

*macol Biochem Behav*, 2011, 100(1): 199-204.

[22] 刘玉梅,周宇宏,单宏丽,等.延胡索乙素对豚鼠单个心室肌细胞钾离子通道的影响[J].中国药理学通报,2005,21(5):599-601.

[23] 管家齐,蔡玉英,陈文东,等.浙八味及其相关品种的产地变迁[J].浙江中医药大学学报,2008,32(4):526-527.

[24] 李世全.元胡种期到种植须调减——来自汉中产区的调查[J].中国现代中药,2005,7(9):49.

[25] 陈彩霞,李艾莲,谢赛萍.延胡索种茎分级与药材产量及质量关系的研究[J].中国农业大学学报,2017,22(3):37-50.

[26] 王欢,毕福钧,林彤,等.延胡索 HPLC 指纹图谱研究及 9 种生物碱含量测定[J].中药材,2017,40(3):624-629.

[27] 陈东东,毛坤军,李祥,等.HPLC法比较延胡索炮制前后7个生物碱成分的含量[J].药物分析杂志,2015,35(9):1591-1595.

[28] 田甜.不同产地和生长年限黄芩质量评价及药理作用研究[D].杭州:浙江理工大学,2018.

[29] 刘蕾,李静怡.不同等级及不同部位的丹参原药材中丹参酮II A含量考察[J].中国药业,2007,16(8):32-33.

[30] 黄璐琦,郭兰萍.环境胁迫下次生代谢产物的积累及道地药材的形成[J].中国中药杂志,2007,32(4):277-280.

[31] 吕秋菊,秦海燕,宋捷民,等.延胡索药材商品规格等级划分的合理性研究[J].甘肃中医药大学学报,2017,34(2):70-76.

[32] 刘昌孝,陈士林,肖小河,等.中药质量标志物(Q-Marker):中药产品质量控制的新概念[J].中草药,2016,47(9):1443-1457.

[33] 张铁军,许浚,韩彦琪,等.中药质量标志物(Q-marker)研究:延胡索质量评价及质量标准研究[J].中草药,2016,47(9):1458-1467.

## 不同走油程度苦杏仁“电子鼻”气味与止咳药效的相关性分析

曹光昭<sup>1</sup>, 陈慧荣<sup>2</sup>, 刘玢清<sup>1</sup>, 姚月保<sup>1</sup>, 闫永红<sup>1\*</sup>, 邹慧琴<sup>1\*</sup>

(1. 北京中医药大学中药学院, 北京 100102; 2. 北京海金格医药科技股份有限公司, 北京 100161)

**摘要:**目的 分析不同走油程度苦杏仁“电子鼻”气味与止咳药效的相关性。方法 运用电子鼻建立苦杏仁气味的数字化检测方法,采用小鼠氨水引咳法对不同走油程度苦杏仁止咳药效进行评价,最后基于 SAS 分析平台,开展苦杏仁气味的数字化测量值与止咳药效的相关性分析。结果 未走油、轻微走油的炒品、煨品与空白对照组比较,均具有显著地止咳作用;完全走油的炒品具有止咳作用,但完全走油的煨品已不具有止咳作用。电子鼻中传感器 S2、S3、S4、S5、S6、S9、S10 的响应值和苦杏仁止咳作用之间存在显著相关,传感器 S2、S3、S4、S5、S6 响应值越大,传感器 S9、S10 响应值越小,药材的感官气味越重,苦杏仁止咳效果越差。结论 通过气味数字化信息推断苦杏仁止咳作用的变化趋势,气味测量可用于苦杏仁的质量评价。

**关键词:** 电子鼻; 苦杏仁; 气味; 止咳药效; 相关性

中图分类号: R284.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-1528(2020)05-1249-06

doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2020.05.028

## Correlation analysis on digitalized odor via electronic nose and cough-relieving effect of *Armeniacae Amarum Semen*

CAO Guang-zhao<sup>1</sup>, CHEN Hui-rong<sup>2</sup>, LIU Bin-qing<sup>1</sup>, YAO Yue-bao<sup>1</sup>, YAN Yong-hong<sup>1\*</sup>, ZOU Hui-qin<sup>1\*</sup>

收稿日期: 2019-10-29

基金项目: 国家自然科学基金项目 (81573542)

作者简介: 曹光昭 (1994—), 女, 硕士生, 研究方向为中药品质评价。Tel: 13671163610, E-mail: 793757435@qq.com

\* 通信作者: 闫永红 (1967—) 女, 博士, 教授, 研究方向为中药智能仿生研究与高等教育。Tel: (010) 64286447, E-mail: lxdyyh@yeah.net

邹慧琴 (1986—) 女, 博士, 副研究员, 研究方向为中药质量研究与中医药情报战略分析。Tel: 13811485573, E-mail: zouhuiqin\_bucm@sina.cn

(1. School of Chinese Materia Medica, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100102, China; 2. Beijing Highthink Pharmaceutical Technology Service Co., Ltd., Beijing 100161, China)

**ABSTRACT: AIM** To analyze the correlation on digitalized odor via electronic nose and cough-relieving effect of *Armeniacae Amarum Semen*. **METHODS** The digitalized odor characteristics of *Armeniacae Semen Amarum* were measured by electronic nose. Meanwhile, the antitussive effects of *Armeniacae Semen Amarum* in varying degrees of rancidity were evaluated by inducing cough in the mice with ammonia water. Finally SAS analysis platform was introduced to analyze the correlation between the antitussive effect and the digitalized odor measurement values of *Armeniacae Semen Amarum*. **RESULTS** Compared with the blank control group, stir-frying and blanching products in none and slightly deterioration had significant antitussive effect, while those stir-frying products in completely-deterioration had antitussive effect. On the contrary, those in completely-deterioration totally had no antitussive effect. Sensors S2, S3, S4, S5, S6, S9, S10 in electronic nose all played significant roles in the relationship with antitussive effects. The response value of sensors S2, S3, S4, S5 and S6 appealing higher, S9 and S10 lower, were in agreement of the heavier sensory odor of *Armeniacae Semen Amarum*, directly resulting in worse antitussive effects. **CONCLUSION** The trend of antitussive effects of *Armeniacae Semen Amarum* can be inferred from digital odor information. This method can be used in quality evaluation of *Armeniacae Semen Amarum*.

**KEY WORDS:** electric nose; *Armeniacae Semen Amarum*; odor; cough-relieving effect; correlation

中药在贮藏过程中,受自身性质以及外界条件的影响,常发生物理或化学变化,这些变化时常伴随着药材的变质。走油是中药材贮藏过程中易发生的变质现象之一,又称泛油,是指中药材内含的脂肪、挥发油、糖类等成分在特殊的自然因素作用下外溢,表面呈现油润的状态,质地发生明显变化,外观色泽加深或伴有哈喇味等现象。药材走油不仅导致油脂成分损失,还会引起变色和变质<sup>[1]</sup>,使经济遭受损失,更严重的则会影响药材质量和临床疗效,甚至产生毒性<sup>[2]</sup>。

苦杏仁是常用大宗中药,是易走油变质的典型代表。传统经验认为,走油后的苦杏仁胚乳颜色加深至黄棕色,或伴有哈喇味<sup>[3]</sup>。大多数中药材都具有固定的气味,中药的气味与内在化学物质密切相关,能反映药物的内在本质,成为中药外在质量表现<sup>[4]</sup>,更有学者指出色变则味变、味变则质变<sup>[5]</sup>。由此可见,感官气味对苦杏仁质量评价至关重要。

经验鉴别以眼看、手摸、鼻闻、口尝等方法对饮片的性状进行鉴别<sup>[6]</sup>。传统的人体感官评价,其检测结果将受到感官差异和检测环境的影响,主观性强,缺乏客观量化指标,在大批量工业生产中可操作性差<sup>[7]</sup>,尤其是对中药气味的鉴别。因此,有必要结合现代技术方法构建中药气味客观化和数字化的方法,实现中药质量评价简单、快速、实用,进一步补充和完善中药质量控制和评价体系<sup>[7]</sup>。

为此本研究引入广泛应用于许多行业的电子鼻,电子鼻能够根据气味特征区分不同药材粉末<sup>[8-9]</sup>,同一药材不同品种<sup>[10]</sup>、不同炮制规格<sup>[11]</sup>、不同商品规格<sup>[12]</sup>、不同产地<sup>[13]</sup>、不同储存时期的鉴别<sup>[14]</sup>。本研究通过电子鼻对苦杏仁气味进行测定,得出定量描述的数值。电子鼻,又被称作人工嗅觉系统,其工作原理模仿了人类对气味的识别机制<sup>[15]</sup>。

苦杏仁性苦,微温,归肺、大肠经,有止咳平喘、润肠通便之功效。现代药理学认为苦杏仁有镇咳平喘作用、杀虫作用<sup>[16]</sup>、抗动脉粥样硬化、抗肾间质纤维化、抗肺纤维化、抗高氧诱导肺损伤、免疫抑制、免疫调节、抗肿瘤、抗炎、抗溃疡等作用<sup>[17]</sup>。目前国内对于止咳药效报道相对较多,认为苦杏仁止咳的有效成分苦杏仁苷在人体内分解,产生微量的氢氰酸,氢氰酸可对呼吸中枢产生抑制作用,使呼吸运动趋于平缓,从而起到镇咳平喘的作用<sup>[18]</sup>。本研究通过基于氨水刺激的咳嗽小鼠模型,以不同走油程度的苦杏仁为载体,研究苦杏仁气味与止咳药效的相关性,以探讨走油对苦杏仁药材质量的影响,以期药材感官气味的数字化及其应用于中药质量评价相关领域提供参考。

## 1 材料

$\alpha$ -FOX3000 气味指纹分析仪(法国 Alpha M. O. S 公司);BSA124S 电子分析天平(德国 Sartorius 公司);ZN-02 小型粉碎机(北京兴时利和科技发展有限公司);药典筛,YLS-8 A 多功能诱

咳引喘仪（上海欣软信息科技有限公司）。氨水（分析纯，北京化工厂）。

KM小鼠，雌雄各半，体质量20~22 g，北京斯贝福生物技术有限公司提供，合格证号SCXK（京）20160002。

苦杏仁，2017年12月购入（燂、炒2个炮制规格），本实验选取的样品分别代表未走油、轻微走油、完全走油的苦杏仁样品，样品依据传统性状鉴定，将人工评价得分聚类分析后，将苦杏仁分为4个等级，分别代表不同走油程度的苦杏仁样品，Ⅰ级，未走油、Ⅱ级，轻度走油、Ⅲ级，中度走油、Ⅳ级，重度走油。炒品0号、燂品0号被分在Ⅰ级，炒品5号、燂品5号被分在Ⅱ级，炒品11号、燂品11号被分在Ⅳ级，以上样品能较为全面的代表不同走油程度的苦杏仁样品。因此，选取这6种样品进行止咳药效学实验，样品信息见表1。所有样品均经北京中医药大学中药资源与鉴定系闫永红教授鉴定为正品。

表1 样品信息

Tab. 1 Information of samples

序号	规格	编号
1	炒品0号	I-C-0
2	炒品5号	II-C-5
3	炒品11号	IV-C-11
4	燂品0号	I-D-0
5	燂品5号	II-D-5
6	燂品11号	IV-D-11

## 2 方法

### 2.1 苦杏仁气味测定方法

2.1.1 气味测定工具 实验所用仪器  $\alpha$ -FOX3000 气味指纹分析仪由主机和自动顶空进样仪组成，其中，主机内安装了12根金属氧化物传感器，用于检测挥发性气体，即从S1到S12，具有不同的检测灵敏度，见表2。

2.1.2 样品制备 将苦杏仁样品粉碎过2号筛，称取0.3 g，装入顶空进样瓶，压盖密封。

2.1.3 气味测定条件 孵化时间600 s，孵化温度45℃，样品震荡速度250 r/s，进样量2 500  $\mu$ L，载气为压缩空气，体积流量150 mL/min，数据采集时间120 s，数据采集周期1 s，吹扫时间600 s。

2.2 提取液制备 取炒苦杏仁、燂苦杏仁粗粉12 g，精密称定，分别加水96 mL，浸泡30 min，回流提取30 min，滤过，药渣加水96 mL，回流提取20 min，滤过，合并提取液，离心，上清液用旋

转蒸发仪50℃减压浓缩至适量，定量移入100 mL量瓶中，加水至刻度，摇匀备用<sup>[18]</sup>。

表2 金属氧化传感器及检测范围

Tab. 2 Metal oxidation sensor and detection range

序号	传感器型号	检测范围
S1	LY2/LG	氧化气体
S2	LY2/G	氨气/有化胺类、一氧化碳
S3	LY2/AA	乙醇
S4	LY2/GH	氨气/有机胺类
S5	LY2/gCTL	硫化氢
S6	LY2/gCT	丙烷/丁烷
S7	T30/1	有机溶剂
S8	P10/1	烃类、甲烷
S9	P10/2	甲烷
S10	P40/1	氟
S11	T70/2	芳香族化合物
S12	PA/2	乙醇、氨气/有机胺类

2.3 小鼠氨水引咳法 20~22 g昆明种小鼠，雌雄各半，按体质量、性别均衡随机分为空白对照组、燂品I-D-0号组、燂品II-D-5号组、燂品IV-D-11号组、炒品I-C-0号组、炒品II-C-5号组、炒品IV-C-11号组，每组10只。给药组按0.2 mL/10 g灌胃给予相应浓度的不同药物，给药剂量均1.2 g/kg。空白对照组给予生理盐水0.2 mL/10 g灌胃，每只鼠间隔2 min给药，连续给药7 d，最后1 d于给药后3 h逐一放入YLS-8 A多功能诱咳引喘仪透明有机玻璃容器中，超声雾化器喷入12.5%氨水，预先设定喷雾时间为20 s，相邻2个刺激时间对数差为0.1。每组第1只小鼠刺激时间均为20 s，刺激完成后观察小鼠1 min内典型咳嗽次数（以小鼠腹肌收缩或缩胸，同时张大嘴为典型咳嗽），若 $\geq 3$ 次，记为有咳嗽（+）；若 $< 3$ ，记为无咳嗽（-）。若前一只“有咳嗽”，后一只用低一级时间刺激；反之，用高一级时间刺激。根据公式计算小鼠半数引咳时间（EDT<sub>50</sub>）、R值。

$EDT_{50} = \log^{-1} \times cn = 10^{c/n}$ 。公式中n为动物数，c为rx值的总和，r为每剂量组的动物数，x为剂量（即喷雾时间）的对数。止咳药效用R表示，R大于等于1.5者有显著镇咳作用，R大于等于1.3者认为有镇咳作用。计算方法见表3。

2.4 统计方法 采用统计分析软件SAS9.4进行数据的统计分析，选用相关性分析的Pearson相关系数检验和Spearman相关系数检验的统计方法对苦杏仁止药效与12根传感器的最大响应值进行统计分析，以P<0.05为差异有统计学意义。

表3 序贯法测定 EDT<sub>50</sub> 计算例

Tab. 3 A calculation example of EDT<sub>50</sub> determination by sequential method

组别	t/s	logx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	r	rx	c	EDT <sub>50</sub>
空白对照组	7.96	0.900 9							-		-		2	1.801 8	10.509 7	11.246 0
	10.02	1.000 9				-		+		+		-	4	4.003 6		
	12.62	1.101 1			+		+						2	2.202 2		
	15.89	1.201 1		+									1	1.201 1		
	20	1.301 0	+										1	1.301 0		
燂品 I -D-0 号组	20	1.301 0	-										1	1.301 0	14.910 9	30.981 3
	25.18	1.401 1		-								-	2	2.802 2		
	31.7	1.501 1			-		-		-		+		4	6.004 4		
	39.91	1.601 1				+		+		+			3	4.803 3		
燂品 II -D-5 号组	20	1.301 0	-										1	1.301 0	14.310 9	26.983 6
	25.18	1.401 1		-		-		-		-		+	5	7.005 5		
	31.7	1.501 1			+		+		+		+		4	6.004 4		
燂品 IV -D-11 号组	6.32	0.800 7											-	1	11.309 9	13.520 7
	7.96	0.900 9										+	1	0.900 9		
	10.02	1.000 9											1	1.000 9		
	12.62	1.101 1							+				1	1.101 1		
	15.89	1.201 1		-		-		+					3	3.603 3		
	20	1.301 0	+		+		+						3	3.903 0		
炒品 I -C-0 号组	20	1.301 0	-		-								2	2.602 0	15.110 6	32.441 4
	25.18	1.401 1		+		-							2	2.802 2		
	31.7	1.501 1					-						1	1.501 1		
	39.91	1.601 1						-		-		-	3	4.803 3		
	50.24	1.701 0							+		+		2	3.402 0		
	12.62	1.101 1										-	1	1.101 1		
炒品 II -C-5 号组	15.89	1.201 1		-		-				+		-	4	4.804 4	12.510 6	17.827 9
	20	1.301 0	+		+		-		+				4	5.204 0		
	25.18	1.401 1						+					1	1.401 1		
	10.02	1.000 9						-					1	1.000 9		
炒品 IV -C-11 号组	12.62	1.101 1					+		-		-		3	3.303 3	11.910 6	15.527 4
	15.89	1.201 1				+				+		+	3	3.603 3		
	20	1.301 0	-		+								2	2.602 0		
	25.18	1.401 1		-									1	1.401 1		
	7.96	0.900 9											1	0.900 9		

注:n=10;+表示不咳嗽;-表示不咳嗽;x为剂量(喷雾时间)的对数;r为每剂量组的动物(不论咳嗽与否);c为所有剂量组喷雾时间的对数总和。

3 结果

3.1 气味测定 按“2.1”项下方法,对苦杏仁样品进行气味的测定,结果见图1、表4。从图中可以看出传感器响应值的变化有一个逐渐升高、达到峰值回落,而后趋于平坦的过程,这是由于在顶空进样时,进入传感器通道的样品挥发性物质浓度由一开始不断升高到相对降低再到动态平衡状态。

3.2 镇咳药效 具体结果见表5~6。结果表明,燂品、炒品随着走油程度的不断加深,止咳作用均逐渐减弱。燂品 I -D-0 组与对照组的比值小于炒品 I -C-0 与对照组的比值,表明未走油的炒品止咳作用大于未走油的燂品。燂品 I -D-0 组、燂品 II -D-5 组、炒品 I -C-0 组和炒品 II -C-5 组与对照组相比,比值均大于 1.5,表明未走油的燂品、炒品和轻微走油的燂品、炒品均具有显著的止咳作

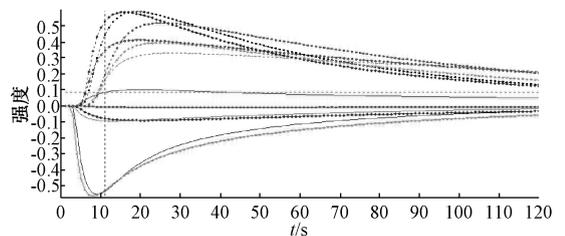


图1 电子鼻传感阵列对各样品气味的响应图  
Fig. 1 Response chart of Electronic nose sensor array to various samples

用;燂品 IV -D-11 组与对照组相比,比值小于 1.3,表明完全走油的燂品不具有止咳作用;炒品 IV -C-11 组与对照组相比,比值大于 1.3,表明完全走油的炒品具有止咳作用。炒品 I -C-0 组、燂品 I -D-0 组分别与炒品 IV -C-11 组、燂品 IV -D-11 组相比,均表现出了显著地止咳作用,炒品 II -C-5 组与炒

表 4 12 根传感器的最大响应值

Tab. 4 Maximum response of twelve sensors

组别	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
焯品 I -D-0 号组	0.21	-2.29	-2.22	-0.64	-0.84	-0.11	0.9	0.93	0.8	0.91	0.87	0.96
焯品 I -D-5 号组	0.1	-0.82	-0.82	-0.16	-0.2	-0.03	0.57	0.72	0.57	0.7	0.47	0.74
焯品 I -D-11 号组	0.11	-0.69	-0.71	-0.12	-0.12	-0.01	0.5	0.67	0.46	0.64	0.42	0.63
炒品 I -C-0 号组	0.21	-2.39	-2.23	-0.69	-0.9	-0.11	0.9	0.93	0.8	0.92	0.87	0.96
炒品 I -C-5 号组	0.11	-1.2	-1.23	-0.25	-0.33	-0.03	0.73	0.83	0.68	0.79	0.66	0.87
炒品 I -C-11 号组	0.11	-0.73	-0.76	-0.13	-0.14	-0.01	0.52	0.68	0.48	0.66	0.44	0.65

表 5 不同走油程度焯品苦杏仁组间比值

Tab. 5 Inter-group ratio of blanching products with different oil dependence

组别	与对照组比较	与焯品 11 号组比较
焯品 I -D-0 号组	2.754 9*	2.291 4*
焯品 I -D-5 号组	2.399 4*	1.148 2□
焯品 I -D-11 号组	1.202 3□	-

注：\* 为比值大于 1.5, 有显著的止咳作用；□ 为比值小于 1.3, 不具有止咳作用。

表 6 不同走油程度炒品苦杏仁组间比值

Tab. 6 Inter-group ratio of stir-frying products with different oil dependences

组别	与对照组比较	与炒品 11 号组比较
炒品 I -C-0 号组	2.884 7*	2.089 3*
炒品 I -C-5 号组	1.585 3*	1.819 7△
炒品 I -C-11 号组	1.380 7△	-

注：\* 为比值大于 1.5, 有显著的止咳作用；△ 为比值大于 1.3, 有止咳作用。

表 7 止咳药效与 12 传感器的相关系数

Tab. 7 Correlation coefficient of antitussive effects and twelve sensors

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Pearson 相关系数		-0.828 12			-0.845 51		0.795 63	0.789 37	0.828 93	0.823 87	0.781 62	0.799 34
P 值		0.041 8*			0.034*		0.058 4	0.061 9	0.041 4*	0.043 8*	0.066 3	0.056 4
Spearman 相关系数	0.454 01		-0.942 86	-0.942 86		-0.956 18						
P 值	0.365 8		0.004 8**	0.004 8**		0.002 8**						

注：与 12 根传感器的最大响应值相比较，\*  $P < 0.05$ ，\*\*  $P < 0.01$ 。

#### 4 讨论

实验结果表明传统性状分类结果中，质量较优的样品止咳作用优于质量一般样品优于质量较差样品。随着苦杏仁走油程度的加深，苦杏仁止咳药效逐渐减弱，推测苦杏仁走油过程中，苦杏仁苷的含有量在逐渐降低<sup>[19]</sup>。在苦杏仁质量最优时，炒品药效优于焯品。完全走油的炒品还具有止咳药效，推测是苦杏仁完全走油后，样品中尚有苦杏仁苷。走油后的苦杏仁虽具有止咳作用，但还能否药用需进行后续研究。

将止咳作用结果同颜色测量结果结合分析，发现 6 份样品与传感器 S2、S3、S4、S5、S6、S9、S10 响应值存在差异，可根据此结果优化传感器阵

品 IV -C-11 组相比，也表现出了显著地止咳作用。

3.3 数据分析 将苦杏仁止咳药效分别与电子鼻 12 根传感器的最大响应值相关联，使用 SAS 软件做相关分析，结果见表 7。结果表明，传感器 S1、S7、S8、S11、S12 和苦杏仁止咳作用之间不存在显著相关，说明传感器 S1、S7、S8、S11、S12 和止咳作用之间表现不出量效关系。苦杏仁的止咳作用与电子鼻传感器 S3、S4、S6 在 0.01 水平上有显著相关关系，与 S2、S5、S9、S10 在 0.05 水平上有显著相关关系。从相关系数上可以看出，苦杏仁的止咳作用与传感器 S2、S3、S4、S5、S6 呈负相关，即在一定程度上，S2、S3、S4、S5、S6 传感器响应值越高，苦杏仁的止咳作用效果越差；苦杏仁的止咳药效与传感器 S9、S10 呈正相关，即在一定程度上，S9、S10 传感器响应值越高，苦杏仁的止咳作用效果越好。

列。传感器 S2、S3、S4、S5、S6 响应值越大，传感器 S9、S10 响应值越小，药材的感官气味（哈喇味）越重，苦杏仁止咳效果越差。S3、S4、S6 传感器与止咳作用在 0.01 水平上有显著相关性，因此在用电子鼻测定气味时应着重关注传感器的响应值。S3、S4、S6 传感器响应值越大，止咳效果越差。且性状鉴别认为质量较优的样品止咳作用也较好。苦杏仁样品哈喇味越严重，止咳作用有越差的趋势。

本研究表明，苦杏仁气味同止咳作用存在一定相关性，苦杏仁气味与 S3、S4、S6 传感器联系密切。因为 S3、S4、S6 传感器对乙醇、氨气、有机胺类、丙烷、丁烷比较敏感，而且相关文献表

明<sup>[20]</sup>, 苦杏仁的挥发性成分中含有醇类的紫苏醇、苯甲醇、4-萜烯醇、2-己基-1-癸醇、3, 7, 11, 15-四甲基己烯-1-醇; 胺类的3, 5-二甲基金刚烷-1-基胺、*N*-甲基-*N*-甲基苯甲酰胺; 烷烃类的heptane, 2, 2, 4, 6, 6-pentamethyl- (2, 2, 4, 6, 6-五甲基庚烷)、十二烷、四十三烷、正二十烷、四十四烷等成分, 因此推测这些成分可能与苦杏仁走油之后产生的哈喇味有关, 课题组后期将对苦杏仁的挥发性成分进行进一步的定量分析, 对以上物质与S3、S4、S6传感器之间的规律进行研究。

电子鼻的应用说明可以使苦杏仁信息数字化, 以期将电子鼻推广应用于其他药材的气味测定提供理论依据。因本研究选取的苦杏仁样本量较少, 未能建立止咳药效的预测模型, 后期的研究将以该实验中筛选出的传感器为基础, 增加样本量, 建立止咳药效的预测模型。

#### 参考文献:

[ 1 ] 戴小慧, 任冬英. 中药饮片出油与防治措施[J]. 杭州科技, 2001(4): 34-35.  
[ 2 ] 刘爱玲, 蒲新春, 王志辉. 浅谈应用新技术贮藏中药的方法[J]. 陕西中医, 2004, 25(3): 266-267.  
[ 3 ] 阎 敏, 李新中. 苦杏仁“泛油”后的质量变化[J]. 中药材, 2008, 31(8): 1251-1252.  
[ 4 ] 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.  
[ 5 ] 赵雷蕾, 周 洋, 黎 茂, 等. 基于数据化表达的中药“形色气味”研究进展及思考[J]. 广东药学院学报, 2015, 31(5): 692-695.  
[ 6 ] 李文红, 臧淑华, 马海娟. 中药饮片传统经验鉴别方法的应用效果[J]. 医药论坛杂志, 2017, 38(7): 133-134.

[ 7 ] 徐曼菲, 吴志生, 刘晓娜, 等. 从辨色论质谈中药质量评价方法[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(2): 177-181.  
[ 8 ] Peng L, Zou H Q, Bauer R, *et al.* Identification of Chinese herbal medicines from Zingiberaceae family using feature extraction and cascade classifier based on response signals from E-nose [ J ]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2014, 2014: 963035.  
[ 9 ] Lin H, Yan Y H, Zou H Q, *et al.* Rapid discrimination of Apiaceae plants by electronic nose coupled with multivariate statistical analyses [ J ]. *J Pharm Biomed Anal*, 2013, 84: 1-4.  
[ 10 ] 韩 玉. 电子鼻在苍术质量评价中的应用研究 [ D ]. 北京: 北京中医药大学, 2011.  
[ 11 ] 汪云伟, 杨诗龙, 钟 恋, 等. 基于电子鼻技术区分益智仁的不同炮制品 [ J ]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(19): 12-14.  
[ 12 ] 陈 林, 刘友平, 陈鸿平, 等. 电子鼻在川芎不同产地不同等级评价中的应用 [ J ]. 中药与临床, 2013, 4(4): 7-10.  
[ 13 ] 林 辉, 赵 婷, 邹慧琴, 等. 基于电子鼻技术的不同产地栽培及野生喜马拉雅紫茉莉的鉴别研究 [ J ]. 中华中医药杂志, 2014, 29(6): 1834-1837.  
[ 14 ] Xiong Y, Xia X H, Yang X, *et al.* Quality control of *Lonicera japonica* stored for different months by electronic nose [ J ]. *J Pharm Biomed Anal*, 2014, 91: 68-72.  
[ 15 ] Arshak K, Moore E, Lyons G M, *et al.* A review of gas sensors employed in electronic nose applications [ J ]. *Sensor Review*, 2004, 24(2): 181-198.  
[ 16 ] 时登龙, 刘代缓, 曹 喆, 等. 苦杏仁药理作用及炮制工艺研究进展 [ J ]. 亚太传统医药, 2018, 14(12): 106-109.  
[ 17 ] 吕建珍, 邓家刚. 苦杏仁苷的药理作用研究进展 [ J ]. 现代药物与临床, 2012, 27(5): 530-535.  
[ 18 ] 李贵海, 刘 青, 孙付军, 等. 不同炮制方法对苦杏仁主要药效作用的影响 [ J ]. 中成药, 2007, 29(7): 1031-1034.  
[ 19 ] 拱健婷, 赵丽莹, Rudolf B, 等. “辨状论质”看中药材苦杏仁走油 [ J ]. 中国中药杂志, 2016, 41(23): 4375-4381.  
[ 20 ] 陈慧荣. 基于颜色气味数字化及信息融合的苦杏仁走油监测系统的研究 [ D ]. 北京: 北京中医药大学, 2019.