶、山柰等药材组成；成人型香囊配方为国医大师周仲瑛教授的经验方，主要由艾叶、肉桂、苍术、石菖蒲、广藿香、丁香等药材组成。2种中药香囊均属于外用品，对外感风寒引起的感冒、头疼、咽喉肿痛、呕吐有一定的预防和治疗功效[10]。

超快速气相电子鼻是一款将气相色谱技术与电子鼻识别技术相结合的仿生系统，其优点是操作简单、检测快捷、灵敏度高，可检测样品整体信息形成气味指纹图谱，同时结合Kovats保留指数定性库，可定性分析气味成分，现已应用于食品、化工、农业等多个领域[11－19]。挥发油成分是中药香囊发挥药效的主要物质基础，而目前有关中药香囊挥发性成分的研究尚缺少客观的量化指标。鉴于此，本研究采用Heracles NEO超快速气相电子鼻技术获取中药香囊的气味和成分信息，建立气味信息图谱，同时结合化学计量学方法建立判别因子分析模型对不同放置时间中药香囊的气味特征及成分进行分析，以期为其合理开发应用提供科学依据。

1　材料

1.1　主要仪器

Heracles NEO型超快速气相电子鼻购自法国Alpha MOS公司（配备HS-100型自动进样器）；FA1104N型电子天平购自上海菁海仪器有限公司；20 mL顶空进样瓶购自广州市鸿洲实验器材科技有限公司。

1.2　香囊与混合对照品

儿童型香囊（编号A1～A15，批号20171202）和成人型香囊（编号B1～B15，批号20180101）均购自贵州同德药业有限公司；正构烷烃（nC6～nC16）混合对照品（批号A0142930，每100 g混合物中含有nC6～nC16共0.02～52.27 g）购自美国Restek公司。

2　方法

2.1　样品前期准备

将中药香囊放置在室内，室内温度19～26 ℃，湿度55%～70%，放置时间见表1。

2.2　进样条件考察

本实验采用顶空进样，为得到良好的分离效果，需要对检测条件进行优化，以确定最佳检测条件。参考相关文献[11－12]，通过气相色谱图分析，分别对进样体积、孵化温度、孵化时间进行单因素考察。

2.2.1　进样体积考察　精密称定样品粉末0.5 g（编号A1）于顶空进样瓶中，设置孵化时间为5 min，振摇温度为45 ℃，考察进样体积为1 000、2 000、3 000、4 000、5 000 μL时各色谱图中色谱峰峰形及色谱峰数量的变化。结果显示，当进样体积为4 000 μL时，各色谱峰峰形稳定且色谱峰强度达到饱和，故确定4 000 μL为最佳进样体积。

表1　中药香囊放置时间

样品编号	放置时间/d	样品编号	放置时间/d
A1	0	B1	0
A2	0.25	B2	0.25
A3	0.5	B3	0.5
A4	1	B4	1
A5	1.5	B5	1.5
A6	2	B6	2
A7	2.5	B7	2.5
A8	3	B8	3
A9	3.5	B9	3.5
A10	4	B10	4
A11	5	B11	5
A12	6	B12	6
A13	7	B13	7
A14	15	B14	15
A15	30	B15	30

2.2.2　孵化温度考察　精密称定样品粉末0.5 g（编号A1）于顶空进样瓶中，设置进样体积为4 000 μL，孵化时间为5 min，考察孵化温度分别为55、60、65、70、75 ℃时各色谱图中色谱峰峰形及色谱峰数量的变化。结果显示，当孵化温度为65 ℃时，各色谱峰峰形稳定且色谱峰强度达到饱和，故确定65 ℃为最佳孵化温度。

2.2.3　孵化时间考察　精密称定样品粉末0.5 g（编号A1）于顶空进样瓶中，设置进样体积为4 000 μL，孵化温度为65 ℃，考察孵化时间分别为5、10、15、20、25 min时各色谱图中色谱峰峰形及色谱峰数量的变化。结果显示，当孵化时间为15 min时，各色谱峰峰形稳定且色谱峰强度达到饱和，故确定15 min为最佳孵化时间。

2.3　电子鼻检测参数

根据单因素实验考察确定的检测条件，使用Heracles NEO型超快速气相电子鼻对放置不同时间的2种香囊进行气味分析。相关检测参数如下：样品瓶容积20 mL；样品量为0.5 g；进体积为4 000 μL；孵化温度为65 ℃；孵化时间为15 min；注射速度为125 μL/s；注射持续时间为37 s；进样口温度为200 ℃；进样口压力为10 kPa；捕集阱初始温度为50 ℃，最终温度为240 ℃；柱温初始为50 ℃，采用程序升温（以1 ℃/s升温至70 ℃；以2 ℃/s升温至90 ℃；以0.2 ℃/s升温至105 ℃；以5 ℃/s升温至250 ℃）；采集时间为136 s；火焰化离子检测器增益为12。

2.4　方法学考察

2.4.1　精密度考察　精密称定样品粉末0.5 g（编号A1），共6份，按“2.3”项下条件进样分析。选取峰面积较大且稳定的7、8、9号峰作为特征峰，测定特征峰的峰面积。结果显示，3个特征峰峰面积的RSD分别为3.5%、1.1%、1.7%（n=6），表明仪器精密度良好。

2.4.2　重复性考察　分别取6次样品粉末0.5 g（编号A1），精密称定，按“2.3”项下条件进样分析。选取峰面积较大且稳定的7、8、9号峰作为特征峰，测定特征峰的峰面积。结果显示，3个特征峰峰面积的RSD分别为2.5%、1.5%、1.5%（n=6），表明该方法重复性良好。

2.4.3　稳定性考察　精密称定样品粉末0.5 g（编号A1），共6份，于进样瓶中放置0、2、4、8、12、24 h时按“2.3”项下条件进样分析。选取峰面积较大且稳定的7、8、9号峰作为特征峰，测定特征峰的峰面积。结果显示，3个特征峰峰面积的RSD分别为1.7%、0.6%、1.5%（n=6），表明样品在进样瓶中24 h内稳定性良好。

2.5　判别因子分析

判别因子分析是一种用于构建模型和判定个体所属类别的统计方法。与主成分分析相比，其可使不同类组群数据间差异尽可能扩大，而使同类组群数据间差异尽可能缩小，从而建立更好识别的数据模型，更好地体现出样品的差异性[11—12]。本研究采用Heracles NEO型超快速气相电子鼻自带的Alpha Soft V14.2软件对不同放置时间中药香囊的色谱图数据进行判别因子分析。

3　结果

3.1　儿童型香囊气味成分分析结果

通过对儿童型香囊（编号A1～A15）样品粉末进行分析，得到不同放置时间样品的色谱图，见图1。由图1可知，随着放置时间的延长，色谱峰的峰高逐渐降低、数量逐渐变少，说明不同放置时间儿童型香囊的气味存在明显差异。通过Kovats保留指数定性分析，并与电子鼻自带的Arochembase数据库信息匹配后共鉴定出10种气味成分，结果见表2。其中，α-蒎烯（9号峰）作为天然香料，有着和松木树脂类似的香气，具有抗菌、杀菌作用，可以减轻炎症反应、抑制肿瘤细胞生长、抗病毒等[20—21]；β-蒎烯（10号峰）同样具有抑菌、抗肿瘤作用[20—22]。因此，可将α-蒎烯和β-蒎烯作为儿童型香囊的功能性指标成分。

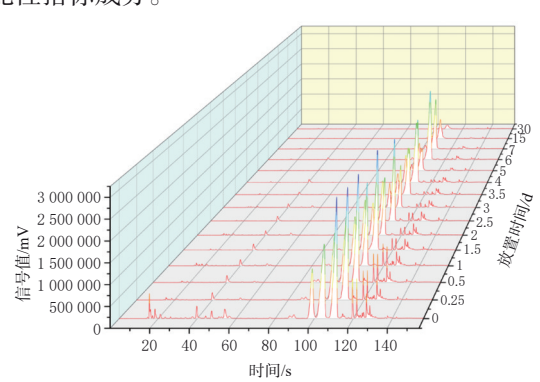


图1　不同放置时间儿童型香囊的叠加色谱图

不同放置时间下儿童型香囊的气味信息镜像对比图见图2。由图2可知，儿童型香囊放置0.25 d后，有5种气味成分消失。与放置0 d相比，放置0.25 d后，7号峰强度下降了45.8%，8号峰强度下降了21.8%，9号峰强度下降了14.4%；放置3.5 d后，7号峰强度下降了90.8%，8号峰强度下降了70.1%，9号峰强度下降了50.8%；放置7 d后，大部分气味成分基本消失，9号峰强度下降了56.8%；放置30 d后，9号峰基本消失。

表2　儿童型香囊气味物质基础及感官描述信息

峰号	可能的化合物	MXT-5柱保留指数	MXT-1701柱保留指数	分子式	感官（气味）描述信息
4	甲硫醇	451	461	CH_4S	白菜、奶酪、辛辣
5	氯乙烷	451	531	C_2H_5Cl	大气、辛辣
6	丙烯醛	451	592	C_3H_4O	杏仁、樱桃
7	二甲基二硫醚	750	797	$C_2H_6S_2$	大蒜、洋葱
8	3-甲基丁酸乙酯	857	887	$C_7H_{14}O_2$	茴香、苹果、黑加仑
9	α-蒎烯	939	938	$C_{10}H_{16}$	樟脑、松脂
10	β-蒎烯	991	994	$C_{10}H_{16}$	松树、萜烯的
11	3-庚醇	888	1 025	$C_7H_{16}O$	绿色的、草药的
12	（Z,Z）2,4庚二烯醛	1 007	1 173	$C_7H_{10}O$	未知
13	磷酸三乙酯	1 098	1 289	$C_6H_{15}O_4P$	淡味的、愉悦的

注：峰号1～3未被数据库识别出，或者识别指数不高，所以略

3.2　成人型香囊气味成分分析结果

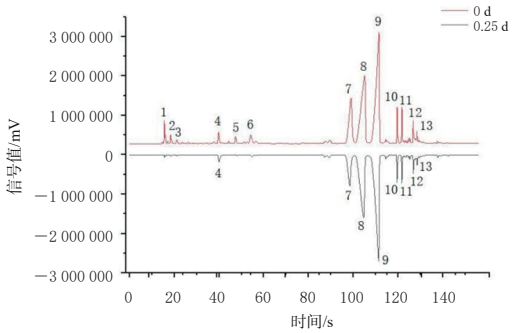
通过对成人型香囊（编号B1～B15）样品粉末进行分析，得到不同放置时间样品的色谱图，见图3。由图3可知，随着放置时间的延长，色谱峰的峰高逐渐降低、数量逐渐变少。尤其是放置15 d之后，色谱峰的峰高明显降低。这说明不同放置时间成人型香囊的气味存在明显差异。通过Kovats保留指数定性分析，再与Arochembase数据库信息匹配后共鉴定出8种气味成分，详见表3。其中，α-水芹烯（7号峰）是一种有薄荷味的天然香料，存在于桉树油、小茴香油、肉桂叶油、松节油等多种挥发油中，具有抑菌、抗菌活性，可作为祛痰剂[23—25]。因此，可将α-蒎烯和α-水芹烯作为成人型香囊的功能性指标成分。

不同放置时间成人型香囊的气味信息镜像对比图见图4。由图4可知，成人型香囊放置0.25 d后，有4种气味成分消失；放置15 d后，6～8号峰消失，5号峰强度较放置0 d时下降了34.3%；放置30 d后，9号峰基本消失。

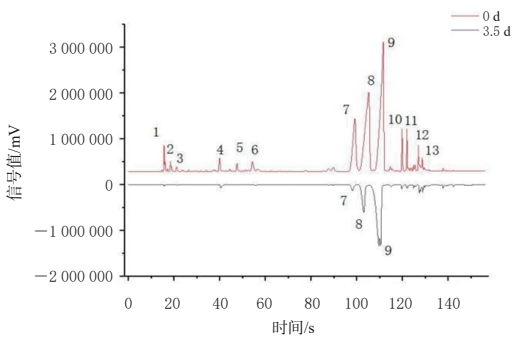
3.3　2种香囊的判别因子分析结果

儿童型香囊色谱数据的判别因子分析结果显示，判别因子1的贡献率为95.643%，判别因子2的贡献率为3.582%，累计贡献率为99.225%，这说明判别因子分析模型可明显区分不同放置时间的儿童型香囊样品（图5）。由图5可知，放置0.25 d的香囊气味成分与放置0 d的香囊可明显区分；从放置3.5 d开始，随着放置时间的延长，样品点聚集，说明气味成分变化越来越小。结合色谱图的分析结果可知，放置7 d的儿童型香囊的功能性成分已经基本挥发。可见，判别因子分析结果与色谱图分析结果一致。

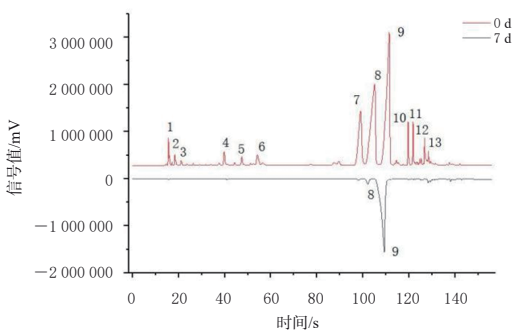
成人型香囊色谱数据的判别因子分析结果显示，判别因子1的贡献率为66.635%，判别因子2的贡献率为



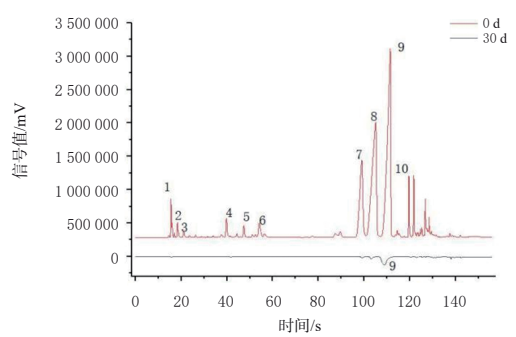
A. 0 d与0.25 d对比



B. 0 d与3.5 d对比



C. 0 d与7 d对比



D. 0 d与30 d对比

图2　不同放置时间儿童型香囊的气味信息镜像对比图

25.330%，累计贡献率为91.965%，这说明判别因子分析模型可明显区分不同放置时间的成人型香囊样品（图6）。由图6可知，放置0.25 d的样品与放置0 d的样品有明显区别。随着放置时间的延长，各样品点距离放置0 d的样品点越来越远，说明其气味成分发生了较大变化。结合色谱图的分析结果可知，放置15 d的成人型香囊的功能性成分已经基本挥发。由此可见，判别因子分析模型分析结果与色谱分析结果一致。

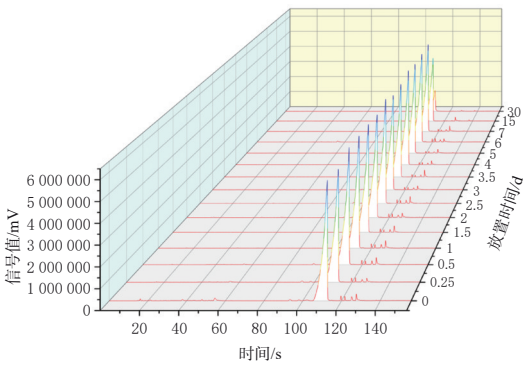
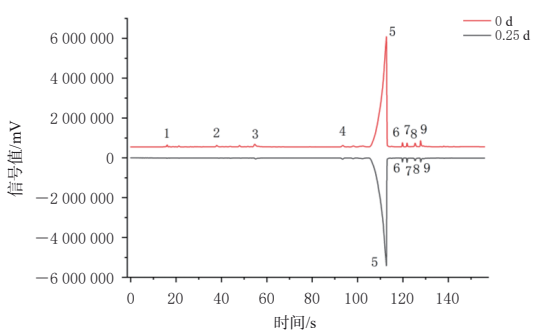


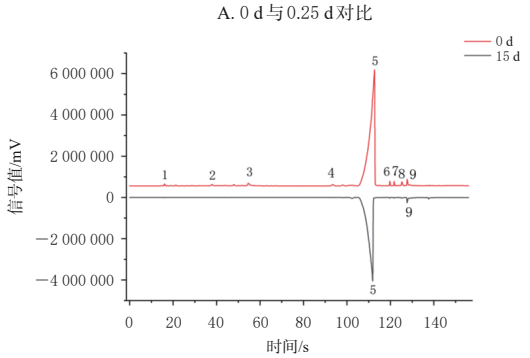
图3　不同放置时间成人型香囊的叠加色谱图

表3　成人型香囊气味物质基础及感官描述信息

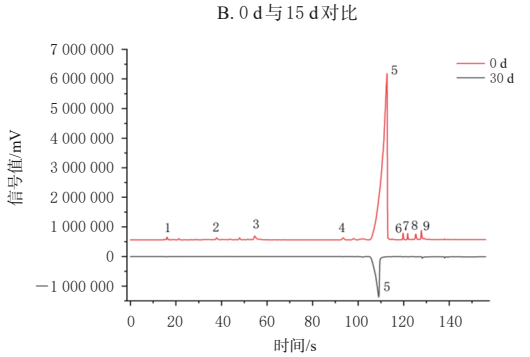
峰号	可能的化合物	MXT-5柱保留指数	MXT-1701柱保留指数	分子式	感官（气味）描述信息
2	二甲胺	429	445	C_3H_9N	胺、鱼腥
3	甲基叔丁基醚	552	598	$C_5H_{12}O$	薄荷味、萜烯的
4	2-甲基庚烷	762	773	C_8H_{18}	未知
5	α-蒎烯	939	946	$C_{10}H_{16}$	樟脑、松脂
6	5-甲基-4-壬烯	1 007	995	$C_{10}H_{20}O$	未知
7	α-水芹烯	1 007	1 025	$C_{10}H_{16}$	薄荷味、萜烯的
8	4-甲基-1-己醇	949	1 092	$C_7H_{16}O$	草、甜
9	庚酸丙酯	1 204	1 235	$C_{10}H_{20}O_2$	苹果、水果



A. 0 d与0.25 d对比

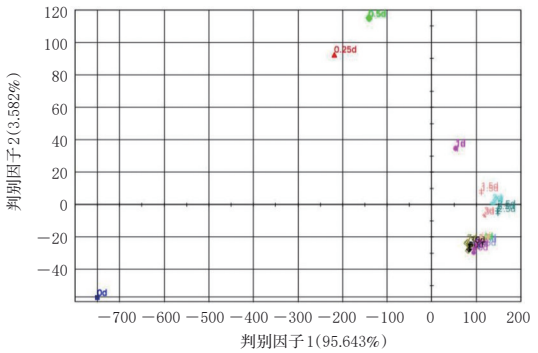


B. 0 d与15 d对比



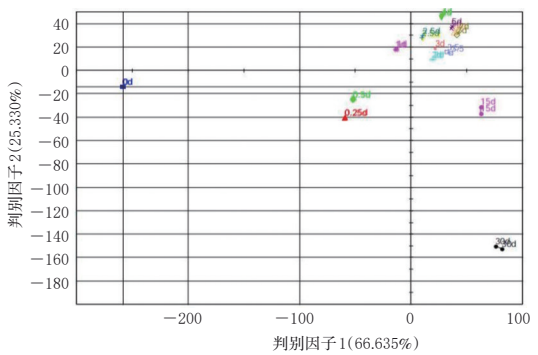
C. 0 d与30 d对比

图4　不同放置时间成人型香囊的气味信息镜像对比图



注：不同颜色的数据点代表了不同放置时间

图5　不同放置时间儿童型香囊样品判别因子分析图



注：不同颜色的数据点代表了不同放置时间

图6　不同放置时间成人型香囊样品判别因子分析图

4　讨论

我国自古以来就有佩带中药香囊预防疾病的做法。中药香囊源于传统医学“衣冠疗法”，通过口鼻吸入和皮肤、经络吸收而发挥避秽浊、防御疾病的功效。其使用历史悠久，早在殷商甲骨文中即有熏燎、艾蒸和酿制香酒的记载；《山海经》曰：“佩之可以已疠”；汉代已有使用香囊进行避秽、防御疾病的记载，明清时期发展到顶峰。清徐大椿著《神农本草经百种录》曰：“香者，气之正，正气盛则除邪辟秽也”。至今，民间有“带个香草包，不怕五虫害”之风俗。佩戴香囊是极具特色的中医外治法，目前广泛用于避邪除秽、调摄养生和预防疾病。

目前电子鼻多用于酒、茶、饮料、果蔬、肉制品、油脂等食品领域，以及饮片产地加工炮制等中药领域。应用电子鼻系统代替人类的嗅觉系统，将气味差异和气味浓淡这种主观评价转化成为数字化的客观定量描述，能够反映中药“整体气味特征”，符合中药“整体论”观点。同时，电子鼻与其他检验仪器相比，具有快速、低检测限、高灵敏度等优点。

根据本研究色谱图与判别因子分析结果可知，儿童型香囊在放置3.5 d后其中的α-蒎烯和β-蒎烯2个成分峰的强度大幅下降；放置7 d后，大部分成分基本消失。因此，笔者建议儿童型香囊的使用时间为7 d。成人型香囊在放置15 d后，其中α-蒎烯和α-水芹烯2个成分峰消失。因此。笔者建议成人型香囊的使用时间不超过15 d。不同药味组成的香囊组方，其放置时间有所不同，但总体而言，随着放置时间的延长，香囊中芳香挥发性成分将日益减少，有效性会逐渐降低。因此，建议消费者购买香囊以后，使用时再行拆封、佩戴。若晚间不佩戴时，用密封袋（盒）尽可能封好，以减少挥发性成分的损失。此外，香囊的气味变化还可能与温湿度有关，并与香囊的有效期、保质期有关。

综上所述，随着放置时间延长，2种中药香囊的气味成分均在不断减少；建议儿童型香囊的使用时间为7 d，成人型香囊的使用时间为15 d。

参考文献

[1] 宋辰斐，薛征，李梦娇.《药物香佩疗法预防小儿反复呼吸道感染治未病实践指南》香囊佩戴方法的德尔菲法评价和结果分析[J]. 中国中医药信息杂志，2016，23(9)：23-27.

[2] 曾治君，刘洋，袁卫建，等. 中药香囊的研究及发展现状[J]. 中华中医药杂志，2020，35(7)：3560-3562.

[3] 张询，万娜，黄小英，等. 芳香中药在抗新型冠状病毒肺炎（COVID-19）中的应用[J]. 中草药，2021，52(11)：3408-3417.

[4] 吕鹏，白明学，金云隆，等. 中药香囊挥发油对呼吸道常见致病菌的抑菌作用分析[J]. 临床研究，2021，29(12)：101-104.

[5] 蔡丽萍，张瑞，郭莉峰，等. 中药防感香囊预防感冒临床观察[J]. 光明中医，2021，36(18)：3029-3031.

[6] 褚志凤，黄美红，高远，等. 中药辟秽香囊干预松江地区居民感冒的疗效观察[J]. 贵州医药，2021，45(8)：1298-1299.

[7] 陈智文. 探讨中药防疫香囊对成人流行性感冒的临床预防效果[J]. 中国社区医师，2021，37(21)：187-188.

[8] 张小芬，张权. 苗药防感香囊活性提取物对聚肌胞苷酸刺激的支气管上皮细胞IFN-α、IL-6水平的影响及机制[J/OL]. 中华临床医师杂志（电子版），2021，15(4)：272-279[2022-11-12]. https://d.wanfangdata.com.cn/periodical/zhlcyszz202104007. DOI：10.3877/cma.j.issn.1674-0785.2021.04.007.

[9] 邓泽坤，孟泳，王玉洁，等. 香囊疗法预防新型冠状病毒肺炎应用初探[J]. 中国民间疗法，2020，28(11)：8-10.

[10] 吴洁雁，肖莘芹，林淑君，等. 中药防疫香囊的应用探讨[J]. 暨南大学学报（自然科学与医学版），2020，41(6)：543-552.

[11] 张玖捌，张伟，费程浩，等. 基于Heracles NEO超快速气相电子鼻的硫熏白芍快速鉴别研究[J]. 中国中药杂志，2022，47(14)：3781-3787.

[12] 蒋孝峰，谢辉，陆兔林，等. 基于Heracles NEO超快速气相电子鼻技术的麦芽炒制过程气味变化物质基础研究[J]. 中草药，2022，53(1)：41-50.

[13] 冯廷闯，符漫，熊英梅，等. 基于电子舌、电子鼻和GC-MS分析襄阳大头菜新、老卤水滋味和挥发性物质[J]. 中国酿造，2021，40(11)：49-54.

[14] 李丽霞，王宝怡，李晓晗，等. 藜麦茶研发及香气电子鼻

分析[J]. 食品研究与开发,2021,42(22):110-116.
[15] 辛明航,曹旭,滕旭,等. HS-SPME-GC-MS联用及电子鼻分析不同提取方法油莎豆油香气特征[J]. 食品科学,2022,43(10):281-288.
[16] 袁灿,何莲,胡金祥,等. 基于电子舌和电子鼻结合氨基酸分析鱼香肉丝调料风味的差异[J]. 食品工业科技,2022,43(9):48-55.
[17] 万忠民,张崇彬,邓铭杰,等. 基于电子鼻和GC-MS对优质稻谷挥发性成分差异性分析[J]. 中国粮油学报,2022,37(8):261-271.
[18] 袁小钧,钟世荣,易宇文,等. 基于电子鼻和气质联用分析烹饪方式对青花椒挥发性特征风味的影响[J]. 中国食品添加剂,2021,32(10):127-139.
[19] 武文奇,毛怡宁,李虹,等. Heracles Ⅱ超快速气相电子鼻对金银花粉末质量的鉴别研究[J]. 中国中药杂志,2019,44(23):5129-5133.
[20] 王萍,张海燕,刘英孟,等. 辛夷挥发油的化学成分、药理作用及临床应用研究进展[J]. 中国药房,2022,33(3):378-384.
[21] 田丁,史梦琪,王赟. 连翘挥发油化学成分及其药理作用研究进展[J]. 天然产物研究与开发,2018,30(10):1834-1842.
[22] 朱福鸿. α-蒎烯抑制HepG2细胞增殖及相关机制研究[D]. 广州:广东药学院,2015.
[23] 孙和龙. α-水芹烯及壬醛对番茄圆弧青霉和灰霉的抑菌作用研究[D]. 湘潭:湘潭大学,2017.
[24] 陆凌霄,李明,赵梨,等. 水芹烯的来源:合成及应用[J]. 安徽农业科学,2010,38(26):14361-14363.
[25] 夏克坚,任宇红,聂丽娟,等. β-水芹烯的合成与应用[J]. 南昌大学学报(理科版),2001,25(4):380-382.

(收稿日期:2022-07-29 修回日期:2022-12-29)
(编辑:舒安琴)

(上接第338页)

[9] 彭伟文,王英晶. 黑面神的药用历史及现代研究概况[J]. 今日药学,2014,24(8):618-622.
[10] 彭伟文,戴卫波,梅全喜,等. 黑面神不同极性部位HPLC色谱与抗慢性皮炎-湿疹疗效的关联性研究[J]. 亚太传统医药,2016,12(14):41-45.
[11] MOTTAGHIPISHEH J, TAGHRIR H, BOVEIRI DEHSHEIKH A, et al. Linarin, a glycosylated flavonoid, with potential therapeutic attributes: a comprehensive review[J]. Pharmaceuticals (Basel), 2021, 14(11): 1104.
[12] ZHANG Y, LU W, ZHANG X, et al. Cryptotanshinone protects against pulmonary fibrosis through inhibiting Smad and STAT3 signaling pathways[J]. Pharmacol Res, 2019, 147: 104307.
[13] NG B, DONG J R, D'AGOSTINO G, et al. Interleukin-11 is a therapeutic target in idiopathic pulmonary fibrosis [J]. Sci Transl Med, 2019, 11(511): eaaw1237.
[14] LIANG Q, CAI W Y, ZHAO Y X, et al. Lycorine ameliorates bleomycin-induced pulmonary fibrosis via inhibiting NLRP3 inflammasome activation and pyroptosis[J]. Pharmacol Res, 2020, 158: 104884.
[15] ASHCROFT T, SIMPSON J M, TIMBRELL V. Simple method of estimating severity of pulmonary fibrosis on a numerical scale[J]. J Clin Pathol, 1988, 41(4): 467-470.
[16] WEI P, XIE Y, ABEL P W, et al. Transforming growth factor (TGF)-β1-induced miR-133a inhibits myofibroblast differentiation and pulmonary fibrosis[J]. Cell Death Dis, 2019, 10(9): 670.
[17] TSUKUI T, SUN K H, WETTER J B, et al. Collagen-producing lung cell atlas identifies multiple subsets with distinct localization and relevance to fibrosis[J]. Nat Commun, 2020, 11(1): 1920.
[18] LANCASTER L H, DE ANDRADE J A, ZIBRAK J D, et al. Pirfenidone safety and adverse event management in idiopathic pulmonary fibrosis[M]. Eur Respir Rev, 2017, 26(146): 170057.
[19] ONG C H, THAM C L, HARITH H H, et al. TGF-β-induced fibrosis: a review on the underlying mechanism and potential therapeutic strategies[J]. Eur J Pharmacol, 2021, 911: 174510.

(收稿日期:2022-08-31 修回日期:2022-12-27)
(编辑:林 静)