

国际耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2012, 36(4): 238-241.

[ 8 ] 韩德民. 变应性鼻炎 [ M ]. 北京: 人民卫生出版社, 2007: 109.

[ 9 ] 陈俊曦, 黄东辉, 左晓晖, 等. 黄芪桂枝五物汤加味对变应性鼻炎大鼠 Th1/Th2 和 Th17/Treg 细胞免疫失衡的调节作用 [ J ]. 广州中医药大学学报, 2020, 37(7): 1327-1331.

[ 10 ] 张茂华, 薛均来, 赵 虹, 等. 变应性鼻炎血清总 IgE 水平测定及临床意义 [ J ]. 中国实验诊断学, 2012, 16(6): 1063-1065.

[ 11 ] 王振霖, 李 鹏, 李 源, 等. p38 丝裂原激活蛋白激酶通路对变应性鼻炎中黏蛋白 5AC 的信号转导机制初探 [ J ]. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2011, 25(20): 943-946.

[ 12 ] Bae J S, Kim J H, Kim E H, *et al.* The role of IL-17 in a lipopolysaccharide-induced rhinitis model [ J ]. *Allergy Asthma Immunol Res*, 2017, 9(2): 169-176.

[ 13 ] Mosmann T R, Sad S. The expanding universe of T-cell subsets: Th1, Th2 and more [ J ]. *Immunol Today*, 1996(17): 138-146.

[ 14 ] 张 岳, 唐年亚. 通窍止鼙汤对变应性鼻炎 SD 大鼠血清 IL-4、IL-5 和 IFN- $\gamma$  的影响 [ J ]. 国医论坛, 2015, 30(5): 51-52.

[ 15 ] 王永慧, 叶 方, 张秀华. 辛夷药理作用和临床应用研究进展 [ J ]. 中国医药导报, 2012, 9(16): 12-14.

[ 16 ] 耿 琦, 崔 晨, 陈文文, 等. 辨病论治为主——过敏煎临床运用现状分析 [ J ]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(11): 222-225.

[ 17 ] 曾屹生, 唐月英, 陈 宇, 等. 加味四君子汤治疗变应性鼻炎的临床研究 [ J ]. 陕西中医学院学报, 2015, 38(3): 80-82.

[ 18 ] 任星宇, 罗 敏, 邓才富, 等. 白芷挥发油提取方法及药理作用的研究进展 [ J ]. 中国药房, 2017, 28(29): 4167-4170.

[ 19 ] 龙 彤, 宋 鹏, 梁 山. 白芷乳剂对过敏性鼻炎小鼠血清细胞因子及鼻黏膜中 Th17/Treg 平衡的影响 [ J ]. 现代免疫学, 2020, 40(5): 402-407.

[ 20 ] 马志跃, 李 彬, 冯 勇, 等. 黄芩苷对过敏性鼻炎大鼠免疫因子及 IL-33/ST2 信号通路的影响 [ J ]. 医药前沿, 2019, 9(5): 37-39.

[ 21 ] Li J, Lin X Y, Liu X, *et al.* Baicalin regulates Treg/Th17 cell imbalance by inhibiting autophagy in allergic rhinitis [ J ]. *Mol Immunol*, 2020, 125(9): 162-171.

# HS-SPME-GC-MS 结合主观嗅觉评价研究不同批次地龙腥臭气特征性物质基础

叶 慧<sup>1</sup>, 张定堃<sup>1</sup>, 韩 丽<sup>1</sup>, 刘 倩<sup>1</sup>, 阮世发<sup>2</sup>, 包晓明<sup>3</sup>, 高继海<sup>1</sup>, 廖嘉宝<sup>2\*</sup>, 许润春<sup>1\*</sup>

[ 1. 成都中医药大学药学院西南特色中药资源国家重点实验室, 四川 成都 611137; 2. 华润三九现代中药制药有限公司, 广东 深圳 518110; 3. 岛津企业管理 ( 中国 ) 有限公司, 四川 成都 610023 ]

**摘要:** **目的** 采用志愿者感官评价结合挥发性成分分析, 研究地龙腥臭气共有性与特征性物质基础。 **方法** 收集不同产地的多批地龙药材, 采用 HS-SPME-GC-MS 对地龙挥发性成分进行分析与鉴定, 结合 ROAV 分析地龙腥臭气关键物质。将腥臭气成分相对质量分数与感官评价进行 Pearson 相关性分析, 明确地龙腥臭气差异的特征性物质。 **结果** 地龙共有腥臭气关键物质为间甲基苯酚、2-甲氧基-3-异丁基吡嗪、二甲基三硫、正己醛、4-甲基苯酚、2-甲基异冰片、愈创木酚、仲辛酮、庚酸、2-茨醇、反式-2-壬醛。相关性分析结果显示地龙中鱼腥味、烟熏味、发霉味、泥土味的特征性物质基础为二甲基三硫、间甲基苯酚、4-甲基苯酚、2-甲氧基-3-异丁基吡嗪。 **结论** 该研究阐明了多批次地龙药材腥臭气共性物质基础及腥臭气差异的特征物质, 揭示了腥臭气差异可能与不同品种来源、饲养环境与加工方式有关, 为地龙的去腥矫臭研究提供了基础数据支撑。

**关键词:** 地龙; 腥臭气; 顶空-固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术; 感官评价; 主客观相关性分析

**中图分类号:** R284. 1 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-1528( 2023 ) 12-4150-06

**doi:** 10. 3969/j. issn. 1001-1528. 2023. 12. 051

收稿日期: 2022-12-14

基金项目: 国家自然科学基金 ( 82173991 ); 四川省科技厅青年杰出科技人才资助项目 ( 2019JDJQ0007 ); 企业委托项目 ( 301021058 )

作者简介: 叶 慧 ( 1998— ), 女, 硕士生, 从事中药制剂新剂型、新技术与炮制研究。Tel: ( 0791 ) 18146612353, E-mail: 1351164371@ qq. com

\* 通信作者: 廖嘉宝 ( 1986— ), 女, 主管中药师, 从事中药配方颗粒工艺研究。Tel: ( 0755 ) 13244866756, E-mail: xdliaojb@ 999. com. cn

许润春 ( 1973— ), 女, 博士, 副教授, 从事中药炮制研究。Tel: ( 028 ) 13308064016, E-mail: 309786953@ qq. com

地龙为环节动物门钜蚓科动物参环毛蚓 *Pheretima Aspergillum* (E. Perrier)、通俗环毛蚓 *P. Vulgaris* Chen、威廉环毛蚓 *P. Guillelmi* (Michaelsen) 或栉盲环毛蚓 *P. Pectinifera* Michaelsen 的干燥体<sup>[1]</sup>，性寒，味咸，归肝、脾、膀胱经，具有清热息风、通络、平喘、利尿的功效，临床常用于治疗高热神昏、惊痫抽搐、关节麻痹、半身不遂、肺热喘咳、水肿尿少等症，尤其对于小儿惊风、高热抽搐、咳喘等儿科疾病疗效显著。但地龙药材腥臭气强烈，遇水更甚，临床用药时患者易出现恶心呕吐等不良反应，服药依从性不佳<sup>[2]</sup>，因此地龙腥臭气问题亟待解决。

刘晓梅等<sup>[2]</sup>采用电子鼻和 HS-GC-MS 技术发现地龙腥味物质基础主要为醛类（异戊醛，2-甲基丁醛，异丁醛，2-乙基己醛，己醛）和胺类（三甲胺）。但该研究仅选择了一批地龙作为研究对象，HS-GC-MS 监测成分较少（仅 42 种），并缺少反映人体真实感受的主观评价，主客观评价之间的关联性有待深入挖掘。

地龙药源动物蚯蚓在我国分布比较广泛，主产于我国东南地区，均处于自然的生长和繁殖状态，不同产地的气候、水质、微生物种群、饲养方式等差异必然会导致不同产地地龙品质差异。地龙的前处理也会导致地龙品质差异，地龙药源蚯蚓采集后及时剖开腹部，除去内脏和泥沙，洗净，晒干或低温干燥即得到地龙饮片<sup>[1]</sup>。目前市场上普遍将地龙分级售卖，按照地龙剖开洗净的开口程度分为统货（不经处理的小地龙）、小开（开口约 1/4）、中开（开口约地龙长度的 1/3）、半开（开口 1/2）、全开（全部开口）。课题组在市场调研与生产实践中，发现地龙均存在明显腥臭气，且不同批次地龙药材腥臭气差异明显，存在部分批次地龙鱼腥味重，或土腥气重，或烟熏味重等情况。而这种腥臭气差异将持续传递到地龙汤剂、配方颗粒或其他相关中成药，影响临床服用的顺应性。因此，有必要明确地龙腥臭气物质基础及特征异味物质，针对特征异味物质的理化性质，开发高效的矫味技术。本研究采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术（headspace-solid phase micro-extraction gas chromatography mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS），结合志愿者感官评价对多批次地龙药材的共有腥臭气物质进行分析，旨在明确地龙代表性腥臭气物质基础，并定位不同批次地龙腥臭气差异的特征性物质，为地龙去腥除臭研究提供参考。

1 材料

1.1 仪器 TQ8050 三重四极杆气质联用仪（日本 Shimadzu 公司），配置 PAL 加热磁力搅拌模块、数据分析软件、Off-flavor-TQ-MS 数据库，PAL SPME Arrow 固相微萃取进样器、PAL SPME Fiber 固相微萃取进样器（1.5 mm×120 μm × 20 mm，PN ARR15-DVB/C-WR-120/20CT；95 μm×10 mm，Carbon WR Fiber，PN FIB-C-WR-95/10；瑞士思特斯分析仪器有限公司）；BT125D 型分析天平（十万分之一，德国 Sartorius 公司）；UPR-11-5T 型纯水仪（四川优普超纯科技有限公司）；HX-200K 型扣式中药粉碎机

（浙江省永康市溪岸五金药具厂）。

1.2 药材 11 批地龙药材采购于成都荷花池药材市场，样品信息见表 1，经成都中医药大学药学院国家中药种质资源库高继海副教授鉴定均为钜蚓科动物参环毛蚓 *Pheretima aspergillum* (E. Perrier) 的干燥体。

表 1 样品信息

| 编号  | 产地     | 品种   | 开口程度 |
|-----|--------|------|------|
| S01 | 中国海南文昌 | 参环毛蚓 | 全开   |
| S02 | 中国海南文昌 | 参环毛蚓 | 全开   |
| S03 | 越南     | 参环毛蚓 | 全开   |
| S04 | 中国四川乐山 | 参环毛蚓 | 全开   |
| S05 | 中国四川雅安 | 参环毛蚓 | 全开   |
| S06 | 中国广西玉林 | 参环毛蚓 | 统货   |
| S07 | 中国广西玉林 | 参环毛蚓 | 统货   |
| S08 | 中国广西玉林 | 参环毛蚓 | 全开   |
| S09 | 中国广西南宁 | 参环毛蚓 | 全开   |
| S10 | 中国广东电白 | 参环毛蚓 | 全开   |
| S11 | 中国广东茂名 | 参环毛蚓 | 全开   |

2 方法与结果

2.1 地龙样品制备 取 S01~S11 号样品适量，粉碎，收集能通过 2 号筛而不能通过 4 号筛的粉末，即得。

2.2 地龙腥臭气味感官评价 经过培训及筛选后，选择身体健康、无鼻炎、嗅觉正常、无不良嗜好的 12 名志愿者组成评定小组进行感官评定<sup>[3]</sup>。在评定前 4 h，志愿者不得抽烟饮酒，不得食用具有严重气味的食物，不得使用带有气味的化妆品、香水等<sup>[4]</sup>。本研究腥臭气味评定采用 5 分制，0 分：无腥臭气味；1 分：略有腥臭气味；2 分：腥臭气味明显；3 分：腥臭气味严重；4 分：腥臭气味极重；5 分：无法忍受的腥臭气味。称取 2 g 样品装于 3 号样品袋（100 mm×70 mm）内，密闭 2 h，由志愿者对腥臭气味进行评定并描述，评定结束后休息 10 min，待志愿者嗅觉完全恢复后，再进行下一份样品评定<sup>[4]</sup>。

由志愿者对 S01~S11 地龙腥臭气味进行评定并描述，结果见表 2。结果显示，鱼腥味、烟熏味、发霉味、泥土味构成了地龙药材主要气味特征。S02、S03、S06、S10、S11 地龙鱼腥气明显；S02、S07、S09、S11 地龙烟熏气明显；11 批地龙发霉味、泥土味均不明显。由志愿感官评价结果可知，11 批地龙总体气味构成一致，但个别批次气味特征突出。

表 2 11 批地龙药材气味描述及腥臭气评分（分， $\bar{x}\pm s$ ， $n=3$ ）

| 编号  | 鱼腥味     | 烟熏味     | 发霉味和泥土味 |
|-----|---------|---------|---------|
| S01 | 1.5±0.8 | 1.2±0.9 | 0.4±0.3 |
| S02 | 2.0±0.9 | 2.3±0.9 | 0.9±0.7 |
| S03 | 2.4±0.7 | 1.0±0.7 | 0.8±0.7 |
| S04 | 1.7±1.1 | 0.7±0.8 | 0.3±0.4 |
| S05 | 1.7±1.1 | 0.5±0.6 | 0.3±0.3 |
| S06 | 2.5±1.2 | 1.3±0.9 | 0.5±0.5 |
| S07 | 1.8±1.1 | 2.0±0.8 | 0.5±0.6 |
| S08 | 1.7±1.2 | 1.0±0.9 | 1.3±0.9 |
| S09 | 1.6±0.9 | 2.0±1.0 | 1.0±0.9 |
| S10 | 2.0±1.1 | 0.5±0.6 | 1.0±1.0 |
| S11 | 2.2±1.1 | 2.0±1.3 | 1.7±0.9 |

2.3 地龙腥臭气味 HS-SPME-GC-MS 分析

2.3.1 气相色谱条件 InertCap Pure-WAX 毛细管柱（30 mm×0.25 mm×0.25 μm）；进样口温度 250 ℃，分流进样，分流比 5：1，进样口压力 83.5 kPa；载气高纯氦气，恒压力模式；吹扫体积流量 3.0 mL/min；程序升温（初始温度 50 ℃，保持 5 min，以 10 ℃/min 升温至 250 ℃，保持 20 min）；柱平衡时间 3.0 min。

2.3.2 质谱条件 离子源为电子轰击源（EI）；离子化能量 70 eV；离子源温度 200 ℃；质谱传输接口温度 250 ℃；碰撞气氦气；MRM 监测模式，检测器电压相对于调谐结果 +0.3 kV，溶剂延迟时间 1.16 min。质谱库 NIST17s、NIST17-1、NIST17-2<sup>[5]</sup>。

2.3.3 顶空-固相微萃取条件 精密称取地龙药材细粉 0.1 g 置于 20 mL 惰性顶空瓶内；50 ℃平衡 40 min。进样前后，固相萃取头在 270 ℃老化装置中自动老化 3 min，通过聚四氟乙烯隔垫插入顶空瓶内，不接触样品，在 50 ℃恒温下萃取吸附 10 min 后，抽出萃取头，迅速插入在预运行

状态下的 GC-MS 进样口，于 250 ℃条件下解吸 2 min 后，进行 GC-MS 分析<sup>[6]</sup>。

2.3.4 HS-SPME-GC-MS 分析结果 在“2.3”项下条件进样。岛津针对食品中的气味成分专门开发了 Smart MRM 气味数据库，包含对气味影响的化合物（约 150 种）、MRM/SIM 参数以及感官信息（气味特征和气味阈值）等内容<sup>[7]</sup>。本实验中目标化合物的定性是根据定性定量离子对确认，目标化合物的定量是根据岛津 Smart MRM 气味数据库的标准曲线来实现半定量分析<sup>[6]</sup>，采用面积归一化法计算各成分的相对质量分数。11 批地龙中共检出挥发性成分 132 种，其中有醛类 17 种、酮类 18 种、酸类 16 种、烃类 17 种、酯类 12 种、醇类 19 种、酚类 16 种、杂环类 10 种、醚类 2 种、酰胺 1 种、硫化物 4 种等，典型的 S11 地龙样品 MRM 监测总离子流图见图 1。由于版面篇幅限制，本文并未列出所有挥发性成分，在下文中仅列出关键挥发性成分，见表 3。

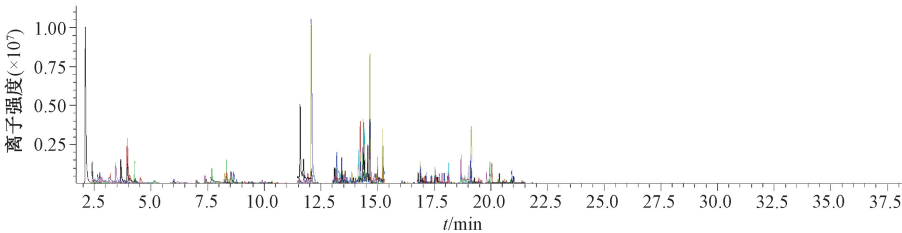


图 1 S11 地龙样品挥发性成分 HS-SPME-GC-MS 总离子流图

已知醛类物质由肉中多不饱和脂肪酸氧化产生，且阈值较低，具有鱼腥味、脂肪味，是动物药气味特征的主要组成<sup>[8]</sup>，低等碳链（C1~C5）的饱和醛具有令人不适的刺激气味，中等碳链（C6~C9）醛产生脂肪、苦或油腻气味，碳数更高的醛有柑橘皮香味；C5~C7（Z）-2-烯醛有新鲜的油漆或油灰的气味；C8~C9 的 2-烯醛有坚果、牛脂或黄瓜的香味<sup>[9-10]</sup>。因此，正己醛、正辛醛、（E，E）-2，4-庚二烯醛、（E，E）-2，4-壬二烯醛、（E）-2-庚烯醛、反式-2-壬醛对地龙腥臭气的贡献较大。酸类成分是地龙挥发性成分的重要组成，不仅普遍存在且含量较高，气味描述均为腐臭、酸味、汗臭等难闻的异味，对地龙腥臭气的贡献较大。芳烃类是鱼肉中的异味成分<sup>[9]</sup>，在地龙中含量不高，且阈值较高，对气味形成贡献不大，但某些芳烃化合物如甲苯、萘等化合物阈值较低，且会产生化学刺激性气味<sup>[11]</sup>。醇类与酮类成分可能来自于脂肪氧化<sup>[12-13]</sup>，羰基化合物对肉制品气味的形成具有极大作用，但上述成分中酮类气味多描述为香气，而醇类物质中以饱和醇居多，但其嗅阈值较高，除非浓度较高，否则对气味贡献不大。酯类成分含量不高，且多具香气。酚类成分具有典型的烟熏风味成分<sup>[14]</sup>，对地龙气味贡献大。杂环类中 2-甲氧基-3-异丁基吡嗪嗅阈值较低，可能是地龙气味的主要成分；硫醚类物质（二甲基二硫、二甲基三硫）具有嗅阈值低和强烈刺激性气味的特点，是一类典型的腥臭气物质<sup>[15]</sup>；萘、甲基

萘等物质具有焦油味、腐臭味等，也是不良异味的常见组成。根据实验及参考文献 [2] 报道，可判断醛类、酸类、酚类、硫化物是地龙腥臭气味的主要来源。

2.3.5 关键挥发性物质评价 采用相对气味活度值（relative odor activity value，ROAV）分析各化合物对样品的总体贡献<sup>[16]</sup>。“嗅觉阈值”是指人的嗅觉能感受到物质的最小刺激时的物质浓度或稀释倍数<sup>[17]</sup>。在一定的条件下，嗅觉阈值越低，浓度越高，则气味越易被感知，对整体气味的贡献越大<sup>[18]</sup>。采用 ROAV 法确定地龙中关键挥发性气味物质，首先采用气味活度值（odor activity value，OAV）方法先确定对样品风味贡献最大的挥发性组分。气味活度值即挥发性物质相对质量分数（C）与其嗅阈值（T）之间的比值，公式为  $OAV_i = \frac{c_i}{T_i}$ ，首先定义对样品气味贡献最大的组分为  $ROAV_{max} = 100$ ，对其他挥发性成分 ROAV 进行计算，公式为  $ROAV_i \approx \frac{c_i}{c_{max}} \times \frac{T_{max}}{T_i} \times 100$ ，式中  $C_i$  和  $T_i$  分别为各挥发性物质的相对百分含量和相对应的嗅阈值； $C_{max}$  和  $T_{max}$  分别为对样品总体气味贡献最大的组分相对百分含量和相对应的嗅阈值<sup>[18]</sup>。

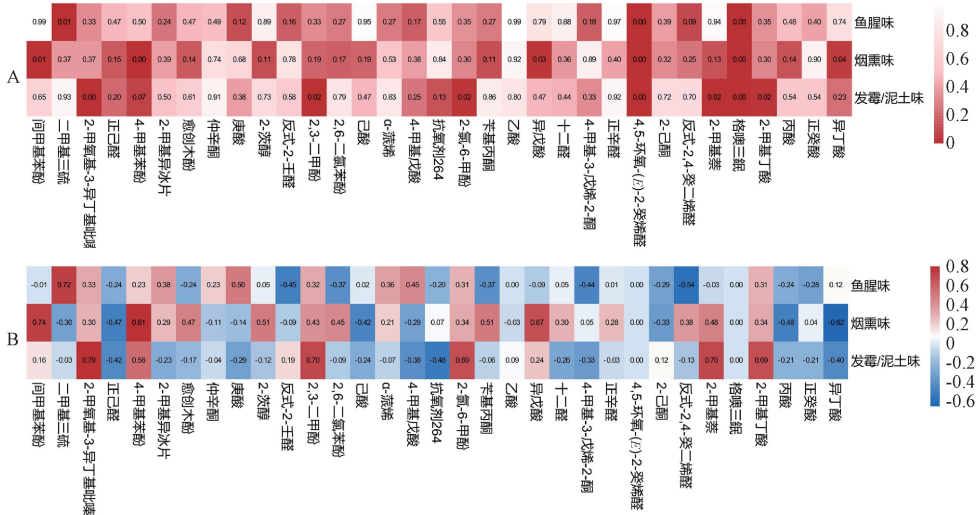
所有组分均满足  $0 < ROAV \leq 100$ ，且 ROAV 越大说明组分对样品总体气味的贡献也越大。一般认为  $ROAV \geq 1$  的组分为样品的关键气味物质， $0.1 \leq ROAV < 1$  的组分对样品的

整体气味具有重要的修饰作用<sup>[18]</sup>。S01、S02、S03、S07、S09 的 ROAV<sub>max</sub> 成分为间甲基苯酚，S04、S05 的 ROAV<sub>max</sub> 成分为正己醛，S06、S10 的 ROAV<sub>max</sub> 成分为二甲基三硫、S08、S11 的 ROAV<sub>max</sub> 成分为 2-甲氧基-3-异丁基吡嗪，以此计算 11 批地龙的 ROAV 和平均 ROAV，并筛选 ROAV>0.1 (3 批及以上地龙符合)、单个地龙 ROAV≥1 以上的挥发性成分 (即 11 批地龙中普遍存在的关键气味成分)，定位关键气味成分和气味修饰成分，共得到 59 种主要挥发性成分。通过 Smart MRM 气味数据库中挥发性成分的气味描述筛出构成地龙腥臭气的主要成分，以挥发性成分在 11 批地龙药材中的平均 ROAV 进行从大到小排序，结果见表 3，共 33 个腥臭气成分，其中构成 11 批地龙腥臭气的关键成分为间甲基苯酚、2-甲氧基-3-异丁基吡嗪、二甲基三硫、正己醛、4-甲基苯酚、2-甲基异冰片、愈创木酚、仲辛酮、庚酸、2-茨醇、反式-2-壬醛，多散发塑料味、粪便味、土味、鱼味、油脂味、烟熏味、发霉味、汽油味等不愉悦气味；具有修饰作用的成分为 2，3-二甲酚、2，6-二氯苯酚、己酸、α-蒎烯、4-甲基戊酸、抗氧化剂 264、2-氯-6-甲酚、苜基丙酮、乙酸、异戊酸、十二醛、4-甲基-3-戊烯-2-酮、正辛醛、4，5-环氧- (*E*)-2-癸烯醛、2-己酮、反式-2，4-癸二烯醛、2-甲基萘、格噢三鋇、2-甲基丁酸、丙酸、正癸酸、

异丁酸。

2.4 主客观相关性分析 Pearson 二元相关分析可以预测和解释 2 个变量之间的线性关系，从而得到 2 个变量之间关系的性质和紧密程度。将多批次地龙中各类物质的相对质量分数与感官评价中 3 种气味评分导入 IBM SPSS Statistics 26.0 软件，选择双变量相关分析进行 Pearson 分析。

将表 3 中腥臭气成分相对质量分数与志愿者感官评分进行皮尔逊双变量相关分析，结果见图 2。相关性分析结果显示，鱼腥味与二甲基三硫呈正相关 ( $P<0.05$ ， $R=0.724$ )；烟熏味与异丁酸 ( $P<0.05$ ， $R=-0.622$ ) 呈强负相关；与间甲基苯酚 ( $P<0.01$ ， $R=0.738$ )、4-甲基苯酚 ( $P<0.05$ ， $R=0.809$ )、异戊酸 ( $P<0.05$ ， $R=0.667$ ) 呈正相关；发霉味、泥土味与 2-氯-6-甲酚 ( $P<0.05$ ， $R=0.686$ )、2，3-二甲酚 ( $P<0.05$ ， $R=0.700$ )、2-甲基丁酸 ( $P<0.05$ ， $R=0.686$ )、2-甲氧基-3-异丁基吡嗪 ( $P<0.01$ ， $R=0.790$ )、2-甲基萘 ( $P<0.05$ ， $R=0.703$ ) 呈正相关。其中二甲基三硫、间甲基苯酚、4-甲基苯酚、2-甲氧基-3-异丁基吡嗪平均 ROAV>1，气味贡献度高，为腥臭气差异的关键成分。



注：A 为显著性  $P$  值热图，B 为相关系数  $R$  值热图。

图 2 腥臭气成分相对质量分数与感官评价的皮尔逊相关系数矩阵热图

### 3 讨论

研究结果表明，地龙药材普遍存在腥臭气味，HS-SPME-GC-MS 明确了不同批次地龙共有腥臭气物质基础，关键腥臭气物质为间甲基苯酚、2-甲氧基-3-异丁基吡嗪、二甲基三硫、正己醛、4-甲基苯酚、2-甲基异冰片、愈创木酚、仲辛酮、庚酸、2-茨醇、反式-2-壬醛，气味描述与感官评价基本一致。志愿者感官评价发现个别批次地龙药材腥臭气突出，通过腥臭气成分含量与感官评分的皮尔逊双变量相关性分析发现，二甲基三硫、甲基苯酚 (间甲基苯酚和 4-甲基苯酚)、2-甲氧基-3-异丁基吡嗪分别是地龙鱼腥

味、烟熏味、发霉味、泥土味的关键特征性异味物质。

地龙腥臭气特征物质可能主要来源于：(1) 地龙自身转化：地龙中富含蛋白质、氨基酸、核苷等成分，氨基酸发生脱氨基、脱羧基作用形成中间体和 小分子，如吡啶、腐胺、酪胺、组胺、脂肪酸等，进而生成硫化氢、甲烷、氨、硫醇等<sup>[12]</sup>。尤其是在含硫氨基酸半胱氨酸的存在下，形成了许多杂环产物，例如吡嗪和甲基吡嗪、甲基噻唑等<sup>[19]</sup>。酪氨酸可能在微生物作用下生成 4-甲基苯酚，地龙中的甲基苯酚可能来源于酪氨酸转化<sup>[20]</sup>。地龙成分如蛋氨酸，是硫醚类物质产生前体。(2) 生长环境及加工过程带

表 3 地龙共有腥臭气物质的相对质量分数和平均 ROAV

| 序号 | $t_R/\text{min}$ | 保留指数  | 化合物名称 | 分子式                            | 气味描述   | 嗅阈值/<br>( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 相对质量分数 |       |     |     |     |     |     |     |     |  |  | 平均<br>ROAV |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----|------------------|-------|-------|--------------------------------|--------|--------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|    |                  |       |       |                                |        | S01                                        | S02  | S03  | S04  | S05  | S06  | S07  | S08  | S09  | S10  | S11  | S12    | S13   | S14 | S15 | S16 | S17 | S18 | S19 | S20 |  |  |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1  | 20.05            | 2 067 | 间甲基苯酚 | $\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$ | 塑料、粪便味 | 0.1                                        | 0.96 | 8.07 | 0.73 | 0.47 | 0.02 | 0.14 | 2.62 | 0.03 | 1.62 | 0.03 | 1.76   | 58.23 |     |     |     |     |     |     |     |  |  |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

注：“—”表示未检出。

入：地龙药源蚯蚓是腐食生物，生活在潮湿疏松的土壤中，以含有机物腐殖质土及分解产物为食，故体内积存了大量泥沙<sup>[21]</sup>。而二甲基三硫、甲基苯酚（间甲基苯酚和 4-甲基苯酚）、2-甲氧基-3-异丁基吡嗪均是水体、土壤中常见的臭味物质。二甲基三硫作为地龙鱼腥味的特征性物质，也是为沼泽/腐败气味的主要来源，中国东南地区（地龙主产区）水域可检测到高浓度硫醚类物质<sup>[22-23]</sup>。水体中也常出现酚类污染，常造成鱼类的“酚臭味”，可能是地龙中甲基苯酚的来源之一<sup>[24]</sup>。

因此，针对地龙中特征异味物质的理化性质、环境来源及生物转化途径，可开发不需辅料、炮制矫味的高效矫味方法。本研究通过明确地龙共有腥臭气物质基础及特征异味物质，为地龙去腥除臭提供新思路，为动物药的腥臭气研究提供参考。课题组将针对地龙不同气味的特征物质进一步开展矫味方法研究。

参考文献：

[ 1 ] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典：2020 年版一部[S]. 北京：中国医药科技出版社，2020：127.

[ 2 ] 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.

[ 3 ] 邓雨娇，许润春，曾陈娟，等. HS-SPME-GC-MS 分析美洲大蠊不同炮制品的腥臭味物质[J]. 中国实验方剂学杂志，2019，25(24)：84-90.

[ 4 ] 邓雨娇，李 燕，贺亚男，等. 基于主客观嗅觉评价结合挥发性成分分析优选美洲大蠊去腥矫臭炮制方法[J]. 中草药，2020，51(2)：338-347.

[ 5 ] 黄浩洲，张定堃，李梦琪，等. 基于顶空固相微萃取-气相色谱-三重四极杆质谱联用技术的余甘子挥发性成分分析及抗仓储害虫作用研究[J]. 世界中医药，2022，17(19)：2681-2691.

[ 6 ] 谭 鹏，周永峰，黄浩洲，等. 基于顶空-固相微萃取-气相色谱-三重四极杆质谱联用的诃子挥发性成分分析[J]. 中草药，2021，52(11)：3398-3407.

[ 7 ] 包晓明，范 军，黄涛宏. GC-MS/MS 结合岛津气味数据库分析牛油中风味物质[C] //2018 年中国质谱学术大会论文集. 广州：2018 年中国质谱学术大会组委会，2018.

[ 8 ] 郑旭亚，孙菲菲，杜莉杰，等. 基于 HS-SPME-GC-MS 比较壁虎炮制前后挥发性成分变化[J]. 中国实验方剂学杂志，2022，28(15)：145-152.

[ 9 ] 文志勇，孙宝国，梁梦兰，等. 脂质氧化产生香味物质[J]. 中国油脂，2004(9)：41-44.

[ 10 ] Guo T T, Wan C Y, Huang F H, *et al.* Process optimization and characterization of arachidonic acid oil degumming using ultrasound-assisted enzymatic method[J]. *Ultrason Sonochem*, 2021, 78: 105720.

[ 11 ] Frank D, Poole S, Kirchhoff S, *et al.* Investigation of sensory and volatile characteristics of farmed and wild barramundi (*Lates calcarifer*) using gas chromatography-olfactometry mass spectrometry and descriptive sensory analysis[J]. *J Agric Food Chem*, 2009, 57(21)：10302-10312.

[ 12 ] 范 红，张定堃，李 雪，等. 动物药腥臭气物质基础研究进展[J]. 中国中药杂志，2022，47(20)：5452-5459.

[ 13 ] 吴燕燕，王悦齐，李来好，等. 基于电子鼻与 HS-SPME-GC-MS 技术分析不同处理方式腌干带鱼挥发性风味成分[J]. 水产学报，2016，40(12)：1931-1940.

[ 14 ] 钟映茹，陈新欣，周 辉，等. 烟熏材料对湘西腊肉品质的影响[J]. 现代食品科技，2016，32(5)：241-252；240.

[ 15 ] 张可佳，吴小刚，吴佳佳，等. 给水管网中硫醚类腥臭物质的研究进展[J]. 给水排水，2020，56(12)：99-105.

[ 16 ] Bi J C, Lin Z Y, Li Y, *et al.* Effects of different cooking methods on volatile flavor compounds of chicken breast[J]. *J Food Biochem*, 2021, 45(8)：e13770.

[ 17 ] 桂根生. 基于嗅觉值的车内气味溯源研究[J]. 环境与可持续发展，2018，43(4)：155-157.

[ 18 ] 刘登勇，周光宏，徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法：“ROAV”法[J]. 食品科学，2008(7)：370-374.

[ 19 ] 康 乐. 牛肉中 Maillard 反应风味前体肽的鉴定及其产物形成机理的研究[D]. 北京：北京工商大学，2017.

[ 20 ] 耿平兰，黄卫红，程化鹏. 白酒中酚类物质及检测方法的研究进展[J]. 酿酒科技，2020(8)：83-88.

[ 21 ] 张 莉，张婷婷，李 丹. 中药材地龙的质量状况研究[J]. 中国药事，2020，34(7)：825-828.

[ 22 ] 孙钰清，孔凡玉，吴继红，等. 多酚对热处理甜瓜汁挥发性关键异味组分的抑制作用[J]. 食品科学，2020，41(16)：21-28.

[ 23 ] Wang C M, Yu J W, Guo Q Y, *et al.* Occurrence of swampy/septic odor and possible odorants in source and finished drinking water of major cities across China[J]. *Environ Pollut*, 2019, 249: 305-310.

[ 24 ] 颜志明. 水中酚的危害与治理技术：2013 中国环境科学学会学术年会[C] //中国环境科学学会 2013 年学术年会. 北京：中国环境科学出版社，2013：3866-3869.