

基于GC-IMS分析新疆不同寄主肉苁蓉挥发性物质

彭旭阳, 陈君然, 崔瀚元, 胡立武, 张子迪, 朱星宇, 陈存坤

Volatile Substances of Different Hosts of *Cistanche deserticola* in Xinjiang Based on GC-IMS

PENG Xuyang, CHEN Junran, CUI Hanyuan, HU Liwu, ZHANG Zidi, ZHU Xingyu, and CHEN Cunkun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023050230>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于气相-离子迁移谱技术分析烤羊肉串的挥发性风味成分

Analysis of Volatile Flavor Substances in Mutton Shashlik Based on GC-IMS Technology

食品工业科技. 2021, 42(8): 256-263 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020060339>

气相离子迁移谱分析市售燕盏挥发性物质成分

Analysis of Volatile Substances in Bird's Nest by GC-IMS Technique

食品工业科技. 2020, 41(12): 251-255 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.12.041>

基于GC-MS与GC-IMS技术对四种柚皮精油挥发性风味物质的检测

Analysis of Volatile Flavour Components in Four Pomelo Peel Essential Oils Based on GC-MS and GC-IMS

食品工业科技. 2021, 42(15): 256-268 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020090041>

基于电子鼻、气相-离子迁移谱(GC-IMS)法分析广西螺蛳粉与螺蛳鸭脚煲风味

Analysis of the Flavor of Guangxi Luosi-Noodle and Luosi-Hot-Pot by Electronic Nose and Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry (GC-IMS)

食品工业科技. 2021, 42(9): 281-288 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070197>

基于气相离子迁移谱技术分析杜仲叶茯砖茶加工过程中挥发性成分

Analysis of Volatile Compounds in the Manufacturing Process of *Eucommia Ulmoides* Leaves Fu Brick Tea Based on Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry Method

食品工业科技. 2021, 42(21): 73-82 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021020147>

基于电子鼻、GC-MS和GC-IMS技术分析老香黄发酵期间的挥发性成分变化

Analysis of Volatile Components in Laoxianghuang During Fermentation by Electronic Nose, GC-MS and GC-IMS

食品工业科技. 2021, 42(12): 70-80 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020100170>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

彭旭阳, 陈君然, 崔瀚元, 等. 基于 GC-IMS 分析新疆不同寄主肉苁蓉挥发性物质 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(9): 272-279. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050230

PENG Xuyang, CHEN Junran, CUI Hanyuan, et al. Volatile Substances of Different Hosts of *Cistanche deserticola* in Xinjiang Based on GC-IMS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(9): 272-279. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050230

· 分析检测 ·

基于 GC-IMS 分析新疆不同寄主肉苁蓉挥发性物质

彭旭阳¹, 陈君然¹, 崔瀚元^{2,*}, 胡立武³, 张子迪⁴, 朱星宇¹, 陈存坤^{2,*}

(1.天津科技大学食品科学与工程学院, 天津 300457;

2.天津市农业科学院农产品保鲜与加工与技术研究所, 天津 300000;

3.新疆优产农业科技发展有限公司, 新疆和田 848300;

4.天津天狮学院, 天津 301700)

摘要:以新疆和田地区‘梭梭’和‘红柳’肉苁蓉为研究对象, 采用气相离子迁移色谱 (gas chromatography-ion mobility spectroscopy, GC-IMS) 分析两种不同寄主肉苁蓉挥发性物质之间的差异。结果表明: GC-IMS 共检测出 35 种挥发性物质, 其中定性出 27 种挥发性物质, 包括醛类 8 种、醇类 5 种、酯类 4 种、酮类 1 种, 以醛、醇类物质为主。‘红柳’肉苁蓉和‘梭梭’肉苁蓉挥发性物质差异明显。二者主要差异物质为 2-苯基乙醛、苯甲醛、(E)-2-庚烯醛、3-甲硫基丙醛、1-己醛、庚醛、3-甲基-2-丁烯醛、乙酸甲酯、乙酸己酯、1-己醇、乙酰安萘、异丁醇、乙酸乙酯。通过主成分分析可以有效区分两种不同寄主肉苁蓉, PC1 和 PC2 累计方差贡献率达到 91%。同时, 通过构建挥发性物质聚类热图和指纹图谱等手段, 为不同寄主肉苁蓉的鉴定和挥发性物质研究提供理论参考。

关键词:肉苁蓉, 气相离子迁移色谱, 挥发性成分, 指纹图谱, 主成分分析

中图分类号: TS255.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)09-0272-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050230



本文网刊:

Volatile Substances of Different Hosts of *Cistanche deserticola* in Xinjiang Based on GC-IMS

PENG Xuyang¹, CHEN Junran¹, CUI Hanyuan^{2,*}, HU Liwu³, ZHANG Zidi⁴, ZHU Xingyu¹, CHEN Cunkun^{2,*}

(1.College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China;

2.Institute of Agricultural Products Preservation and Processing and Technology, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300000, China;

3.Xinjiang Youchan Agricultural Technology Development Co., Ltd., Hotan 848300, China;

4.Tianjin Tianshi College, Tianjin 301700, China)

Abstract: GC-IMS (gas chromatography-ion mobility spectroscopy) was used to analyze the differences between the volatile substances of two hosts of *Cistanches deserticola* in the Hotan area, Xinjiang. The results showed that 35 volatile substances were detected by GC-IMS, among which 27 volatile substances were identified qualitatively, including 8 aldehydes, 5 alcohols, 4 esters, and 1 ketone, predominantly aldehydes, and alcohols. There were obvious differences in the volatile substances of *Cistanche deserticola* between 'Red Willow' and 'Hoxylon'. The main substances that differed between the two were 2-phenylacetaldehyde, benzaldehyde, (E)-2-heptenal, 3-(Methylmercapto) propionaldehyde, 1-

收稿日期: 2023-05-22

基金项目: “十三五”重点研发 (2018YFF0213605-2); 天津市林果现代农业产业技术体系项目 (ITTHRS2021000); 新疆维吾尔自治区重点研发任务专项 (2022B02030); 营口市博士双创计划、济宁市重点研发计划 (2022NYNS013)。

作者简介: 彭旭阳 (1996-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 农产品贮藏及加工, E-mail: 916247485@qq.com。

* 通信作者: 崔瀚元 (1983-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向: 农产品加工, E-mail: 283935986@qq.com。

陈存坤 (1981-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品贮藏及加工, E-mail: cck0318@126.com。

hexanal, heptanal, 3-methyl-2-butanal, acetic acid methyl ester, acetic acid hexyl ester, 1-hexanol, 3-hydroxy-2-butanone, 2-methyl-1-propanol, acetic acid ethyl ester. The two different hosts of *Cistanche deserticola* could be effectively distinguished by principal component analysis, and the cumulative variance contribution of PC1 and PC2 reached 91%. Meanwhile, by constructing the heat map of volatile substances clustering and fingerprinting, they can provide theoretical references for the identification of different hosts of *Cistanche deserticola* and the study of volatile substances.

Key words: *Cistanche deserticola*; gas chromatography-ion mobility spectroscopy (GC-IMS); volatile components; fingerprint mapping; principal component analysis

肉苁蓉(*Cistanche deserticola* Y.C.Ma.)列当科属高大草本植物,主要分布于中国的内蒙古阿拉善、新疆和田、宁夏和甘肃昌马等干燥地区^[1]。肉苁蓉是稀有而珍贵中药材,有补肾阳,益精血,润肠通便,大补壮阳等功能,被誉为“沙漠人参”^[2]。2018 年肉苁蓉被收录于“药食两用”目录^[3],现代药理学证明其富含多种生物活性物质,具有包括抗氧化、抗衰老、缓解疲劳、增强记忆力、保护神经、预防骨质疏松等功效^[4-5]。肉苁蓉是一种全寄生植物根部,寄主有梭梭树和红柳灌木林,品质差异较大,‘红柳’肉苁蓉茎深,质地柔软表面光滑,横切面为暗红色,味略苦。‘梭梭’肉苁蓉抗旱性能较好,横截面有不规则纹路,味甘甜^[6-7]。

目前对肉苁蓉的研究重点主要集中在种植技术^[8]、抗氧化活性^[9]、生物活性成分^[10]等方面。然而,伴随市场需求的不断增加,肉苁蓉产品的质量参差不齐,甚至存在伪造现象,这给监管部门带来了极大的挑战。目前,鉴别不同肉苁蓉药材仍然面临相当大的困难,因此需要一种高效、快速、直观的分析鉴别方法来解决这一问题。

气味扫描仪(电子鼻)、气相色谱-质谱联用(GC-MS)是目前分析挥发性物质常用的技术手段,但是在分析过程中需要对原材料进行加热、蒸馏、萃取等操作,过程繁琐,且过长的分析时间和过高的进样温度容易造成不稳定挥发性物质的结构改变^[11-14]。气相离子迁移色谱(gas chromatography-ion mobility spectroscopy, GC-IMS)是一门新兴挥发性物质分析技术,其具有分离高效、操作简便、灵敏度高、维护成本低等优势。GC-IMS 通过顶空进样分析样品的特征成分,最大程度保留样品的气味,并通过谱图中的信号积分实现风味物质的可视化,该方法具有直观稳定、操作便捷等优势。近年来被广泛用于中药^[15-17]、果蔬^[18-20]、调味品^[14,21]、酒产品^[22-24]、添加剂^[25]、香精香料^[26-28]等方面。而在中药材料鉴别领域,郭凤柳等^[29]通过 GC-IMS 对川贝母以及其他贝母进行了鉴别,为川贝母的快速鉴别提供全新思路及技术支持。严爱娟等^[30]通过 GC-IMS 技术分析,比较了覆盆子和可能混淆的山莓之间挥发性特异气味成分的差异,为覆盆子和山莓的鉴别提供了新的方法和手段。而对肉苁蓉挥发性成分相关研究较少。基于此,本研究采用 GC-IMS 对‘梭梭’和‘红柳’寄主肉苁蓉的挥发性成分进行了分析,探讨两种不同寄主肉苁蓉挥

发性成分间的差异,将为新疆肉苁蓉挥发性成分分析及品种鉴定提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

肉苁蓉 新疆和田地区策勒县的‘红柳’肉苁蓉(寄生在红柳植物根部)和‘梭梭’肉苁蓉(寄生藜科植物梭梭的根部),挑选外表无损伤、新鲜的肉苁蓉用于分析(图 1);外标物正构酮 C4~C9 山东海能科学仪器有限公司。

FA1004 电子天平 上海天平仪器厂; Flavour-Spec®气相-离子迁移谱仪 配备 MXT-5 色谱柱(15 m×0.53 mm, 1.0 μm),德国 G.A.S 公司; 20 mL 顶空瓶 上海希言科学仪器有限公司。



图 1 新疆不同寄主肉苁蓉外观及切面图

Fig.1 Appearance and section of different hosts of *Cistanche deserticola* in Xinjiang

注: A: ‘红柳’肉苁蓉; B: ‘梭梭’肉苁蓉。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备 将两种肉苁蓉洗净,去除表皮并切碎成丁,用天平准确称取 0.6 g,分别放入 20 mL 顶空瓶中,60 °C 孵化 20 min 后进样,每个样品进行 3 次平行测定。

1.2.2 GC-IMS 分析 参考 Zhou 等^[31]的方法,并略有修改。

进样条件:顶空进样针温度 85 °C;进样体积 300 μL;孵化转速 500 r/min。

GC 条件:色谱柱: MXT-5(15 m×0.53 mm, 1.0 μm);色谱柱温 60 °C;分析时间 20 min。

IMS 条件:IMS 温度 45 °C,漂移气流量 75 mL/min;高纯氮气 N₂(纯度 ≥ 99.999%)作为漂移载气。

载气流速: 初始流速为 2 mL/min, 保持 2 min 不变, 2~10 min 之间逐渐增加至 10 mL/min, 10~20 min 内逐渐增加至 100 mL/min。

保留指数计算公式:

$$RI = RI(Z) + \frac{[RI(Z+1) - RI(Z)] \times [\log_e R(X) - \log_e R(Z)]}{\log_e R(Z+1) - \log_e R(Z)}$$

式中, t 为保留时间; Z 和 $Z+1$ 分别为目标化合物(X)流出前后的正构酮所含碳原子的数目。

1.3 数据处理

GC-IMS 仪器自带 LAV(laboratory analytical viewer)分析软件, 采用正构酮 C4~C9 作为外标来计算挥发性物质的保留指数, 并根据保留指数和相对迁移时间, 与 NIST 气相数据库和 IMS 离子迁移谱数据库进行检索对挥发性风味物质进行定性分析。使用插件 Gallery Plot 构建指纹图谱、利用 Reporter 绘制二维差异谱图、Dynamic PCA 进行主成分分析, 根据挥发性物质峰体积使用 Origin 2023 绘制聚类热图; 香气特征来自好香味公司(The Good Scents Company)。

2 结果与分析

2.1 不同寄主肉苁蓉中挥发性物质的差异分析

根据保留时间、相对迁移时间和离子峰强度, 利用 LAV 分析软件中 Report 插件功能, 分别生成了三维图谱(图 2)和二维差异图谱(图 3), 图谱背景呈现蓝色, 相对迁移时间 1.0 处红色竖线为经过归一化处理的反应离子峰(reaction ion peak, RIP)。RIP 右侧的点代表肉苁蓉所含的挥发性成分, 颜色越深代表所含物质的峰强度越高。由图 2 可以看出, 不同寄主肉苁蓉所含挥发性成分已被有效分离, 并且挥发性成分的差异可以明显观察到, 如黑色框中所示, 不同寄主肉苁蓉中的挥发性物质种类存在差异, 同一挥发性物质的含量也有不同。

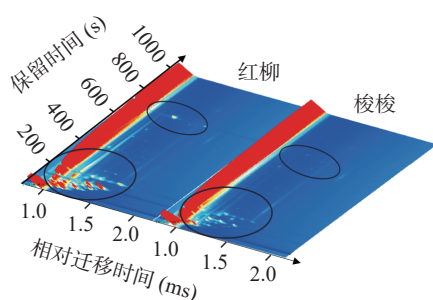


图 2 不同寄主肉苁蓉中挥发性物质 GC-IMS 三维谱图
Fig.2 GC-IMS three-dimensional spectrum of volatile substances in different hosts of *Cistanche deserticola*

采用 Reporter 二维差异谱图模式, 可以更清晰直观地比较不同样本间挥发性物质的差异。图 3B 差异谱图是以‘红柳’样品为基准扣除‘梭梭’样品所形成的谱图, 扣除背景后呈现白色。由图可知, ‘红柳’肉苁蓉和‘梭梭’肉苁蓉中大多数挥发性物质的相对迁移时间在 1.10~1.60 ms 范围内, ‘红柳’在 1.10~

1.60 ms 出现较强信号, ‘梭梭’则在 1.10~1.30 ms 出现较强信号, ‘红柳’在保留时间 100~800 s 范围内, ‘梭梭’则在 100~400 s 范围内。从图中可以看出, ‘红柳’肉苁蓉中挥发性物质浓度明显高于‘梭梭’肉苁蓉。

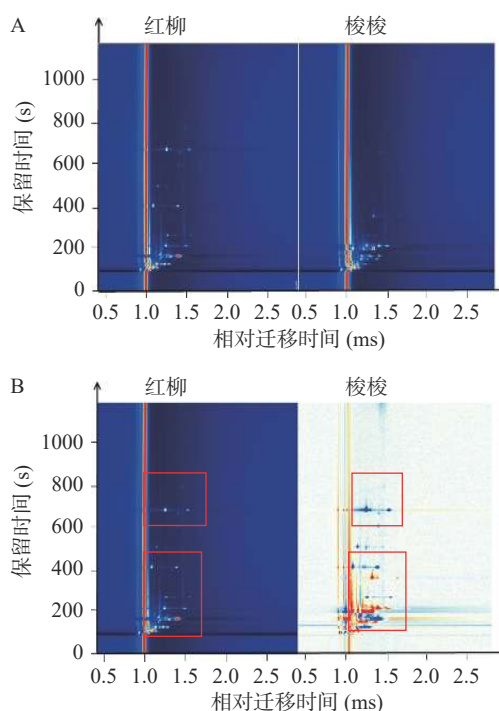


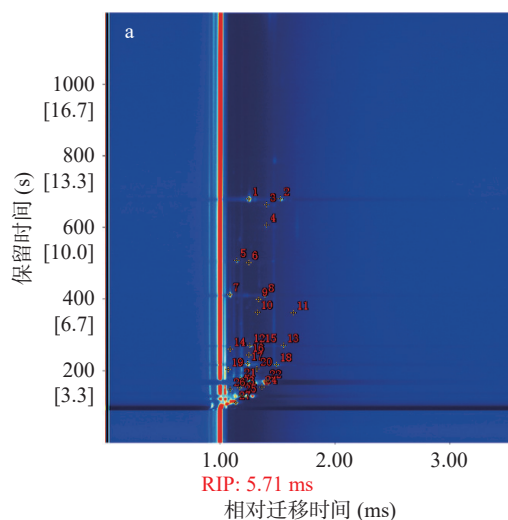
图 3 不同寄主肉苁蓉中挥发性物质 GC-IMS 二维谱图(A)和 GC-IMS 二维差异谱图(B)

Fig.3 GC-IMS two-dimensional spectra (A) and GC-IMS two-dimensional difference spectrum (B) of volatile substances in different hosts of *Cistanche deserticola*

注: 红色代表相对含量较高; 蓝色代表相对含量较低。

2.2 不同寄主肉苁蓉挥发性物质的定性分析

本研究在两种肉苁蓉中共检出 35 个信号峰。通过 GC-IMS 中 VOCal 软件内置的 NIST 数据库和 IMS 数据库进行定性分析, 图 4 显示了不同寄主肉苁蓉的挥发性物质特征峰点位图。其中共性出 27 种挥发性成分, 包括 8 种醛类、5 种醇类、4 种酯类和 1 种酮类。由于数据库的数据有限, 目前有



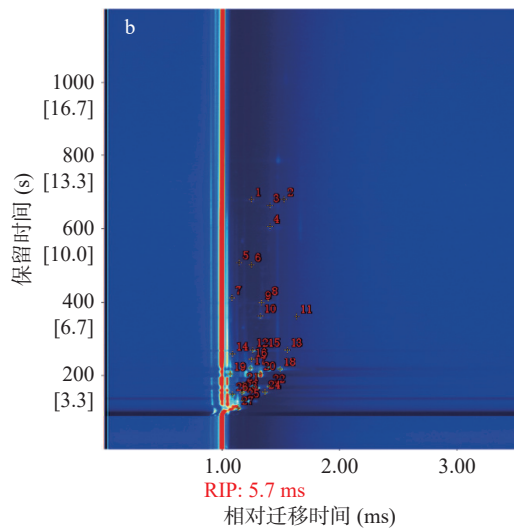


图 4 不同寄主肉苁蓉的挥发性物质特征峰点位图

Fig.4 Characteristic peak locations of volatile substances in different hosts of *Cistanche deserticola*

注: a: ‘红柳’肉苁蓉; b: ‘梭梭’肉苁蓉。

8 种物质无法定性。但需要注意的是, 有些化合物同时检测出单体和二聚体(部分挥发性物质浓度较高会形成二聚体, 并出现对应的迁移峰), 具体成分详见表 1。

表 1 ‘红柳’肉苁蓉与‘梭梭’肉苁蓉中挥发性成分定性分析

Table 1 Qualitative analysis of volatile components in 'Red Willow' and 'Haloxylon' *Cistanche deserticola*

| 序号 | 化合物 | CAS号 | 分子式 | 分子量 | 保留指数 | 保留时间(s) | 相对迁移时间(ms) | 香气特征 |
|----|------------|-----------|---|-------|--------|---------|------------|------|
| 1 | 2-苯基乙醛(M) | C122781 | C ₈ H ₈ O | 120.2 | 1050.6 | 678.692 | 1.25226 | 蜂蜜味 |
| 2 | 2-苯基乙醛(D) | C122781 | C ₈ H ₈ O | 120.2 | 1050.1 | 677.762 | 1.53072 | |
| 3 | 3-甲基丁基丁酸酯 | C106274 | C ₉ H ₁₈ O ₂ | 158.2 | 1042 | 662.375 | 1.41164 | 苹果味 |
| 4 | 乙酸己酯 | C142927 | C ₈ H ₁₆ O ₂ | 144.2 | 1010.4 | 605.571 | 1.4109 | 花香味 |
| 5 | 苯甲醛 | C100527 | C ₇ H ₆ O | 106.1 | 960.7 | 506.93 | 1.1494 | 苦杏仁味 |
| 6 | (E)-2-庚烯醛 | C18829555 | C ₇ H ₁₂ O | 112.2 | 957.2 | 500.126 | 1.25317 | 柑橘味 |
| 7 | 3-甲硫基丙醛(M) | C3268493 | C ₄ H ₈ OS | 104.2 | 906.6 | 411.319 | 1.08745 | 洋葱味 |
| 8 | 3-甲硫基丙醛(D) | C3268493 | C ₄ H ₈ OS | 104.2 | 905.4 | 409.33 | 1.39405 | |
| 9 | 庚醛 | C111717 | C ₇ H ₁₄ O | 114.2 | 898.2 | 398.153 | 1.3379 | 柑橘味 |
| 10 | 1-己醇(M) | C111273 | C ₆ H ₁₄ O | 102.2 | 871.4 | 361.379 | 1.3308 | 花香味 |
| 11 | 1-己醇(D) | C111273 | C ₆ H ₁₄ O | 102.2 | 870.4 | 360.064 | 1.64381 | |
| 12 | 1-己醛(M) | C66251 | C ₆ H ₁₂ O | 100.2 | 788.4 | 269.195 | 1.262 | 果香味 |
| 13 | 1-己醛(D) | C66251 | C ₆ H ₁₂ O | 100.2 | 788.1 | 268.835 | 1.55684 | |
| 14 | 3-甲基-2-丁烯醛 | C107868 | C ₅ H ₈ O | 84.1 | 777.7 | 258.916 | 1.09221 | 樱桃味 |
| 15 | 3-甲基-2-丁烯醛 | C107868 | C ₅ H ₈ O | 84.1 | 788.6 | 269.348 | 1.3643 | |
| 16 | 1-戊醇 | C71410 | C ₅ H ₁₂ O | 88.1 | 760.2 | 242.902 | 1.25361 | 药草味 |
| 17 | 异戊醇(M) | C123513 | C ₅ H ₁₂ O | 88.1 | 731.9 | 219.016 | 1.24424 | 果酒味 |
| 18 | 异戊醇(D) | C123513 | C ₅ H ₁₂ O | 88.1 | 727.4 | 215.496 | 1.49561 | |
| 19 | 乙酰妥英(M) | C513860 | C ₄ H ₈ O ₂ | 88.1 | 711.0 | 202.929 | 1.07505 | 奶油味 |
| 20 | 乙酰妥英(D) | C513860 | C ₄ H ₈ O ₂ | 88.1 | 712.6 | 204.151 | 1.3242 | |
| 21 | 3-甲基丁醛(M) | C590863 | C ₅ H ₁₀ O | 86.1 | 659.0 | 174.652 | 1.1816 | 巧克力味 |
| 22 | 3-甲基丁醛(D) | C590863 | C ₅ H ₁₀ O | 86.1 | 644.1 | 168.724 | 1.40666 | |
| 23 | 异丁醇(M) | C78831 | C ₄ H ₁₀ O | 74.1 | 598.9 | 151.972 | 1.1716 | 香草味 |
| 24 | 异丁醇(D) | C78831 | C ₄ H ₁₀ O | 74.1 | 601.8 | 153.003 | 1.36965 | |
| 25 | 乙酸甲酯 | C79209 | C ₃ H ₆ O ₂ | 74.1 | 527.0 | 128.678 | 1.18886 | 葡萄酒味 |
| 26 | 乙酸乙酯 | C141786 | C ₄ H ₈ O ₂ | 88.1 | 584.4 | 146.963 | 1.09407 | 香蕉味 |
| 27 | 乙醇 | C64175 | C ₂ H ₆ O | 46.1 | 456.6 | 109.335 | 1.14034 | 酒味 |

注: M为单体; D为二聚体; 表中香气特征来源于网站<http://www.thegoodscentcompany.com/search2.html>。

2.3 不同寄主肉苁蓉挥发性风味物质聚类热图及指纹图谱分析

图 5 是将两种肉苁蓉挥发性物质成分的峰体积绘制聚类热图, 由图可知, ‘梭梭’和‘红柳’肉苁蓉各自聚为一类, 两种不同寄主肉苁蓉挥发性物质存在差异。为了进一步方便观察比较, 利用 Gallery Plot 插件绘制肉苁蓉样品中挥发性风味成分指纹图谱(图 6), 图中每一行代表一个样品中选取的信号峰, 每一列代表同一挥发性有机物在不同样品中的信号峰。信号峰颜色越亮, 含量越高。从图 6 指纹图谱可知, 红框中挥发性物质在‘红柳’肉苁蓉中信号峰强度较高, 包括 2-苯基乙醛、苯甲醛、(E)-2-庚烯醛、3-甲硫基丙醛、1-己醛、3-甲基-2-丁烯醛、庚醛、乙酸甲酯、乙酸己酯等。黄框中挥发性物质在‘梭梭’肉苁蓉中信号峰强度较高, 包括 1-己醇、异丁醇、乙酰妥英、乙酸乙酯等。醛类化合物是肉苁蓉中重要的香气物质, 由于其不饱和脂肪酸的氧化产生的醛类物质会带来独特的芳香^[32], 醛类物质含量的不同使两者的风味产生较大差异。‘红柳’肉苁蓉中的 2-苯基乙醛(蜂蜜味)、苯甲醛(苦杏仁味)、(E)-2-庚烯醛(柑橘味), 3-甲硫基丙醛(洋葱味)等醛类化合物信号峰强度较高, 且 3-甲硫基丙醛会呈现较强烈洋葱味, 低浓度时则会呈

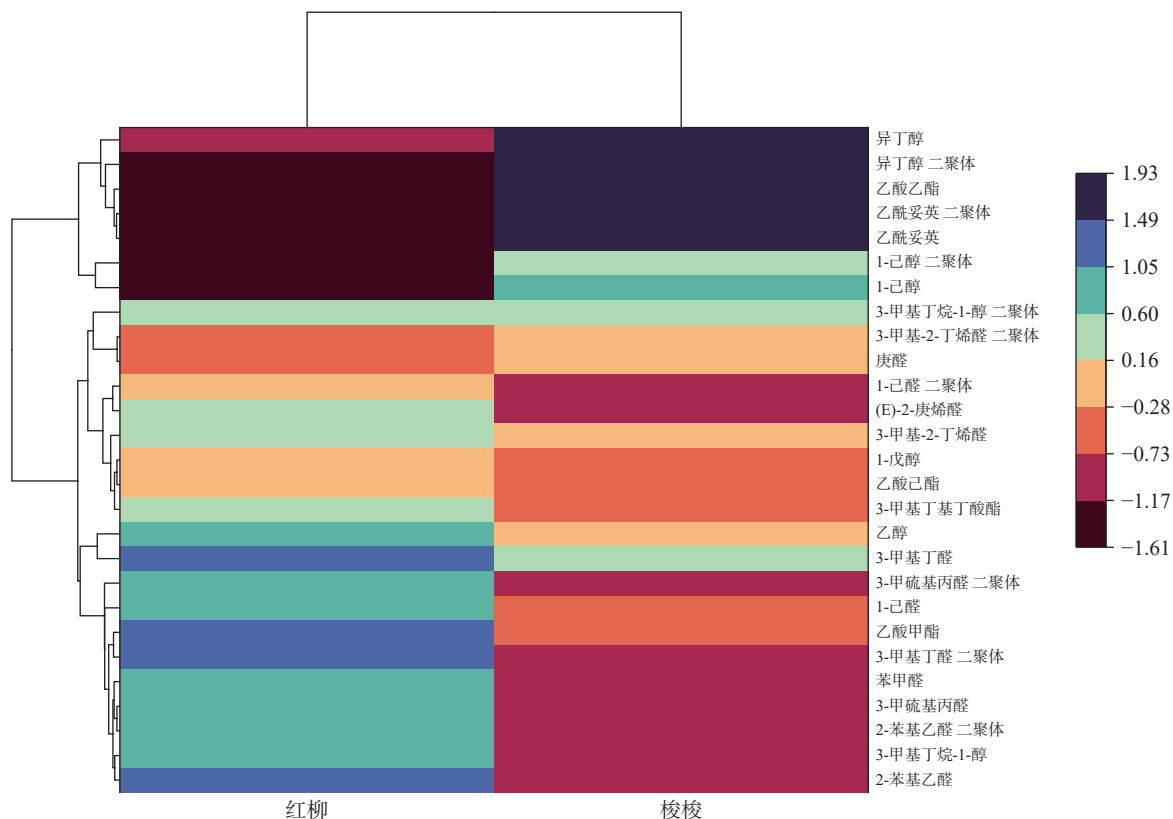


图 5 不同寄主肉苁蓉挥发性成分聚类热图

Fig.5 Clustering heat map of volatile components of *Cistanche deserticola* in different hosts

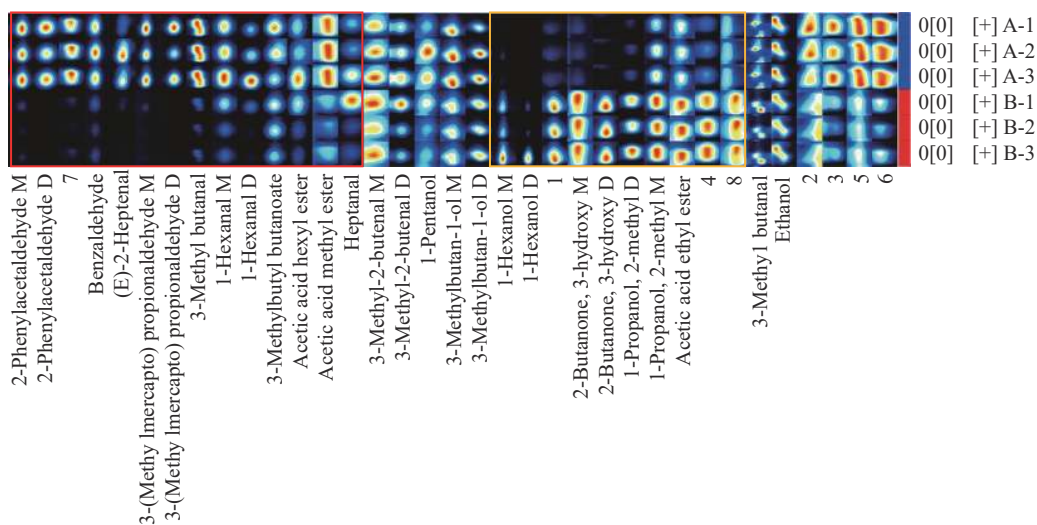


图 6 不同寄主肉苁蓉挥发性成分指纹图谱

Fig.6 Fingerprints of volatile components of *Cistanche deserticola* in different hosts

注: 数字表示未知成分。

现愉快的肉汤香味^[33], 因此‘红柳’肉苁蓉可能比‘梭梭’肉苁蓉有着更强烈的味道。而醇类和酯类物质的香气特征赋予肉苁蓉花草香气和果香^[34]。‘梭梭’肉苁蓉中信号峰强度较高的 1-己醇(花香和果香)、乙酰妥英(甜甜的奶香味)、异丁醇(清新的香草味)、乙酸乙酯(令人愉快的水果香)会给果实带来青香, 这可能是‘梭梭’肉苁蓉闻起来更加清新的原因。

2.4 不同寄主肉苁蓉挥发性成分主成分分析

主成分分析(PCA)是一种有效的化学计量学方法。在充分利用大部分原始变量信息的基础上, 该方

法能将多个指标简化为多个综合指标, 进一步简化数据并揭示变量之间的关系^[35]。通过 GC-IMS 获取的肉苁蓉关于挥发性成分的基础上, 利用 PCA 统计学对两种肉苁蓉进行分析, Dynamic PCA 插件分析结果见图 7。由图 7 可知 PC-1 贡献率为 83%, PC-2 贡献率为 8%, 所累计贡献率为 91%, 远大于可信值 60% 以上, 因此 PC-1 和 PC-2 主成分足以反映肉苁蓉样品香气特征信息。另外由图 7 可以直观看出不同寄主肉苁蓉之间有明显区分度, 且平行样品之间相互聚集, 因此, 可以根据特征挥发性物质来区分不同

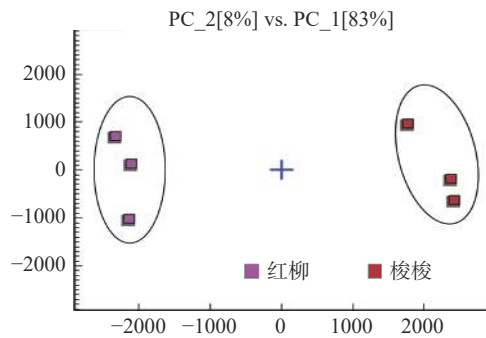


图 7 不同寄主肉苁蓉的主成分分析(PCA)图

Fig.7 Principal component analysis (PCA) graph of different hosts of *Cistanche deserticola*

寄主肉苁蓉。

此外,本实验采用 VOCs 软件分析方法——“最近邻”指纹相似度进行了分析,该功能可对样本进行快速比较,通过计算样本之间的欧式距离,从而可以通过检索最小距离来找到“最近邻”。此功能可根据所选评估区域中化合物的强度对 A、B 两种不同寄主的肉苁蓉样品进行快速比较。从图 8 可以看出 A‘红柳’肉苁蓉和 B‘梭梭’肉苁蓉中挥发性物质差异明显。



图 8 不同寄主肉苁蓉的“最近邻”指纹分析

Fig.8 "Nearest neighbor fingerprint" fingerprint analysis of different hosts of *Cistanche deserticola*

3 结论

本研究采用 GC-IMS 分析可知,‘梭梭’和‘红柳’肉苁蓉中共检测出 35 种挥发性风味物质(包括单体、二聚体),由于内置 NIST 数据库不够完善,目前只定性出其中的 27 种挥发性物质,包括醛类、醇类、酯类、酮类化合物等,以醛类、醇类为主。‘梭梭’和‘红柳’肉苁蓉主要差异物质为 2-苯基乙醛、苯甲醛、(E)-2-庚烯醛、3-甲硫基丙醛、1-己醛、庚醛、3-甲基-2-丁烯醛、乙酸甲酯、乙酸己酯、1-己醇、乙酰妥英、异丁醇、乙酸乙酯。然而本文仅仅只对两种不同寄主肉苁蓉的挥发性成分进行了定性分析,虽然通过指纹图谱和聚类热图能够直观地分辨出不同寄主肉苁蓉之间的挥发性物质的差异,但是并不能代表肉苁蓉所有的挥发性物质,后续可增加更多品种肉苁蓉的分析以及 GC-MS 对其挥发性物质的定量分析,探讨其他寄主肉苁蓉挥发性物质之间的区别与联系。

总之,通过构建肉苁蓉 GC-IMS 挥发性物质聚类热图、指纹图谱以及 PCA 主成分分析,能够很好地分辨出两种不同寄主肉苁蓉的挥发性物质的差异,可为‘梭梭’和‘红柳’肉苁蓉的快速鉴定和挥发性风味物质研究提供理论参考。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 路帆, 梁佳睿, 殷贝贝, 等. 气调微孔膜包装对鲜切肉苁蓉活性成分及抗氧化活性的影响[J]. 现代食品科技, 2023, 39(3): 194-201. [LU F, LIANG J R, YIN B B, et al. Effect of micro-porous membrane modified atmosphere packaging on the active components and antioxidant activity of fresh-cut *Cistanche deserticola* Y. C. Ma[J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(3): 194-201.]
- [2] 王利, 松伟, 刘小雪, 等. 肉苁蓉生物活性成分及功效的研究进展[J]. 食品科技, 2023, 48(2): 208-214. [WANG L, SONG W, LIU X X, et al. Research progress on bioactive components and efficacy of *Cistanche deserticola*[J]. Food Science and Technology, 2023, 48(2): 208-214.]
- [3] 李代晴, 徐荣, 何秀丽, 等. 肉苁蓉药材市场调查及规格等级标准[J]. 中国现代中药, 2021, 23(3): 401-408. [LI D Q, XU R, HE X L, et al. Market investigation and study of standard grade of *Cistanches herba*[J]. Modern Chinese Medicine, 2021, 23(3): 401-408.]
- [4] 宋紫腾, 李莹曼, 徐旭, 等. 肉苁蓉延缓衰老功能因子及作用机制研究[J]. 中国现代中药, 2022, 24(12): 2408-2421. [SONG Z T, LI Y M, XU X, et al. Anti-aging functional factors and mechanism of *Cistanche deserticola*[J]. Modern Chinese Medicine, 2022, 24(12): 2408-2421.]
- [5] CHENG N, WANG H, HAO H, et al. Research progress on polysaccharide components of *Cistanche deserticola* as potential pharmaceutical agents[J]. European Journal of Medicinal Chemistry, 2023, 245: 114892.
- [6] 刘海民, 赵岩, 于鑫森, 等. 我国不同产地荒漠肉苁蓉品质分析及其综合评价[J]. 食品工业科技, 2023, 44(8): 341-350. [LIU H M, ZHAO Y, YU X M, et al. Quality analysis and comprehensive evaluation of *Cistanche deserticola* from different origins in China [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(8): 341-350.]
- [7] 付桂芳, 陈敏, 崔光红, 等. 荒漠肉苁蓉和管花肉苁蓉的组织结构比较研究[J]. 中华中医药杂志, 2007(12): 840-843. [FU G F, CHEN M, CUI G H, et al. Comparative anatomy research on *Cistanche deserticola* and *Cistanche tubulosa*[J]. China Journal of Traditional Chinese Medicine, 2007(12): 840-843.]
- [8] 蒋亚娟. 管花肉苁蓉高产稳产栽培技术分析[J]. 农业技术与装备, 2022(8): 166-167,170. [JIANG Y J. Analysis on high and stable yield cultivation techniques of *Cistanche Tubulosa*[J]. Agricultural Technology & Equipment, 2022(8): 166-167,170.]
- [9] 周永晟, 蔡俊杰, 高连春, 等. 多指标综合评价肉苁蓉多糖的抗氧化活性[J]. 甘肃医药, 2022, 41(12): 1057-1060. [ZHOU Y S, CAI J J, GAO L C, et al. Comprehensive evaluation of antioxidant activity of *Cistanche deserticola* polysaccharides by multiple indexes[J]. Gansu Medical Journal, 2022, 41(12): 1057-1060.]
- [10] 李洋, 哈依拉提布比阿加尔, 秦亚迪, 等. 高效液相色谱法同时测定肉苁蓉饮片及管花肉苁蓉提取物中 4 种苯乙醇苷类成分含量[J]. 中国药业, 2022, 31(6): 77-80. [LI Y, HAYILATI B B A J E, QIN Y D, et al. Simultaneous determination of four phenylethanol glycosides in *Cistanches herba* decoction pieces and

- Cistanche tubulosa* extracts by HPLC[J]. *China Pharmaceuticals*, 2022, 31(6): 77-80.]
- [11] 易宇文, 何莲, 邓静, 等. 基于电子鼻和气质联用识别不同工艺的俄色茶[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(18): 361-370. [YI Y W, HE L, DENG J, et al. Identification of *Malus toringoides* (Rehd.) Hughes teas with different processes based on E-nose and GC-MS[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(18): 361-370.]
- [12] 吴嘉雯, 刘智昊, 庞林江, 等. 电子鼻技术在果蔬病害检测中的研究进展[J]. *食品与机械*, 2023, 39(1): 228-233. [WU J W, LIU Z H, PANG L J, et al. Research progress of electronic nose in fruit and vegetable disease detection[J]. *Food & Machinery*, 2023, 39(1): 228-233.]
- [13] 杨清华, 仇倩颖, 王金鑫, 等. 分散固相萃取与 GC-MS 联用检测咖啡豆及速溶咖啡中糠醛类化合物[J]. *食品科技*, 2023, 48(2): 311-316. [YANG Q H, QIU Q Y, WANG J X, et al. Determination of furfural compounds in coffee beans and instant coffee by GC-MS combined with dispersive solid phase extraction[J]. *Food Science and Technology*, 2023, 48(2): 311-316.]
- [14] 杨芳, 袁海彬, 贾洪锋, 等. 基于 GC-IMS 结合多元统计方法分析辣椒品种对辣椒油理化性质和风味物质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(19): 319-328. [YANG F, YUAN H B, JIA H F, et al. Analysis of the effects of chili varieties on the physicochemical properties and flavor compounds of chili oil based on GC-IMS combined with multivariate statistical methods[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2023, 49(19): 319-328.]
- [15] LÜ W, LIN T, REN Z, et al. Rapid discrimination of *Citrus reticulata* 'Chachi' by headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry fingerprints combined with principal component analysis[J]. *Food Research International*, 2020, 131: 108985.
- [16] WU X, LI W, LI C, et al. Discrimination and characterization of the volatile organic compounds of *Acori tatarinowii* rhizoma based on headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry and headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Arabian Journal of Chemistry*, 2022, 15(11): 104231.
- [17] 李曼祎, 沈天辰, 刘春风, 等. 不同产地枸杞品质差异研究[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(24): 56-63. [LI M Y, SHEN T C, LIU C F, et al. Research on the quality of wolfberry from different production areas[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(24): 56-63.]
- [18] FENG T, SUN J, SONG S, et al. Geographical differentiation of Molixiang table grapes grown in China based on volatile compounds analysis by HS-GC-IMS coupled with PCA and sensory evaluation of the grapes[J]. *Food Chemistry:X*, 2022, 15: 100423.
- [19] 王福成, 米思, 李劲松, 等. 基于气相色谱-离子迁移谱技术分析不同包装条件对黄瓜风味的影响[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(8): 296-304. [WANG F C, MI S, LI J S, et al. Analysis of the effect of different packaging conditions on cucumber flavor based on gas chromatography-ion mobility spectrometry technology[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(8): 296-304.]
- [20] 罗杨, 冯涛, 王凯, 等. 基于 GC-IMS 分析不同成熟度百香果挥发性有机物的差异[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(15): 321-328. [LUO Y, FENG T, WANG K, et al. Analysis of difference volatile organic compounds in passion fruit with different maturity via GC-IMS[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(15): 321-328.]
- [21] SONG Y, DU B, DING Z, et al. Baked red pepper (*Cap-sicum annuum* L.) powder flavor analysis and evaluation under different exogenous Maillard reaction treatment[J]. *LWT*, 2021, 139: 110525.
- [22] 饶文俊, 李信, 欧阳玲花, 等. GC-IMS 结合多元统计分析不同酵母与营养剂对猕猴桃白酒特征香气的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(15): 262-270. [RAO W J, LI X, OUYANG L H, et al. GC-IMS combined with multivariate statistical analysis of the effect of different yeasts and nutrients on the characteristic aroma of kiwifruit liquor[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2023, 49(15): 262-270.]
- [23] 龚霄, 陈廷慧, 胡小军, 等. 基于 GC-IMS 技术的百香果果啤风味分析[J]. *食品与机械*, 2022, 38(11): 46-52, 75. [GONG X, CHEN T H, HU X J, et al. Flavor analysis of passion beer on GC-IMS technology[J]. *Food & Machinery*, 2022, 38(11): 46-52, 75.]
- [24] 张卜升, 袁丛丛, 高杏, 等. 不同产地酱香型白酒化学风味和感官特征差异分析[J]. *食品科学*, 2023, 44(12): 235-243. [ZHANG B S, YUAN C C, GAO X, et al. Study on differences in chemical flavor and sensory characteristics of sauce-flavor Baijiu from different origins[J]. *Food Science*, 2023, 44(12): 235-243.]
- [25] 常春艳, 葛含光, 王利强, 等. 离子迁移谱快速测定食品中熏蒸剂溴甲烷[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(14): 116-119. [CHANG C Y, GE H G, WANG L Q, et al. Rapid determination of fumigant methyl bromide in foods by ion mobility spectrometry[J]. *Food Research and Development*, 2016, 37(14): 116-119.]
- [26] YAO L, SUN J, LIANG Y, et al. Volatile fingerprints of *torreya grandis* hydrosols under different downstream processes using HS-GC-IMS and the enhanced stability and bioactivity of hydrosols by high pressure homogenization[J]. *Food Control*, 2022, 139: 109058.
- [27] 汤酿, 刘静宜, 陈小爱, 等. 基于 GC-MS 和 GC-IMS 联用法分析不同采收期广佛手精油挥发性成分[J]. *食品科学*, 2021, 42(16): 193-202. [TANG N, LIU J Y, CHEN X A, et al. Analysis of volatile components in essential oil of fingered citrons *Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* swingle harvested in Guangdong Province at different times by GC-MS and GC-IMS[J]. *Food Science*, 2021, 42(16): 193-202.]
- [28] 郑小嘎, 吴爱东, 陈庆彩, 等. 不同产地大马士革玫瑰精油特征成分的气相离子迁移谱对比分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(11): 3465-3472. [ZHENG X G, WU A D, CHEN Q C, et al. Gas chromatography-ion mobility spectroscopy comparative analysis of characteristic components of rose essential oil from Damascene cultivated in different areas[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(11): 3465-3472.]
- [29] 郭凤柳, 熊蕊, 刘晓慧, 等. 基于气相色谱离子迁移谱技术的川贝母差异性探索[J]. *中国现代中药*, 2021, 23(9): 1590-1594. [GUO F L, XIONG R, LIU X H, et al. A preliminary exploration on difference of fritillaria *Cirrhosae bulbis* by GC-IMS[J]. *Modern Chinese Medicine*, 2021, 23(9): 1590-1594.]
- [30] 严爱娟, 张文婷, 周玉波, 等. 基于气相色谱-离子迁移谱的覆盆子与山莓的鉴别研究[J]. *中药材*, 2022, 45(3): 574-578. [YAN A J, ZHANG W T, ZHOU Y B, et al. Identification of raspberry and bilberry based on gas chromatography ion mobility spectrometry[J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2022, 45(3): 574-578.]

- [31] ZHOU S, FENG D, ZHOU Y, et al. Characteristic volatile organic compound analysis of different *Cistanches* based on HS-GC-IMS[J]. *Molecules*, 2022, 27(20): 6789.
- [32] 宋虹, 李一雪, 李然, 等. 顶空固相微萃取/气质联用技术结合电子鼻分析类干酪乳杆菌发酵豆渣饮料过程中风味特征[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(5): 253-262. [SONG H, LI Y X, LI R, et al. SPME/GC-MS combined with electronic nose to analyze the flavor characteristics of okara beverages fermented by *Lactobacillus casei*[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2023, 49(5): 253-262.]
- [33] 甘望宝, 狄逸方, 秦朗. 3-甲硫代丙醛在储存过程中的香气变化的研究[J]. *中国食品添加剂*, 2009(S1): 125-128. [GAN W B, DI Y F, QIN L. Study on the variation in flavor of 3-methylthio-propanal during storage[J]. *China Food Additives*, 2009(S1): 125-128.]
- [34] 夏纯凤, 吴苏喜, 王彦心, 等. 基于 GC-IMS 技术分析湿提和热榨油茶籽油风味的差异[J]. *中国油脂*, 2023, 48(5): 141-145. [XIA C F, WU S X, WANG Y X, et al. Flavor difference between wet extracted and hot-pressed oil-tea camellia seed oils based on GC-IMS[J]. *China Oils and Fats*, 2023, 48(5): 141-145.]
- [35] WAN J, LIU Q, MA C, et al. Characteristic flavor fingerprint disclosure of dzo beef in Tibet by applying SAFE-GC-O-MS and HS-GC-IMS technology[J]. *Food Research International*, 2023, 166: 112581.