

## 基于超快速气相电子鼻对不同硫熏程度天麻的快速鉴别

殷珍珍<sup>1</sup>, 梁玉芝<sup>1</sup>, 王梦<sup>1</sup>, 张玖捌<sup>1</sup>, 李昱<sup>1</sup>, 陆兔林<sup>1</sup>, 毛春芹<sup>1</sup>, 董佳佳<sup>1,2\*</sup>, 李林<sup>1\*</sup>

(1. 南京中医药大学药学院, 南京 210023; 2. 江苏省中药炮制重点实验室, 南京 210023)

**[摘要]** 目的:通过超快速气相电子鼻技术对不同硫熏程度天麻进行气味识别,以期寻求一种基于气味快速鉴别硫熏天麻的方法。方法:利用Heracles NEO型超快速气相电子鼻采集未硫熏和不同硫熏程度天麻饮片的气相色谱图,气相色谱条件为程序升温(初始温度40℃,以0.2℃·s<sup>-1</sup>升温至60℃,再以4℃·s<sup>-1</sup>升温至250℃),进样量5 mL,孵化温度65℃,孵化时间35 min,结合Kovats保留指数和AroChemBase数据库进行定性分析,并以此为基础进行化学计量学分析,建立主成分分析(PCA)、判别因子分析(DFA)和偏最小二乘法-判别分析(PLS-DA)等模型,达到对不同硫熏程度天麻饮片进行有效鉴别的目的。结果:根据AroChemBase数据库对比分析,硫熏天麻和未硫熏天麻气味特征差异大,环戊烷、丙酮、庚烷可能是鉴别天麻饮片硫熏与否及硫熏程度的气味成分。PCA模型识别指数81,DFA模型的判别因子累计区分指数92.09%,PLS-DA模型的监督模型解释率0.963,预测能力参数0.956,说明PCA、DFA和PLS-DA模型均能较好地地区分不同硫熏程度的天麻饮片。结论:Heracles NEO型超快速气相电子鼻可用于快速鉴别和区分不同硫熏程度天麻饮片,可为中药饮片的硫熏鉴别提供快速、简便、绿色的新方法和新技术。

**[关键词]** 天麻; 硫磺熏蒸; 超快速气相电子鼻; 环戊烷; 丙酮; 化学模式识别方法; 挥发性成分

**[中图分类号]** R22;R28;R931;O657.7 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2022)13-0167-06

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.20211861

**[网络出版地址]** <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20210827.1046.001.html>

**[网络出版日期]** 2021-08-27 14:46

## Rapid Identification of Gastrodiae Rhizoma with Different Sulfur Fumigation Levels Based on Ultra-fast Gas Phase Electronic Nose

YIN Zhenzhen<sup>1</sup>, LIANG Yuzhi<sup>1</sup>, WANG Meng<sup>1</sup>, ZHANG Jiuba<sup>1</sup>, LI Yu<sup>1</sup>, LU Tulin<sup>1</sup>,  
MAO Chunqin<sup>1</sup>, DONG Jiajia<sup>1,2\*</sup>, LI Lin<sup>1\*</sup>

(1. School of Pharmacy, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China;  
2. Jiangsu Key Laboratory of Chinese Medicine Processing, Nanjing 210023, China)

**[Abstract]** **Objective:** In order to find a fast odor-based method for the identification of sulfur fumigated Gastrodiae Rhizoma, an ultra-fast gas phase electronic nose technology was used to identify the odors of different degrees of sulfur fumigated Gastrodiae Rhizoma decoction pieces. **Method:** Heracles NEO ultra-fast gas phase electronic nose was employed to collect gas chromatograms of unsulfured and sulfured with different degrees of Gastrodiae Rhizoma decoction pieces, gas chromatograms were performed under programmed temperature (initial temperature of 40℃, 0.2℃·s<sup>-1</sup> to 60℃, and then 4℃·s<sup>-1</sup> to 250℃), the sample volume was 5 mL, the incubation temperature was 65℃ and incubation time was 35 min. Kovats retention index and the AroChemBase database were used for qualitative analysis, and stoichiometric analysis was performed on this basis. Principal component analysis (PCA), discriminant factor analysis (DFA) and partial least squares-

**[收稿日期]** 2021-06-22

**[基金项目]** 国家重点研发计划项目(2018YFC1707000,2017YFC1701900)

**[第一作者]** 殷珍珍,在读硕士,从事中药炮制及中药饮片质量标准研究,E-mail:1499292381@qq.com

**[通信作者]** \*董佳佳,博士,讲师,从事中药炮制和中药药代动力学研究,E-mail:dongjiajia300512@njucm.edu.cn;

\*李林,博士,副教授,从事中药炮制研究,E-mail:lilin\_med@163.com

discriminant analysis (PLS-DA) models were established to identify the *Gastrodiae Rhizoma* decoction pieces with different degrees of sulfur fumigation. **Result:** According to the comparative analysis of AroChemBase database, there were significant differences in the odor characteristics of sulfur fumigated and non-sulfur fumigated *Gastrodiae Rhizoma*, cyclopentane, acetone and heptane might be the odor components to distinguish the degree of sulfur fumigation in *Gastrodiae Rhizoma* decoction pieces. The identification index of PCA model was 81, the accumulative discriminant index of the discriminating factors was 92.09% in DFA model, the supervisory model interpretation rate of PLS-DA model was 0.963 and the predictive ability parameter was 0.956, indicating that PCA, DFA and PLS-DA models could well distinguish *Gastrodiae Rhizoma* decoction pieces with different sulfur fumigation degrees. **Conclusion:** Heracles NEO ultra-fast gas phase electronic nose can be used as a rapid method to identify and distinguish *Gastrodiae Rhizoma* decoction pieces with different levels of sulfur fumigation. Meanwhile, it can provide a rapid, simple and green method and technology for identification of traditional Chinese medicine decoction pieces by sulfur fumigation.

**[Keywords]** *Gastrodiae Rhizoma*; sulfur fumigation; ultra-fast gas phase electronic nose; cyclopentane; acetone; chemical pattern recognition methods; volatile component

天麻具有平抑肝阳、息风止痉之功效,临床用于治疗癫痫抽搐、小儿惊风、破伤风、风湿麻痹等<sup>[1]</sup>。由于天麻多糖类成分含量较高,不易干燥,容易霉变且出现虫蛀现象,不易于保存及运输,因此,产地加工时常用低成本的硫磺熏蒸使其外观性状美观,且易于保存运输并达到杀菌防腐的作用<sup>[2]</sup>。然而,硫磺熏蒸会导致大量二氧化硫(SO<sub>2</sub>)残留,且会致使天麻有效成分降低,从而影响天麻饮片的安全性和临床疗效<sup>[3-4]</sup>。

气味作为中药饮片性状之一,是反映中药饮片质量的重要信号之一,但因气味这一性状判别多以人工为主,存在一定主观性,而电子鼻技术可将主观气味数字化、模式化,故可以更加客观地评价中药饮片质量<sup>[5]</sup>。Heracles NEO型超快速气相电子鼻将气相色谱技术与电子鼻模式识别技术相结合,以挥发性成分作为分析识别对象,对中药的挥发性成分进行简单分离与识别,并结合 Kovats 保留指数和 AroChemBase 数据库对采集到的色谱峰进行特征成分分析,其兼具传感器型电子鼻的判别分析能力和类似于气相色谱-质谱法(GC-MS)的定性分析能力<sup>[6]</sup>。与传统的化学和色谱鉴别方法相比,超快速气相电子鼻减少了样品制备过程中有机试剂造成的环境污染;省去了冗杂的样品前处理过程,且色谱图采集时间短,节约了时间成本;由于样品的无损处理,也为名贵中药材提供了可行的鉴别方法。

目前,天麻的硫熏研究主要集中在硫熏前后化学特征的变化,尚无基于气味的研究报道。因此,本研究以气味信息为研究对象,通过 Heracles NEO 型超快速气相电子鼻对硫熏前后天麻饮片的气味

进行分析,以期寻求一种可快速识别不同硫熏程度天麻饮片的方法。

## 1 材料

Heracles NEO 型超快速气相电子鼻(法国 Alpha MOS 公司,配备 PAL RSI 型全自动顶空进样仪),BO-400Y 型多功能粉碎机(中国永康铂欧五金厂)。正构烷烃 nC<sub>6</sub>~nC<sub>16</sub>混合对照品(美国 Restek 公司,批号 A10142930);天麻新鲜药材样品采自陕西汉中,经南京中医药大学陈建伟教授鉴定为兰科植物天麻 *Gastrodia elata* 的新鲜块茎。

## 2 方法与结果

### 2.1 样品制备

**2.1.1 未硫熏天麻样品** 取新鲜天麻药材 2 kg,大小分档,100 g 以下蒸 15 min、100~200 g 蒸 20 min、200 g 以上蒸 30 min,蒸至内无白心,取出晾凉,切薄片,置烘箱 50 °C 烘干,粉碎,过三号筛,备用,各平行制备 3 份<sup>[7]</sup>。

**2.1.2 硫熏天麻样品** 依据文献[3]所载方法,确定硫熏时间 2 h,以保证药材彻底熏透。取新鲜天麻药材 2 kg,大小分档,按 2.1.1 项下方法蒸至内无白心,取出晾凉,切薄片,分别按硫磺粉末与新鲜天麻药材质量比 1:640、1:320、1:160、1:80、1:40 进行硫熏,硫熏后取出,置烘箱 50 °C 烘干,粉碎,过三号筛,备用,各硫熏比例平行制备 3 份。

**2.2 天麻饮片 SO<sub>2</sub> 残留量测定** 参照 2020 年版《中华人民共和国药典》(以下简称《中国药典》)(四部)通则 2331 中的第一法(酸碱滴定法)检测不同硫熏程度天麻饮片中 SO<sub>2</sub> 残留量<sup>[8]</sup>。结果显示,未硫熏和不同硫熏程度(1:640、1:320、1:160、1:80、1:40)

天麻样品中的SO<sub>2</sub>残留量分别为3.7、81.3、536、885、1 297、1 840 mg·kg<sup>-1</sup>。

### 2.3 天麻饮片的超快速气相电子鼻检测

**2.3.1 单因素试验考察** 天麻的挥发性成分较少, 气味较淡, 其所得色谱峰差异较少, 为了得到较好的分析结果, 固定其粉末进样量为1 g, 采用单因素试验对影响色谱峰较大的孵化温度、孵化时间及进样量3个关键因素进行考察<sup>[9-10]</sup>。设定孵化温度65℃、孵化时间35 min时, 进样量分别选择3.0、3.5、4.0、4.5、5.0 mL, 结果发现当进样量为5.0 mL时, 各色谱峰峰强度达饱和且峰型稳定。设定进样量5.0 mL、孵化时间35 min时, 孵化温度分别选择45、50、55、60、65、70℃, 结果发现当孵化温度为65℃时, 各色谱峰峰高趋于饱和且峰型稳定。设定进样量5.0 mL、孵化温度65℃时, 孵化时间分别选择25、30、35、40、45、50 min, 结果发现当孵化时间为35 min时, 各色谱峰峰强度达到饱和且峰型稳定。不同硫熏程度天麻饮片的具体检测参数见表1。

表1 天麻饮片粉末的气味检测参数

Table 1 Odor detection parameters of Gastrodiae Rhizoma decoction pieces

No.	参数	条件
1	样品瓶体积	20 mL
2	样品量	1 g
3	进样量	5 mL
4	孵化温度	65℃
5	孵化时间	35 min
6	进样速度	125 μL·s <sup>-1</sup>
7	进样持续时间	45 s
8	进样口温度	200℃
9	捕集阱初始温度	40℃
10	捕集阱分流速率	10 mL·min <sup>-1</sup>
11	捕集持续时间	100 s
12	捕集阱最终温度	250℃
13	柱温初始温度	40℃
14	程序升温方式	0.2℃·s <sup>-1</sup> 至60℃; 4℃·s <sup>-1</sup> 至250℃
15	采集时间	100 s
16	火焰离子化检测器(FID)增益	12

**2.3.2 方法学考察** 取未硫熏天麻饮片粉末及硫熏天麻饮片粉末(硫磺粉末与新鲜天麻药材质量比为1:40)各6份, 按2.3.1项下优选的条件测定, 记录各特征色谱峰峰面积, 计算其相对标准偏差(RSD)

处于1.1%~4.8%, 表明仪器精密性良好。取未硫熏及硫熏(硫磺粉末与新鲜天麻药材质量比为1:40)天麻饮片, 各平行打粉6份, 按2.3.1项下优选的条件测定, 记录各特征色谱峰峰面积, 计算其RSD处于1.8%~5.0%, 表明该方法重复性良好。取未硫熏天麻饮片粉末及硫熏天麻饮片粉末(硫磺粉末与新鲜天麻药材质量比为1:40)各6份, 于0、2、4、8、12、24 h时按2.3.1项下优选的条件测定, 记录各特征色谱峰峰面积, 计算其RSD处于1.6%~4.9%, 表明样品稳定性良好。

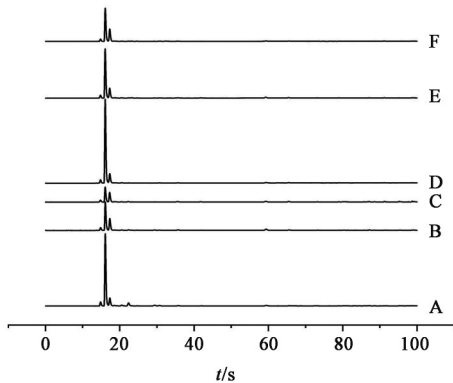
**2.4 不同硫熏程度天麻气味成分分析** Heracles NEO型超快速气相电子鼻配备了MXT-5(低极性)及MXT-1701(中性)2根不同极性的色谱柱, 通过正构烷烃nC<sub>6</sub>~nC<sub>16</sub>混合对照品的保留时间将未硫熏及硫熏天麻饮片色谱峰的保留时间转化为Kovats保留指数后, 发现未硫熏及不同硫熏程度的天麻饮片色谱图中色谱峰的位置无明显区别, 但色谱峰的强度有明显区别。天麻饮片中各色谱峰的Kovats保留指数经AroChemBase数据库匹配得到相应的气味化合物, 见表2。扣除空白参考后的色谱图见图1和图2。由图1、图2及表2可知, 在所有色谱峰中, 代表环戊烷的色谱峰峰强度最高, 且硫熏天麻饮片中此色谱峰强度均低于未硫熏天麻饮片中此色谱峰强度; 硫熏天麻饮片色谱峰中代表丙酮气味的色谱峰峰强度均高于未硫熏天麻饮片; 天麻饮片经硫熏后代表庚烷气味的色谱峰缺失。综上分析, 环戊烷、丙酮、庚烷可能是鉴别天麻饮片经过硫熏与否及硫熏程度的气味成分。

**2.5 化学计量法分析** 采用超快速气相电子鼻自带软件Alphasoft 11.0中的主成分分析(PCA)和判别因子分析(DFA), 以及SIMCA-P 14.1软件的偏最小二乘法-判别分析(PLS-DA)进行分析。PCA作为非监督学习的降维方法, 通过正交变换将一组可能存在相关性的变量数据转换为线性不相关的变量, 提取色谱图中几个能反映样品气味信息的特征值进行线性分类, 得到可视化的二维散点图<sup>[11-13]</sup>, 见图3。结果PCA识别指数为81, 主成分1、2的贡献率分别为98.29%、1.20%, 累计贡献率99.49%, 能够较好地反映所测样品中气味信息, 表明Heracles NEO型超快速气相电子鼻可准确区分不同硫熏程度的天麻饮片。为验证PCA结果<sup>[9]</sup>, 对不同硫熏程度天麻饮片进行DFA, 结果判别因子1和2的累计区分指数92.09%, 说明DFA模型可明显区分不同硫熏程度的天麻饮片, 见图4。一方面, 硫熏和未硫熏

表2 不同硫熏程度天麻饮片的可能气味信息分析

Table 2 Possible odor information of Gastrodiae Rhizoma decoction pieces with different sulfur fumigation degree

No.	分子式	化合物	MXT-5 保留指数	MXT-1701 保留指数	感官描述信息	平均峰面积					
						无 硫熏	1:640 硫熏	1:320 硫熏	1:160 硫熏	1:80 硫熏	1:40 硫熏
1	C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O	呋喃	526	537	气体、有温和香味	6 575	5 352	3 535	5 581	4 653	3 791
2	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	环戊烷	563	591	淡味的、甜的	155 095	61 932	32 340	142 851	101 375	67 200
3	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	丙酮	598	683	气态的、愉悦的、辛辣的、尖锐的	15 225	25 482	19 791	20 436	23 197	28 740
4	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	庚烷	684	729	烷烃、水果、汽油、甜的	10 050	-	-	-	-	-
5	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	甲基环己烷	748	734	模糊的、水果、甜的	1 474	1 343	1 568	2 567	1 575	1 367
6	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	己酮	798	884	肉桂、气体、水果、真菌、酮的、肉的、辛辣的	1 013	1 532	1 456	1 574	1 003	1 221
7	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	戊酸	901	1 098	酸性的、牛肉味、奶酪、辛辣的、腐烂、腐臭、酸味	1 643	1 213	1 453	1 057	1 467	1 725



注：A. 未硫熏样品；B. 1:640 硫熏样品；C. 1:320 硫熏样品；  
D. 1:160 硫熏样品；E. 1:80 硫熏样品；F. 1:40 硫熏样品（图2-图4同）

图1 不同硫熏程度天麻饮片的MXT-5色谱柱分析  
Fig. 1 Chromatograms of Gastrodiae Rhizoma decoction pieces with different sulfur fumigation degree on MXT-5 column

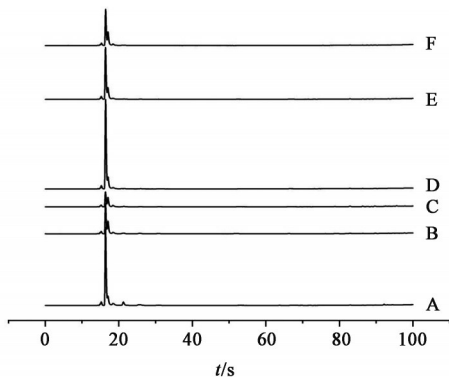


图2 不同硫熏程度天麻饮片的MXT-1701色谱柱分析  
Fig. 2 Chromatograms of Gastrodiae Rhizoma decoction pieces with different sulfur fumigation degree on MXT-1701 column

天麻饮片分别分布在横坐标的正半轴和负半轴且距离较远,表明硫熏和未硫熏天麻饮片气味成分差异大;另一方面,不同硫熏程度的天麻饮片可完全分开,表明不同硫熏程度天麻饮片整体气味之间存在明显区别,且1:640硫熏样品和1:40硫熏样品之间的差异最大。

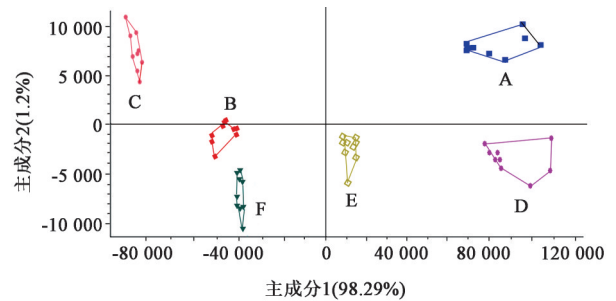


图3 不同硫熏程度天麻饮片的PCA  
Fig. 3 PCA plot of Gastrodiae Rhizoma decoction pieces with different degrees of sulfur fumigation

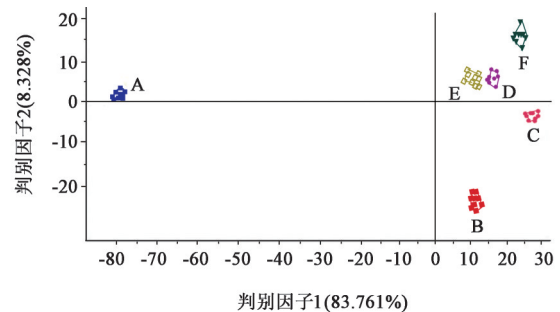


图4 不同硫熏程度天麻饮片的DFA  
Fig. 4 DFA plot of Gastrodiae Rhizoma decoction pieces with different degrees of sulfur fumigation

为进一步分析鉴别硫熏与未硫熏天麻饮片与气味成分之间的关系,在PCA模型基础上,将未硫熏与不同硫熏程度天麻饮片中气味成分区别较大的色谱峰峰面积导入SIMCA-P 14.1,以6个特征气味成分为X变量,天麻饮片为Y变量,利用PLS-DA建立分析模型<sup>[14-16]</sup>,样品设置为硫熏组和未硫熏组2个组别,得分图见图5。结果发现硫熏组和未硫熏组样品可完全被区分为两类,模型解释率R<sup>2</sup>Y=0.963,预测能力参数Q<sup>2</sup>=0.956,说明建立的PLS-DA模型良好<sup>[17]</sup>,可有效区分硫熏与未硫熏天麻饮片。变量重要性投影(VIP)值可进一步直观反映X变量

对模型分类的整体贡献度,当VIP值>1时,表明该成分对模型的整体贡献度大于平均程度,对样品分类的影响具有统计学意义,见图6。结果一共提取到3个差异成分,分别为峰4(庚烷)、峰2(环戊烷)和峰3(丙酮)。提示这3个色谱峰可能是引起硫熏与未硫熏天麻饮片气味差异的标志性成分,与2.4项下结果一致。

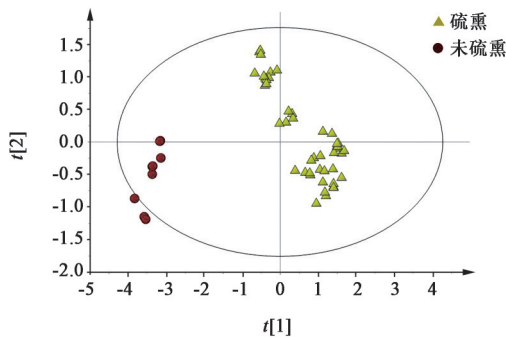
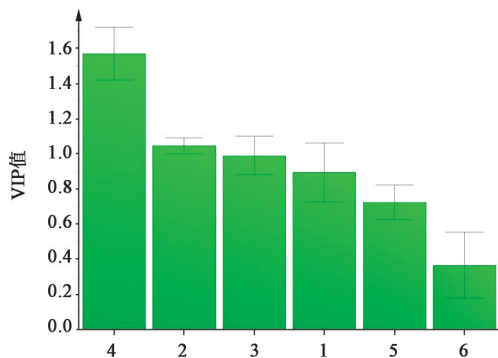


图5 硫熏与未硫熏天麻饮片的PLS-DA得分  
Fig. 5 PLS-DA score scatter plot of Gastrodiae Rhizoma decoction pieces with and without sulfur fumigation



注:1. 呋喃;2. 环戊烷;3. 丙酮;4. 庚烷;5. 甲基环己烷;6. 己酮  
图6 硫熏与未硫熏天麻饮片中6种成分的VIP值

Fig. 6 VIP values of 6 components in Gastrodiae Rhizoma decoction pieces with and without sulfur fumigation

### 3 讨论

Heracles NEO型超快速气相电子鼻是一种新型的气味分析技术,目前在咖啡、牛奶、等食品行业<sup>[18-21]</sup>,以及含有挥发性成分或具有强烈气味的中药饮片辨识中广泛应用,较少用于气味不强烈或挥发性成分含量较低的中药饮片<sup>[22]</sup>。本研究以药食同源的天麻作为研究对象,关注行业内硫磺熏蒸现象,以气味特征作为硫熏天麻的考察指标,可为中药饮片的硫熏鉴别提供一个可行的方法。

Heracles NEO型超快速气相电子鼻对不同硫熏天麻饮片样品进行信息采集,结果表明未硫熏及不同硫熏程度天麻饮片气味存在明显差异,通过PCA和DFA模型可完全将未硫熏及不同硫熏程度天麻

饮片精准区分,但所用样本量偏少,实验结果有待进一步验证。通过检索AroChemBase数据库,得到可能的化合物及其风味信息。代表环戊烷气味成分的色谱峰峰强度在所有天麻饮片样品中最高,其感官描述信息为“淡味的、甜的”,这与2020年版《中国药典》记录的天麻气微、味甘<sup>[7]</sup>相一致,在经过硫磺熏蒸后的天麻饮片中,该色谱峰峰强度降低,且当硫磺粉末与新鲜天麻药材质量比为1:160、1:80、1:40时,随着硫熏程度增强,环戊烷峰强度呈逐渐降低的趋势。硫熏天麻饮片中代表丙酮气味成分的峰峰强度均高于未硫熏天麻饮片,这可能与硫磺熏蒸过程有关,丙酮具有特殊气味,吸入后可引起头痛、支气管炎等,笔者在硫熏实验过程中明显感觉到了口腔黏膜不适并引发咳嗽。天麻硫熏过后,天麻本身的气味变淡,且增加了酸涩味,这一现象可能与天麻饮片硫熏后代表环戊烷气味成分的色谱峰峰强度降低而代表丙酮气味成分的色谱峰峰强度增强有关。经VIP值验证,丙酮、环戊烷可能是区分未硫熏及不同硫熏程度天麻饮片的标志性气味成分。庚烷作为未硫熏天麻饮片的特有气味成分,经硫熏后此色谱峰消失,这可能是由于庚烷具有极易挥发的特点,推测在硫熏过程中高温会对其产生影响,导致其含量降低甚至消失,但具体的反应机制还有待后续研究证实。综上分析,本研究通过Heracles NEO型超快速气相电子鼻不但实现了硫熏天麻和未硫熏天麻饮片的快速鉴别,还能区分不同硫熏程度的天麻饮片,与传统鉴别方法相比更加高效、便捷和绿色,可为中药饮片的硫熏检测提供新思路。

[利益冲突] 本文不存在任何利益冲突。

### [参考文献]

- [1] 靳灿灿,李会军. 硫磺熏蒸对天麻有效成分的影响[J]. 中成药,2014,36(8):1706-1710.
- [2] 段金殿,赵润怀,宿树兰,等. 对硫磺熏蒸药材的基本认识与建议[J]. 中国现代中药,2011,13(4):3-5.
- [3] 康传志,杨婉珍,周利,等. 不同产地和变型天麻药材的质量及其硫磺熏蒸前后的变化[J]. 中国中药杂志,2018,43(2):254-260.
- [4] 赵四清,曾嵘,雷鹏,等. 熏硫加工对天麻饮片汤剂质量的影响[J]. 湖南中医学院学报,2005,25(2):25-37.
- [5] 费程浩,戴辉,苏杭,等. 电子鼻技术的研究进展及其在中药行业中的应用[J]. 世界中医药,2019,14(2):257-262.

- [6] 袁桃静,赵笑颖,庞一扬,等. 基于电子鼻、HS-GC-IMS和HS-SPME-GC-MS对5种食用植物油挥发性风味成分分析[J]. 中国油脂,2020,45(9):102-111.
- [7] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020:97.
- [8] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:四部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020:238.
- [9] 武文奇,毛怡宁,李虹,等. Heracles II超快速气相电子鼻对金银花粉质量的鉴别研究[J]. 中国中药杂志,2019,44(23):5129-5133.
- [10] 卢一,解达帅,吴纯洁. 基于Heracles II超快速气相电子鼻的硫熏麦冬快速鉴别研究[J]. 中药材,2017,40(5):1070-1073.
- [11] 刘晓梅,张存艳,刘红梅,等. 基于电子鼻和HS-GC-MS研究地龙腥味物质基础和炮制矫味原理[J]. 中国实验方剂学杂志,2020,26(12):154-161.
- [12] 马建超,郭庆梅. 基于药物动力学和多元统计方法解析瓜蒌祛痰止咳相关质量标志物[J]. 中国实验方剂学杂志,2021,27(19):132-140.
- [13] 李江,李娇,付鹏,等. 基于化学模式识别技术提升参威骨痹片的质量标准并监测其生产中质控指标的转移率变化[J]. 中国实验方剂学杂志,2020,26(15):130-136.
- [14] 李然,李静,徐长琼,等. 基于GC-MS指纹图谱技术结合多元统计分析鉴别不同产地白术的研究[J]. 广东药科大学学报,2021,37(2):30-39.
- [15] 祝婧,袁恩,牟俊雍,等. 基于UPLC-Q/TOF-MS分析江西特色炮制工艺对枳壳化学成分的影响[J]. 中国实验方剂学杂志,2020,26(16):142-153.
- [16] 魏泉增,范江涛,刘嘉玲,等. 偏最小二乘方法在不同白酒香型判别分析中的应用[J]. 中国酿造,2020,39(10):183-187.
- [17] 何佳,黄文康,马相锋,等. 基于主成分分析与PLS-DA分析研究浙麦冬道地性与等级评价标准[J]. 中国药学杂志,2021,56(4):285-292.
- [18] 王炜清,金丽娟,承超,等. 采用Heracles NEO超快速气相色谱探究冷冻干燥速溶咖啡加工过程中香气变化[J]. 饮料工业,2020,23(6):12-16.
- [19] 高雅慧,徐良,董亚欣,等. 基于Heracles II超快速气相电子鼻对不同加工方式牛奶的快速鉴别[J]. 食品工业科技,2019,40(14):260-263.
- [20] 陈修红,欧克勤,汪厚银,等. Heracles快速气相电子鼻对花椒油气味指纹分析研究[J]. 食品科技,2016,41(12):256-261.
- [21] 黄彩燕,张德权,李欣,等. 基于Heracles II快速气相电子鼻鉴别不同饲养方式滩羊肉的炖煮风味[J]. 中国食品学报,2021,21(3):341-350.
- [22] 冯文豪,田亮玉,施钧瀚,等. 电子鼻技术应用于川贝母真伪及规格辨识的可行性分析[J]. 中国实验方剂学杂志,2021,27(13):108-118.

[责任编辑 刘德文]