

襄阳牛肉面牛油调料包挥发性风味物质分析

杨雅焯¹, 郭晓彤¹, 傅璇¹, 刘传菊¹, 谿银强^{1*}, 汤尚文^{1*}, 张倩², 赵翠荣²

(1. 湖北文理学院食品科学技术学院, 湖北省食品配料工程技术研究中心, 湖北襄阳 441053)

(2. 襄阳市农业科学院, 湖北襄阳 441057)

摘要: 为找出襄阳牛肉面牛油调料包的特征性和差异性挥发性风味物质 (Volatile Organic Compounds, VOCs), 采用气相离子迁移谱 (Gas Chromatography-ion Mobility Spectrometry, GC-IMS) 和电子鼻 (Electronic nose, E-nose) 技术对牛油调料包的 VOCs 进行了分析。GC-IMS 共分离出 118 种 VOCs, 鉴定出其中 46 种, 其中含硫化合物 2 种、萜烯类 5 种、醇类 10 种、醛类 10 种、酮类 4 种、酸类 2 种、酯类 13 种。相对气味活度值 (Relative Odor Activity Value, ROAV) 计算结果表明, 牛油调料包的 7 种主要香气成分为二甲基硫醚、桉叶油醇、(Z)-6-壬烯醛、丁酸乙酯、异戊酸甲酯、二甲基二硫和 2-甲基丙醛 (ROVA>1), 8 种香气修饰成分为 3-甲基丁醛、正己醛、正辛醛、2,3-戊二酮、2-甲基四氢呋喃-3-酮、橙花醇、正己酸乙酯和月桂烯 (0.1<ROAV<1)。正交偏最小二乘判别分析 (Orthogonal Partial Least Squares-Discriminant Analysis, OPLS-DA) 结果显示, 2-萜烯等 19 种 VOCs 含量的不同是造成不同厂家牛油调料包风味差异的主要原因。研究首次明确了襄阳牛肉面牛油调料包的主要香气成分, 可为包装产品的标准化提供理论依据。

关键词: 襄阳牛肉面; 气相离子迁移谱; 电子鼻; 挥发性风味物质

文章编号: 1673-9078(2025)02-345-356

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.2.0074

Analysis of Volatile Organic Compounds of Seasonings made from Beef Tallow for Xiangyang Beef Noodles

YANG Yaxuan¹, GUO Xiaotong¹, FU Xuan¹, LIU Chuanju¹, HUO Yinqiang^{1*},

TANG Shangwen^{1*}, ZHANG Qian², ZHAO Cuirong²

(1. School of Food Science and Technology, Hubei Provincial Engineering and Technology Research Center for Food Ingredients, Hubei University of Arts and Sciences, Xiangyang 441053, China)

(2. Xiangyang Academy of Agricultural Sciences, Xiangyang 441057, China)

Abstract: To identify the characteristic and differential volatile organic compounds (VOCs) in seasonings made from beef tallow for Xiangyang beef noodles, gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) and electronic nose (E-nose) technology were employed. A total of 118 VOCs were separated by GC-IMS, 46 of which were identified, including 2 sulfur compounds, 5 terpenes, 10 alcohols, 10 aldehydes, 4 ketones, 2 acids, and 13 esters. Relative odor activity value

引文格式:

杨雅焯, 郭晓彤, 傅璇, 等. 襄阳牛肉面牛油调料包挥发性风味物质分析[J]. 现代食品科技, 2025, 41(2): 345-356.

YANG Yaxuan, GUO Xiaotong, FU Xuan, et al. Analysis of volatile organic compounds of seasonings made from beef tallow for xiangyang beef noodles [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(2): 345-356.

收稿日期: 2024-01-16

基金项目: 襄阳市科技计划项目 (2023ABA007517); 湖北省中央财政引导地方科技发展专项 (2020ZYDD023)

作者简介: 杨雅焯 (2003-), 女, 本科生, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: 3528840575@qq.com

通讯作者: 谿银强 (1979-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: 237477288@qq.com; 共同通讯作者: 汤尚文 (1983-), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: 41178619@qq.com

(ROAV) analysis revealed that the seven main aroma components of the seasonings were dimethyl sulfide, 1,8-cineole, (Z)-6-nonenal, ethyl butanoate, methyl 3-methylbutanoate, dimethyl disulfide, and 2-methyl propanal (ROAV>1), while the eight aroma-modifying components included 3-methylbutanal, hexanal, octanal, 2,3-pentanedione, 2-methyltetrahydrofuran-3-one, nerol, ethyl hexanoate, and β -myrcene (0.1<ROAV<1). Orthogonal partial least squares discriminant analysis (OPLS-DA) demonstrated that 19 types of VOCs, such as 2-pinene, significantly contributed to the flavor differences among seasonings produced by different manufacturers. This study identified the main aroma components of seasonings made from beef tallow for Xiangyang beef noodles for the first time, providing a theoretical basis for the standardization of product packaging.

Key words: Xiangyang beef noodles; gas chromatography-ion mobility spectrometry; electronic nose; volatile organic compounds

“襄阳牛肉面”麻辣咸香，是湖北省襄阳市传统面食，已有三百多年历史，目前已注册为集体商标。据统计，在襄阳市内大大小小的牛肉面馆有近4 000家，而全国范围内有7 600余家襄阳牛肉面馆。近些年有部分企业将襄阳牛肉面开发为包装产品，产值近2亿元，颇受消费者青睐。

襄阳牛肉面包装产品的推广需首先明确其风味特征，以利于包装产品的标准化。殷晓等^[1]采用感官剖面分析对襄阳牛肉面感官词进行了筛选，研究表明面条的口感和面汤的滋味对食品品质至关重要。曹楚楚等^[2]发现襄阳牛肉面面条的感官评分和质构指标中剪切硬度、剪切韧性以及最大拉伸强度之间存在显著关联性。而襄阳食客老饕总结的襄阳牛肉面特点在于“麻辣咸香”，其风味精髓在于面汤中使用了大量的熬制牛油造成的独特滋味和气味，但目前未见相关研究报道。

近些年气相离子迁移谱（Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry, GC-IMS）技术在食品风味分析中受到广泛关注，与气相色谱-质谱联用技术（Gas Chromatography-mass Spectrometry, GC-MS）相比GC-IMS具有操作简单、无需预处理、稳定性好、检测结果可视化、保留样品原有风味等优点，GC-IMS检测结果结合相对气味活度值（Relative Odor Activity Value, ROAV）的计算鉴定主要香气成分已成为食品风味研究的重要手段^[3-5]。电子鼻技术（Electronic nose, E-nose）制样简便、检测成本低，虽不能对挥发性风味物质（Volatile Organic Compounds, VOCs）进行准确的定性和定量分析，但能从宏观上把握食品的整体气味^[6]。

因此本文拟从包装产品的牛油调料包入手，采用GC-IMS和E-nose分析各厂家牛油调料包的特征性和差异性VOCs，为襄阳牛肉面包装产品的标准化提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

从襄阳市10家牛肉面生产厂家采集牛肉面牛油调料包，分别标记为KMC、XGL、XM、DMR、NWX、DZJ、WPZ、MCN、JFQ和CNX。

1.2 仪器与设备

FlavourSpec®风味分析仪，德国G.A.S公司；PEN3电子鼻，德国Airsense公司。

1.3 实验方法

1.3.1 GC-IMS检测

称取2.00 g样品置于20 mL顶空进样瓶中，80 °C保温20 min后进样500 μ L。色谱柱为美国RESTEK公司（WAX），柱长30 m，内径ID-0.53 mm，膜厚FT-1 μ m，柱温60 °C。载气为N₂，IMS温度45 °C。

采用相对气味活度值（ROAV）评价各化合物对样品风味的贡献^[7]，计算公式如下。

$$ROAV = \frac{C_A}{C_{stan}} \times \frac{T_{stan}}{T_A} \quad (1)$$

式中：

C_A ——VOCs的相对百分含量，%；

T_A ——VOCs的嗅觉阈值，mg/kg；

C_{stan} ——样品总体风味贡献最大的VOCs的相对百分含量，%；

T_{stan} ——样品总体风味贡献最大的VOCs的嗅觉阈值，mg/kg。

1.3.2 E-nose检测

称取2.00 g样品置于20 mL顶空瓶中封盖，80 °C下水浴15 min后室温下静置30 min进行测试。电子鼻测定条件：传感器采样时间间隔为1 s，自清

洁时间为 90 s, 归零时间为 5 s; 样品准备时间为 5 s, 测试时间为 60 s。

1.4 数据处理与绘图

文中各表数据均采用 Origin 2021 计算平均值、标准差及显著性。GC-IMS 三维图、差减图由仪器自带软件分析后截图导出。采用 Simca 14.1 软件进行 GC-IMS 和电子鼻数据的正交偏最小二乘判别分析 (Orthogonal Partial Least Squares-Discriminant Analysis, OPLS-DA); 采用 Origin2021 的 Heat Map with Dendrogram 和 Correlation Plot 插件进行聚类分析和相关性分析。绘图采用 Origin 2021 完成。

2 结果与分析

2.1 不同厂家牛油调料包 VOCs 的 GC-IMS 分析

2.1.1 GC-IMS 谱图分析

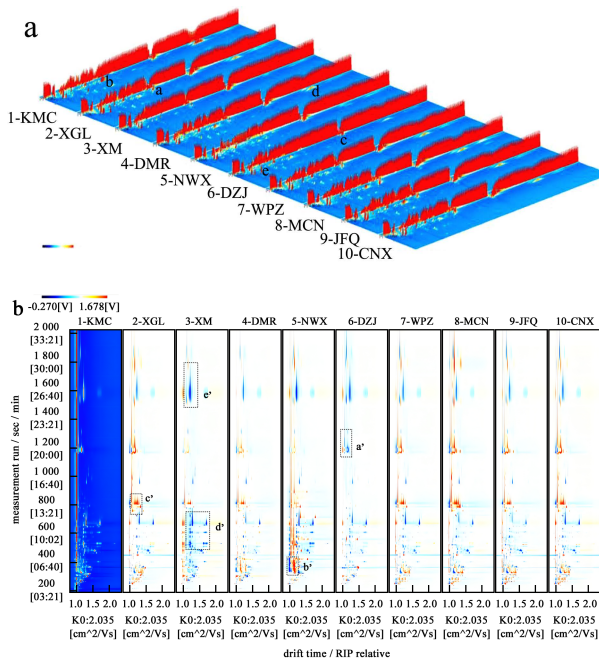


图 1 气相离子迁移谱图

Fig.1 Gas chromatography-ion mobility spectrometry

对比不同厂家牛油调料包的 GC-IMS 三维谱图 (图 1a), 图中可以直观看出 XGL、DMR、WPZ、MCN、JFQ 和 CNX 样品三维图整体较为类似, 但在 a、c 和 d 处出现的离子峰有较大差异; XM、NWX 和 DZJ 样品三维图整体较为类似, 但在 c 和 e 处出现的离子峰有较大差异; KMC 样品的三维图和其它样品整体有较大区别, 尤其在 b 处的离子峰

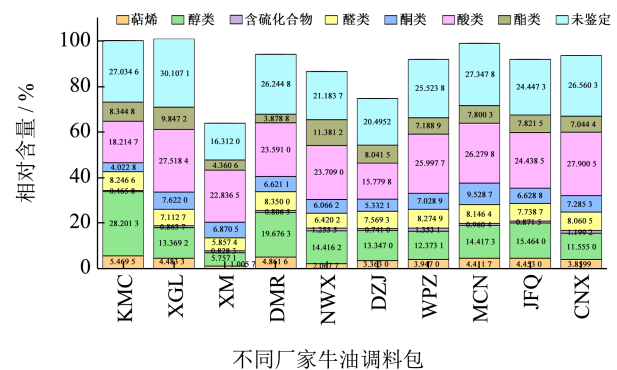
更为丰富。对图 1a 取俯视图进行差异对比 (图 1b), 以 KMC 样品为参比, 其他样品扣减参比, 红色代表该物质浓度高于参比, 蓝色代表该物质浓度低于参比^[8]。图中 a' 和 c' 区域挥发性成分除 DZJ 外, 其余样品均高于 KMC; b' 区域挥发性成分 NWX 样品明显高于其它样品; d' 和 e' 区域挥发性成分, 其余样品均低于 KMC, 且 XM 最低。

2.1.2 VOCs 分类分析

GC-IMS 共分离出 118 种 VOCs, 鉴定了其中 46 种, 采用归一法计算 VOCs 相对含量, 结果见表 1。

已鉴定出的 VOCs 中含硫化物 2 种、萜烯类 5 种、醇类 10 种、醛类 10 种、酮类 4 种、酸类 2 种、酯类 13 种, 各类物质相对含量见图 2。其中牛油调料包 VOCs 总量最高的为 XGL 和 KMC, 最低的为 XM; 在鉴定出的 VOCs 中醇类 (5.76%~28.20%)、酸类 (15.78%~27.52%)、醛类 (5.86%~8.35%) 和酯类 (3.88%~11.38%) 相对含量较高, 而含硫化物 (0.47%~1.35%)、萜烯 (1.01%~5.47%) 和酮类 (4.02%~9.53%) 相对含量较低。各类 VOCs 主要由牛油调料包制作过程中使用的牛油、香辛料等原料带入或是在熬制过程中生成的各类代谢产物^[9]。

醇类物质具有丰富的气味, 可由酯类物质水解或 Strecker 醛还原而成, 虽然其阈值不高, 但也是牛油风味物质的重要组成^[10]。值得注意的是, 在鉴定出的醇类物质中, (E)-3-己烯-1-醇、(Z)-3-己烯-1-醇、桉叶油醇、2-茨醇、橙花醇、1,4-桉叶素和 α -松油醇广泛存在于天然香辛料中^[11]。其中橙花醇 (1.37%~13.57%, 薄荷、药草香气) 和桉叶油醇 (0.86%~19.26%, 玫瑰香气) 相对含量最高, 是生姜独特香气的重要组成物质^[12]。



不同厂家牛油调料包

图 2 VOCs 分类分析

Fig.2 Classification analysis of VOCs

表 1 VOCs定性和定量分析

Table 1 Qualitative and quantitative analysis of VOCs

中文名称	保留时间/s	迁移时间/ms	CAS号	分子式	分子量	保留指数	1-KMC	2-XGL	3-XM	4-DMR	5-NWX	6-DZJ	7-WPZ	8-MCN	9-JFQ	10-CNXX
二甲基硫醚	250.26	0.95	C75183	C ₂ H ₆ S	62.10	776.60	0.45 ± 0.01 ^h	0.82 ± 0.00 ^{ef}	0.82 ± 0.02 ^{ef}	0.79 ± 0.01 ^f	1.24 ± 0.01 ^b	0.73 ± 0.05 ^g	1.31 ± 0.00 ^a	0.89 ± 0.04 ^d	0.83 ± 0.02 ^e	1.14 ± 0.02 ^c
二甲基二硫	238.08	1.14	C624920	C ₂ H ₆ S ₂	94.20	748.70	0.01 ± 0.00 ^c	0.04 ± 0.00 ^b	0.01 ± 0.0009 ^e	0.02 ± 0.00 ^c	0.01 ± 0.00 ^c	0.01 ± 0.00 ^c	0.04 ± 0.00 ^b	0.07 ± 0.02 ^a	0.04 ± 0.00 ^b	0.06 ± 0.02 ^b
含硫化合物合计 (2种)																
2-萜烯	315.33	1.21	C80568	C ₁₀ H ₁₆	136.20	921.10	0.09 ± 0.00 ^d	0.08 ± 0.00 ^d	0.12 ± 0.00 ^a	0.07 ± 0.00 ^f	0.10 ± 0.01 ^{bc}	0.07 ± 0.01 ^f	0.10 ± 0.00 ^b	0.09 ± 0.00 ^{cd}	0.09 ± 0.00 ^{cd}	0.09 ± 0.01 ^{cd}
月桂烯	610.41	1.29	C123353	C ₁₀ H ₁₆	136.20	1169.50	2.37 ± 0.02 ^e	2.47 ± 0.07 ^b	0.37 ± 0.02 ⁱ	3.02 ± 0.02 ^a	0.60 ± 0.01 ^b	1.30 ± 0.07 ^g	2.32 ± 0.03 ^c	2.04 ± 0.02 ^c	1.94 ± 0.01 ^f	2.18 ± 0.03 ^d
罗勒烯	405.43	1.68	C13877913	C ₁₀ H ₁₆	136.20	1030.40	1.37 ± 0.03 ^a	1.04 ± 0.01 ^b	0.24 ± 0.01 ^g	0.94 ± 0.02 ^c	0.90 ± 0.01 ^d	0.79 ± 0.05 ^f	0.82 ± 0.01 ^{ef}	1.01 ± 0.01 ^b	0.93 ± 0.00 ^{cd}	0.85 ± 0.00 ^e
β-蒎烯	510.45	1.30	C127913	C ₁₀ H ₁₆	136.20	1112.20	1.62 ± 0.00 ^a	0.82 ± 0.02 ^e	0.27 ± 0.00 ^b	0.80 ± 0.01 ^c	0.45 ± 0.01 ^g	1.19 ± 0.06 ^d	0.64 ± 0.01 ^f	1.25 ± 0.01 ^c	1.46 ± 0.02 ^b	0.68 ± 0.01 ^f
柠檬烯	394.25	1.29	C138863	C ₁₀ H ₁₆	136.20	1021.00	0.03 ± 0.00 ^e	0.08 ± 0.00 ^a	0.01 ± 0.00 ^b	0.04 ± 0.00 ^d	0.01 ± 0.00 ^g	0.02 ± 0.00 ^{ef}	0.06 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^f	0.02 ± 0.00 ^{ef}	0.06 ± 0.01 ^e
萜烯合计 (5种)																
乙醇	336.17	1.14	C64175	C ₂ H ₆ O	46.10	952.20	3.49 ± 0.06 ^c	4.48 ± 0.09 ^a	1.73 ± 0.01 ^e	4.86 ± 0.04 ^b	2.07 ± 0.01 ^f	3.36 ± 0.18 ^c	3.95 ± 0.04 ^d	4.41 ± 0.04 ^c	4.45 ± 0.01 ^c	3.86 ± 0.04 ^d
正丙醇	421.82	1.25	C71238	C ₃ H ₈ O	60.10	1044.30	0.34 ± 0.00 ^f	0.29 ± 0.01 ^d	0.20 ± 0.03 ^c	0.90 ± 0.01 ^a	0.51 ± 0.00 ^b	0.35 ± 0.05 ^e	0.35 ± 0.01 ^e	0.20 ± 0.00 ^e	0.24 ± 0.00 ^e	0.28 ± 0.01 ^d
(E)-3-己烯-1-醇	278.12	1.24	C928972	C ₆ H ₁₂ O	100.20	840.50	0.07 ± 0.00 ^f	0.19 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^b	0.04 ± 0.00 ^g	0.07 ± 0.00 ^g	0.04 ± 0.00 ^g	0.16 ± 0.00 ^d	0.20 ± 0.00 ^d	0.09 ± 0.00 ^e	0.18 ± 0.01 ^c
(Z)-3-己烯-1-醇	290.86	1.23	C928961	C ₆ H ₁₂ O	100.20	869.70	0.05 ± 0.00 ^a	0.01 ± 0.00 ^{ef}	0.01 ± 0.00 ^{ef}	0.00 ± 0.00 ^g	0.03 ± 0.00 ^g	0.04 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^d	0.01 ± 0.00 ^{ef}	0.01 ± 0.00 ^{fg}	0.01 ± 0.01 ^{de}
2-辛醇	367.58	1.45	C123966	C ₈ H ₁₈ O	130.20	998.50	0.13 ± 0.01 ^c	0.18 ± 0.01 ^b	0.09 ± 0.00 ^c	0.12 ± 0.00 ^d	0.09 ± 0.00 ^c	0.50 ± 0.01 ^a	0.08 ± 0.00 ^e	0.07 ± 0.00 ^f	0.05 ± 0.00 ^g	0.06 ± 0.00 ^f
桉叶油醇	674.84	1.72	C470826	C ₁₀ H ₁₈ O	154.30	1209.50	9.26 ± 0.12 ^a	3.23 ± 0.07 ^f	0.86 ± 0.01 ⁱ	5.17 ± 0.01 ^d	1.40 ± 0.02 ^b	3.86 ± 0.20 ^c	2.54 ± 0.04 ^e	5.40 ± 0.06 ^c	6.40 ± 0.03 ^b	2.55 ± 0.06 ^g
2-萜醇	580.58	1.22	C507700	C ₁₀ H ₁₈ O	154.30	1152.40	0.50 ± 0.01 ^a	0.07 ± 0.00 ^{cd}	0.06 ± 0.01 ^{ef}	0.08 ± 0.00 ^c	0.05 ± 0.00 ^f	0.06 ± 0.01 ^{def}	0.07 ± 0.00 ^{de}	0.08 ± 0.00 ^c	0.12 ± 0.00 ^b	0.07 ± 0.00 ^{de}
橙花醇	1589.29	1.70	C106252	C ₁₀ H ₁₈ O	154.30	1742.30	13.57 ± 0.45 ^a	7.34 ± 0.17 ^b	1.37 ± 0.19 ^f	7.14 ± 0.12 ^b	2.42 ± 0.15 ^e	4.73 ± 0.47 ^d	7.15 ± 0.27 ^b	6.90 ± 0.03 ^{bc}	7.02 ± 0.19 ^b	6.55 ± 0.18 ^c
1,4-桉叶素	379.87	1.32	C470677	C ₁₀ H ₁₈ O	154.30	1008.90	0.22 ± 0.00 ^a	0.02 ± 0.00 ^e	0.01 ± 0.00 ^g	0.03 ± 0.00 ^b	0.03 ± 0.00 ^c	0.02 ± 0.00 ^d	0.02 ± 0.00 ^{def}	0.01 ± 0.00 ^f	0.02 ± 0.00 ^{de}	0.02 ± 0.00 ^{ef}
α-松油醇	633.92	1.22	C98555	C ₁₀ H ₁₈ O	154.30	1183.00	0.57 ± 0.00 ^a	0.30 ± 0.01 ^d	0.05 ± 0.00 ^g	0.47 ± 0.01 ^b	0.36 ± 0.00 ^e	0.24 ± 0.02 ^f	0.30 ± 0.01 ^d	0.29 ± 0.01 ^{de}	0.27 ± 0.00 ^e	0.24 ± 0.01 ^f
醇类合计 (10种)																
正丙醛	261.09	1.15	C123386	C ₃ H ₆ O	58.10	801.40	1.37 ± 0.02 ^e	1.84 ± 0.03 ^b	1.07 ± 0.01 ^f	1.64 ± 0.01 ^c	1.57 ± 0.01 ^d	0.99 ± 0.08 ^g	1.87 ± 0.01 ^b	1.93 ± 0.01 ^c	1.83 ± 0.01 ^b	1.94 ± 0.01 ^a
2-甲基丙醛	266.37	1.28	C78842	C ₄ H ₈ O	72.10	813.60	0.36 ± 0.00 ^b	0.61 ± 0.00 ^b	0.28 ± 0.00 ⁱ	0.38 ± 0.00 ^g	0.44 ± 0.00 ^f	0.45 ± 0.02 ^e	0.60 ± 0.00 ^e	0.63 ± 0.01 ^a	0.50 ± 0.00 ^d	0.61 ± 0.01 ^b
3-甲基-2-丁烯醛	268.25	1.36	C107868	C ₅ H ₈ O	84.10	817.90	0.02 ± 0.00 ^e	0.05 ± 0.00 ^{cd}	0.02 ± 0.00 ^{cd}	0.04 ± 0.00 ^d	0.02 ± 0.00 ^e	0.03 ± 0.00 ^e	0.07 ± 0.00 ^e	0.05 ± 0.00 ^b	0.09 ± 0.00 ^a	0.06 ± 0.02 ^{bc}
3-甲基丁醛	320.30	1.41	C590863	C ₅ H ₁₀ O	86.10	928.50	2.09 ± 0.02 ^e	1.92 ± 0.01 ^g	2.42 ± 0.02 ^e	2.01 ± 0.01 ^f	1.70 ± 0.01 ^f	2.18 ± 0.02 ^d	2.52 ± 0.01 ^b	2.69 ± 0.00 ^c	2.52 ± 0.02 ^b	2.69 ± 0.10 ^a
吡喃甲醛	1174.98	1.34	C98011	C ₅ H ₄ O ₂	96.10	1507.90	0.07 ± 0.00 ^b	0.14 ± 0.01 ^e	0.09 ± 0.00 ^g	0.19 ± 0.00 ^c	0.08 ± 0.01 ^{gh}	0.07 ± 0.01 ^h	0.12 ± 0.00 ^f	0.52 ± 0.02 ^a	0.40 ± 0.01 ^b	0.17 ± 0.00 ^d
正己醛	483.68	1.56	C66251	C ₆ H ₁₂ O	100.20	1096.50	3.39 ± 0.02 ^a	1.66 ± 0.02 ^e	1.43 ± 0.01 ^g	2.89 ± 0.04 ^b	1.67 ± 0.01 ^e	2.75 ± 0.06 ^c	2.10 ± 0.03 ^d	1.52 ± 0.02 ^f	1.45 ± 0.00 ^g	1.65 ± 0.01 ^e
(E)-2-庚烯醛	347.68	1.26	C18829555	C ₇ H ₁₂ O	112.20	969.30	0.14 ± 0.00 ^b	0.10 ± 0.01 ^d	0.06 ± 0.00 ^f	0.14 ± 0.00 ^b	0.27 ± 0.01 ^a	0.09 ± 0.01 ^c	0.12 ± 0.00 ^e	0.10 ± 0.01 ^d	0.10 ± 0.00 ^d	0.12 ± 0.00 ^e

续表 1

中文名称	保留时 间/s	迁移时 间/ms	CAS 号	分子式	分子 质量	保留指数	1-KMC	2-XGL	3-XM	4-DMR	5-NWX	6-DZJ	7-WPZ	8-MCN	9-JFQ	10-CNXX
正辛醛	367.43	1.39	C124130	C ₈ H ₁₆ O	128.20	998.40	0.33 ± 0.01 ^a	0.15 ± 0.01 ^c	0.07 ± 0.00 ^g	0.18 ± 0.00 ^b	0.09 ± 0.00 ^f	0.14 ± 0.01 ^d	0.19 ± 0.00 ^b	0.13 ± 0.01 ^e	0.15 ± 0.00 ^e	0.15 ± 0.00 ^e
(Z)-6-壬烯醛	488.78	1.17	C22277192	C ₉ H ₁₆ O	140.20	1099.70	0.23 ± 0.01 ^f	0.31 ± 0.00 ^d	0.14 ± 0.01 ^g	0.35 ± 0.01 ^{ab}	0.29 ± 0.00 ^f	0.36 ± 0.01 ^{ab}	0.33 ± 0.01 ^c	0.32 ± 0.01 ^{cd}	0.36 ± 0.00 ^a	0.35 ± 0.02 ^b
壬醛	985.77	1.47	C124196	C ₉ H ₁₈ O	142.20	1400.90	0.26 ± 0.01 ^{de}	0.33 ± 0.01 ^c	0.26 ± 0.01 ^{de}	0.50 ± 0.01 ^a	0.28 ± 0.00 ^d	0.51 ± 0.02 ^a	0.38 ± 0.02 ^b	0.25 ± 0.01 ^e	0.34 ± 0.02 ^c	0.33 ± 0.01 ^c
醛类合计 (10 种)																
丙酮	275.36	1.11	C67641	C ₃ H ₆ O	58.10	834.20	2.65 ± 0.01 ^f	2.43 ± 0.03 ^g	4.27 ± 0.02 ^a	3.72 ± 0.02 ^b	3.04 ± 0.01 ^e	3.61 ± 0.15 ^c	2.73 ± 0.01 ^f	2.35 ± 0.02 ^g	3.28 ± 0.01 ^d	2.65 ± 0.04 ^f
3-羟基-2-丁酮	792.01	1.33	C513860	C ₄ H ₈ O ₂	88.10	1290.90	0.93 ± 0.04 ^e	3.11 ± 0.15 ^b	2.00 ± 0.14 ^d	1.92 ± 0.03 ^d	2.68 ± 0.06 ^c	1.15 ± 0.22 ^e	2.48 ± 0.17 ^c	5.04 ± 0.20 ^a	2.04 ± 0.34 ^d	2.47 ± 0.17 ^c
2,3-戊二酮	451.43	1.23	C600146	C ₅ H ₈ O ₂	100.10	1069.30	0.30 ± 0.01 ^{de}	1.43 ± 0.05 ^b	0.40 ± 0.01 ^d	0.45 ± 0.01 ^d	0.20 ± 0.01 ^c	0.38 ± 0.03 ^d	1.39 ± 0.09 ^b	1.48 ± 0.05 ^{ab}	0.70 ± 0.24 ^e	1.63 ± 0.13 ^c
2-甲基四氢呋喃-3-酮	760.32	1.42	C3188009	C ₅ H ₈ O ₂	100.10	1268.90	0.14 ± 0.01 ^f	0.66 ± 0.02 ^a	0.21 ± 0.01 ^e	0.53 ± 0.01 ^e	0.15 ± 0.01 ^f	0.19 ± 0.02 ^e	0.43 ± 0.01 ^d	0.67 ± 0.01 ^a	0.61 ± 0.01 ^b	0.53 ± 0.02 ^c
酮类合计 (4 种)																
乙酸	1187.80	1.15	C64197	C ₂ H ₄ O ₂	60.10	1515.20	17.75 ± 1.73 ^d	27.22 ± 0.79 ^a	22.50 ± 1.08 ^e	22.80 ± 0.18 ^e	22.73 ± 0.24 ^c	15.46 ± 2.46 ^c	25.66 ± 1.42 ^{ab}	26.04 ± 0.50 ^{ab}	24.22 ± 0.05 ^{bc}	27.61 ± 0.27 ^a
正乙酸	369.25	1.29	C142621	C ₆ H ₁₂ O ₂	116.20	999.90	0.47 ± 0.02 ^e	0.30 ± 0.00 ^f	0.34 ± 0.01 ^d	0.79 ± 0.00 ^b	0.98 ± 0.01 ^a	0.32 ± 0.02 ^e	0.34 ± 0.01 ^d	0.24 ± 0.00 ^g	0.22 ± 0.00 ^h	0.29 ± 0.00 ^f
酸类合计 (2 种)																
乙酸乙酯	300.21	1.33	C141786	C ₄ H ₈ O ₂	88.10	891.20	3.81 ± 0.03 ^e	5.12 ± 0.03 ^a	1.52 ± 0.03 ⁱ	1.09 ± 0.02 ^j	4.17 ± 0.01 ^b	2.06 ± 0.03 ^h	3.72 ± 0.00 ^f	3.89 ± 0.04 ^d	4.07 ± 0.03 ^c	3.25 ± 0.02 ^g
乙酸丙酯	362.60	1.48	C109604	C ₅ H ₁₀ O ₂	102.10	991.50	0.63 ± 0.01 ^h	1.92 ± 0.02 ^b	1.18 ± 0.01 ^c	0.48 ± 0.01 ⁱ	0.61 ± 0.01 ^b	3.66 ± 0.06 ^c	0.82 ± 0.00 ^g	1.13 ± 0.00 ^d	0.96 ± 0.00 ^f	1.04 ± 0.01 ^e
丙酸丙酯	263.57	1.21	C106365	C ₆ H ₁₂ O ₂	116.20	807.10	0.11 ± 0.01 ^{de}	0.17 ± 0.01 ^{ab}	0.10 ± 0.01 ^e	0.14 ± 0.00 ^c	0.13 ± 0.01 ^{cd}	0.09 ± 0.00 ^e	0.16 ± 0.00 ^b	0.17 ± 0.00 ^{ab}	0.19 ± 0.01 ^a	0.17 ± 0.03 ^{ab}
乙酸丁酯	466.23	1.62	C123864	C ₆ H ₁₂ O ₂	116.20	1081.70	1.00 ± 0.01 ^a	0.15 ± 0.00 ^f	0.10 ± 0.01 ^g	0.07 ± 0.00 ^b	0.09 ± 0.00 ^b	0.17 ± 0.01 ^c	0.14 ± 0.00 ^f	0.19 ± 0.01 ^d	0.26 ± 0.00 ^c	0.30 ± 0.01 ^b
丁酸乙酯	422.35	1.56	C105544	C ₆ H ₁₂ O ₂	116.20	1044.70	0.02 ± 0.00 ^e	0.02 ± 0.00 ^e	0.02 ± 0.00 ^{de}	0.03 ± 0.00 ^b	0.86 ± 0.00 ^a	0.02 ± 0.00 ^{cd}	0.02 ± 0.00 ^{cd}	0.02 ± 0.00 ^{cd}	0.02 ± 0.00 ^{de}	0.02 ± 0.00 ^{de}
异戊酸甲酯	266.98	1.20	C556241	C ₆ H ₁₂ O ₂	116.20	815.00	0.25 ± 0.00 ^g	0.37 ± 0.00 ^f	0.19 ± 0.00 ^b	0.27 ± 0.01 ^f	0.28 ± 0.01 ^e	0.26 ± 0.00 ^f	0.38 ± 0.00 ^b	0.39 ± 0.00 ^a	0.30 ± 0.01 ^d	0.39 ± 0.00 ^{ab}
乳酸乙酯	896.38	1.54	C97643	C ₅ H ₁₀ O ₃	118.10	1350.40	0.14 ± 0.01 ^c	0.15 ± 0.00 ^e	0.12 ± 0.00 ^c	0.17 ± 0.01 ^{bc}	1.27 ± 0.07 ^a	0.23 ± 0.09 ^b	0.14 ± 0.01 ^c	0.14 ± 0.01 ^c	0.13 ± 0.00 ^e	0.15 ± 0.01 ^e
2-糠酸甲酯	1320.05	1.15	C611132	C ₆ H ₆ O ₃	126.10	1590.00	0.54 ± 0.03 ^a	0.34 ± 0.03 ^b	0.21 ± 0.03 ^d	0.26 ± 0.02 ^c	0.28 ± 0.01 ^c	0.28 ± 0.03 ^c	0.29 ± 0.02 ^c	0.35 ± 0.01 ^b	0.30 ± 0.01 ^c	0.34 ± 0.03 ^b
己酸甲酯	311.20	1.29	C106707	C ₇ H ₁₄ O ₂	130.20	915.00	0.62 ± 0.02 ^e	0.66 ± 0.01 ^b	0.15 ± 0.00 ^g	0.16 ± 0.00 ^g	0.62 ± 0.00 ^g	0.22 ± 0.01 ^f	0.56 ± 0.01 ^d	0.56 ± 0.00 ^d	0.69 ± 0.01 ^a	0.47 ± 0.01 ^e
丙酸丁酯	296.96	1.28	C590012	C ₆ H ₁₂ O ₂	130.20	883.70	0.18 ± 0.00 ^g	0.17 ± 0.00 ^{ef}	0.14 ± 0.00 ^h	0.33 ± 0.00 ^a	0.15 ± 0.01 ^g	0.26 ± 0.01 ^b	0.25 ± 0.00 ^b	0.21 ± 0.00 ^d	0.17 ± 0.01 ^f	0.23 ± 0.01 ^c
正己酸乙酯	717.20	1.80	C123660	C ₈ H ₁₆ O ₂	144.20	1238.90	0.41 ± 0.01 ^{bcd}	0.42 ± 0.01 ^{bc}	0.43 ± 0.00 ^b	0.36 ± 0.01 ^{ef}	2.36 ± 0.02 ^a	0.38 ± 0.03 ^{cd}	0.36 ± 0.01 ^{ef}	0.37 ± 0.02 ^{de}	0.33 ± 0.02 ^f	0.40 ± 0.04 ^{bcde}
(Z)-丁酸-3-己烯酯	649.61	1.43	C16491364	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	170.30	1192.00	0.16 ± 0.01 ^d	0.15 ± 0.00 ^{de}	0.16 ± 0.01 ^d	0.21 ± 0.00 ^b	0.39 ± 0.01 ^a	0.18 ± 0.02 ^e	0.14 ± 0.00 ^e	0.10 ± 0.00 ^{fg}	0.10 ± 0.01 ^g	0.11 ± 0.01 ^f
乙酸芳樟酯	726.03	1.22	C115957	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196.30	1245.10	0.49 ± 0.01 ^a	0.21 ± 0.01 ^d	0.05 ± 0.00 ^f	0.32 ± 0.01 ^b	0.18 ± 0.00 ^e	0.22 ± 0.02 ^d	0.21 ± 0.01 ^d	0.28 ± 0.00 ^c	0.31 ± 0.00 ^b	0.17 ± 0.00 ^e
酯类合计 (13 种)																
未检出化合物合计 (72 种)																
总计 (118 种)																
							100.00 ± 2.45 ^a	100.92 ± 1.51 ^a	63.83 ± 2.64 ^e	94.03 ± 0.15 ^b	86.50 ± 1.08 ^c	74.67 ± 5.08 ^f	91.71 ± 2.40 ^b	98.89 ± 1.16 ^a	91.86 ± 0.93 ^b	93.47 ± 0.77 ^b

注: 同行右肩不同的小写字母表示具有显著差异 (P < 0.05)。

醛类阈值较低,对襄阳牛肉面的牛油风味起到关键作用。李贝贝^[13]从牛油中鉴定出13种关键风味化合物,其中醛类有9种,正己醛、正辛醛和壬醛在本文牛油调料包中亦有检出。正己醛在醛类中含量最高(1.43%~3.39%),其主要来自于n-6多不饱和脂肪酸氧化^[14];正辛醛和壬醛则来自于油酸氧化,此外生姜和辣椒也可能是辛醛和壬醛的重要来源^[15]。牛油调料包VOCs中的不饱和醛与亚油酸、亚麻酸等不饱和脂肪酸相关^[16],其中(Z)-6-壬烯醛具有花香味,(E)-2-庚烯醛有青草味;3-甲基-2-丁烯醛具有水果香味,有研究人员从橄榄油、大豆油、胡麻油等食用油脂挥发性成分中检出^[17];呋喃甲醛呈焦香味,亦是辣椒的特征风味成分;2-甲基丙醛和3-甲基丁醛这类具有支链的醛类,通常是由缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸等氨基酸的Strecker降解产生^[18],是郫县豆瓣酱的特征性风味物质^[19]。

酸类物质在牛油调料包中仅检出2种,但其中乙酸相对含量(17.75%~27.61%)是所有VOCs中最高的,秦雅丽^[20]的研究表明乙酸是牛油的关键风味物质之一。其可能来自于食醋等呈酸味调味料,此外酯类水解或醇、醛的氧化亦是乙酸的重要来源。

酯类化合物主要提供酯香、清香和果香风味,其气味阈值较高,对整体风味贡献较小^[21];酯类物质大部分是脂质代谢过程中生成的羧酸和醇类物质的水解而成。王冲等^[22]的研究表明,酯类在牛油肚油、腰油和分割油的VOCs中占比分别达到3.63%、4.34%和8.49%,是牛油风味的重要组成。牛油调料包VOCs中乙酸乙酯(1.09%~5.12%)和乙酸丙酯(0.48%~3.66%)相对含量较高,而丁酸乙酯、异戊酸甲酯和正己酸乙酯具有较低的阈值,分别为0.10、0.40和8.00 μg/kg,这些酯类可能与牛油调料包熬制时加入的豆豉、花椒、豆瓣酱等调味料有关^[23]。

含硫化合物是牛肉香味最重要的来源。牛油调料包VOCs中二甲基硫醚呈青草、鱼腥味或玉米味,二甲基二硫有洋葱味,硫醚可能来自原牛油熬制时加入的大蒜和葱白^[24];大蒜中蒜氨酸与蒜氨酸酶反应形成蒜素,再经加热降解后生成硫醚,而挥发性的硫醚类化合物,是葱属植物及其加工产品的特征风味^[25,26]。

萜烯类化合物主要来自于植物,月桂烯、罗勒烯和柠檬烯是花椒油的关键香气物质,2-蒎烯、

β -蒎烯则对花椒油香气有重大贡献^[27]。

酮类物质主要来源于脂肪氧化后的降解产物、美拉德反应和调味料^[28],其含量虽然不高,但具有较低的阈值,对牛油调料包风味亦起到一定的贡献。3-羟基-2-丁酮、2,3-戊二酮和2-甲基四氢呋喃-3-酮在牛肉加工制品中均有检出,对肉香具有重要贡献^[24,29]。其中2,3-戊二酮是美拉德反应产物中典型的奶香味化合物,具有黄油风味^[30]。

从定量和定性分析结果可以看出,襄阳牛肉面牛油调料包中鉴定出的46种VOCs有两类主要来源。一类是牛油调料包所使用的原料如牛油、生姜、大蒜、大葱、豆豉、花椒、辣椒、豆瓣酱等自身含有的VOCs;另一类是在牛油调料包熬制过程中,由高温诱导的原料组分相互间发生氧化、热降解、美拉德等反应而产生的代谢物。襄阳牛肉面历史悠久,各厂家均经历了从门市小店到包装产品的发展过程,在此期间各厂家相互之间亦有配方和工艺上的交流,因此不同厂家牛油调料包VOCs有一定的共同特征,这些共性VOCs最终形成了襄阳牛肉面的特征性风味,此外由于配料用量和工艺参数上的差异,也使得各厂家牛油调料包VOCs有一定的差异性。具体的特征性和差异性VOCs可通过聚类分析、OPLS-DA分析和ROAV值的计算进一步明确。

2.1.3 VOCs的聚类分析(CA)

采用CA方法(距离类型:pearson相关性)并结合热图进一步分析不同厂家牛油调料包VOCs的差异,聚类热图见图3,图中颜色由蓝到红表示物质相对含量由低到高。根据各组样品VOCs的不同,通过层次聚类从图3左侧聚类树可以看出各厂家牛油调料包大致可分为两组,其中JFQ、MCN、CNX、WPZ和XGL为一组,NWX、XM、DZJ、DMR和KMC为一组。2-蒎醇、1,4-桉叶素和乙酸丁酯可作为KMC的标记性VOCs;正丙醇可作为DMR的标记性VOCs;2-辛醇和乙酸丙酯可作为DZJ的标记性VOCs;2-蒎烯和丙酮可作为XM的标记性VOCs;丁酸乙酯、正己酸乙酯和乳酸乙酯可作为NWX的标记性VOCs;双戊烯可作为XGL的标记性VOCs;3-羟基-2-丁酮可作为MCN的标记性VOCs;3-甲基-2-丁烯醛可作为JFQ的标记性VOCs。而CNX和WPZ在聚类热图中无明显的标记物。

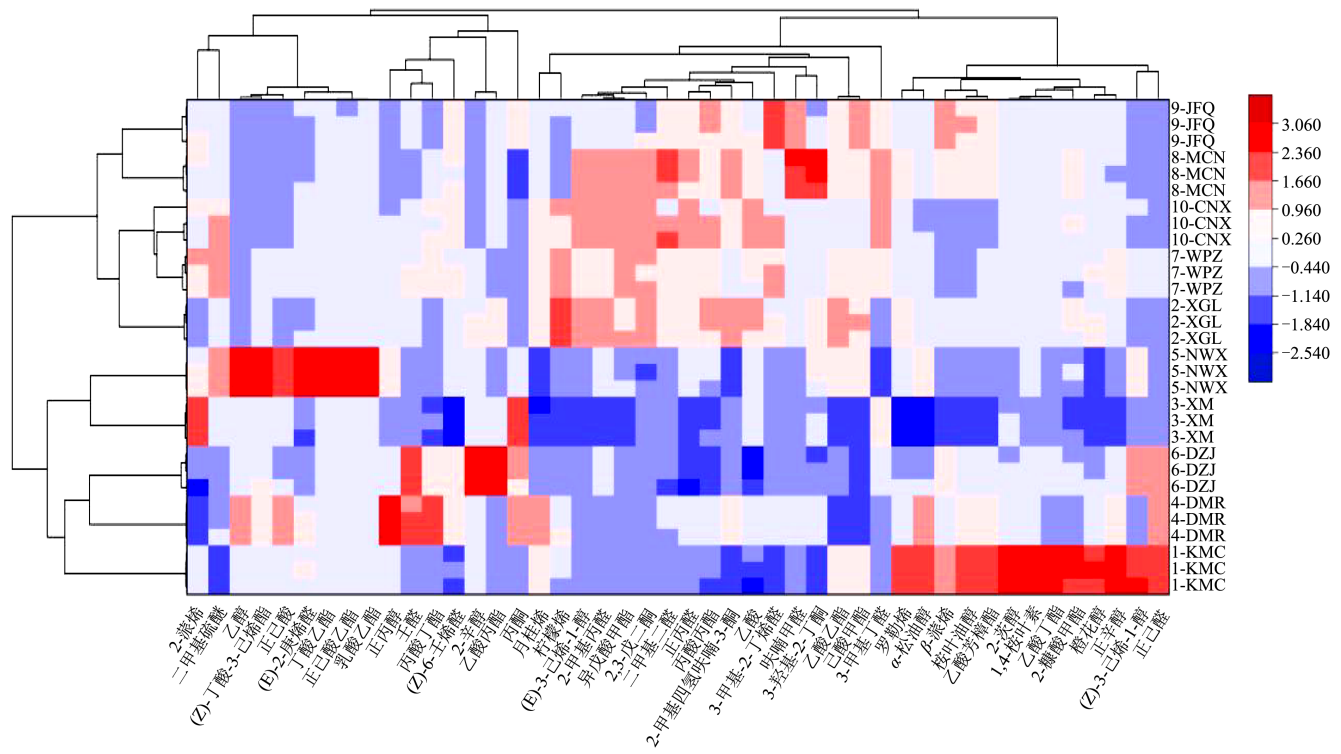


图 3 VOCs 聚类分析

Fig.3 Cluster analysis of VOCs

2.1.4 OPLS-DA分析筛选牛油调料包差异性VOCs

为进一步分析各厂家牛油调料包 VOCs 的差异, 对检索出的 46 种 VOCs 进行 OPLS-DA 分析^[31]。采用 7 倍交叉验证预测残差方差分析和 200 次随机重分类的响应置换对模型进行验证 (图 4b)。模型中 R2X=0.99, R2Y=0.98, Q2=0.93, Q2 回归线截距 (-0.70) 为负值, 说明模型未出现过拟合, 具有较好的预测能力。

图 4a 为 OPLS-DA 因子载荷图, 包含了各样品和 VOCs 得分信息, 图中 PC1 和 PC2 对于总方差的贡献率分别为 30.3% 和 25.1%, 累计贡献率为 55.4%。从图中可以看出, 牛油调料包样品可分为四组, 该结果与聚类热图分析结果类似。JFQ、MCN、CNX、WPZ 和 XGL 为一组, 均分布于 PC1 负向上; XM 和 NWX 为一组, 分布于第四象限, 在 PC1 正向和 PC2 负向上均有较高得分; DZJ 和 DMR 为一组, 分布于 PC1 正向上; 而 KMC 的 VOCs 较为特殊, 分布于第一象限。

进一步的采用变量投影重要性 (Variable Importance in the Projection, VIP) 筛选对牛油调料包风味有重要影响的关键 VOCs, VIP > 1 的可作

为不同样品的差异性 VOCs(图 4c)^[32]。结果表明 2-蒎烯、3-羟基-2-丁酮、3-甲基丁醛、柠檬烯、呋喃甲醛、3-甲基-2-丁烯醛、二甲基硫醚、乙酸丙酯、丙酸丁酯、(Z)-6-壬烯醛、乙酸乙酯、2-辛醇、己酸甲酯、壬醛、乙醛丁酯、(Z)-3-己烯-1-醇、β-蒎烯、正丙醇和丙酸丙酯等 19 种 VOCs 含量的不同是造成不同厂家牛油调料包风味差异的主要原因。

2.1.5 ROAV筛选牛油调料包特征VOCs

为进一步明确对牛油调料包风味贡献较大的成分, 采用 ROAV 值筛选关键性 VOCs, ROAV > 1 为主要香气成分, 当 0.1 < ROAV < 1 时, 该成分作为修饰成分^[33], ROAV 值计算结果和香气特征描述见表 2。结果显示, 二甲基硫醚、桉叶油醇、(Z)-6-壬烯醛、丁酸乙酯、异戊酸甲酯、二甲基二硫和 2-甲基丙醛共 7 种挥发性成分 ROAV > 1, 是牛油调料包的主要香气成分; 3-甲基丁醛、正己醛、正辛醛、2,3-戊二酮、2-甲基四氢呋喃-3-酮、橙花醇、正己酸乙酯和月桂烯共 8 种挥发性成分 0.1 < ROAV < 1, 是牛油调料包香气的修饰成分。

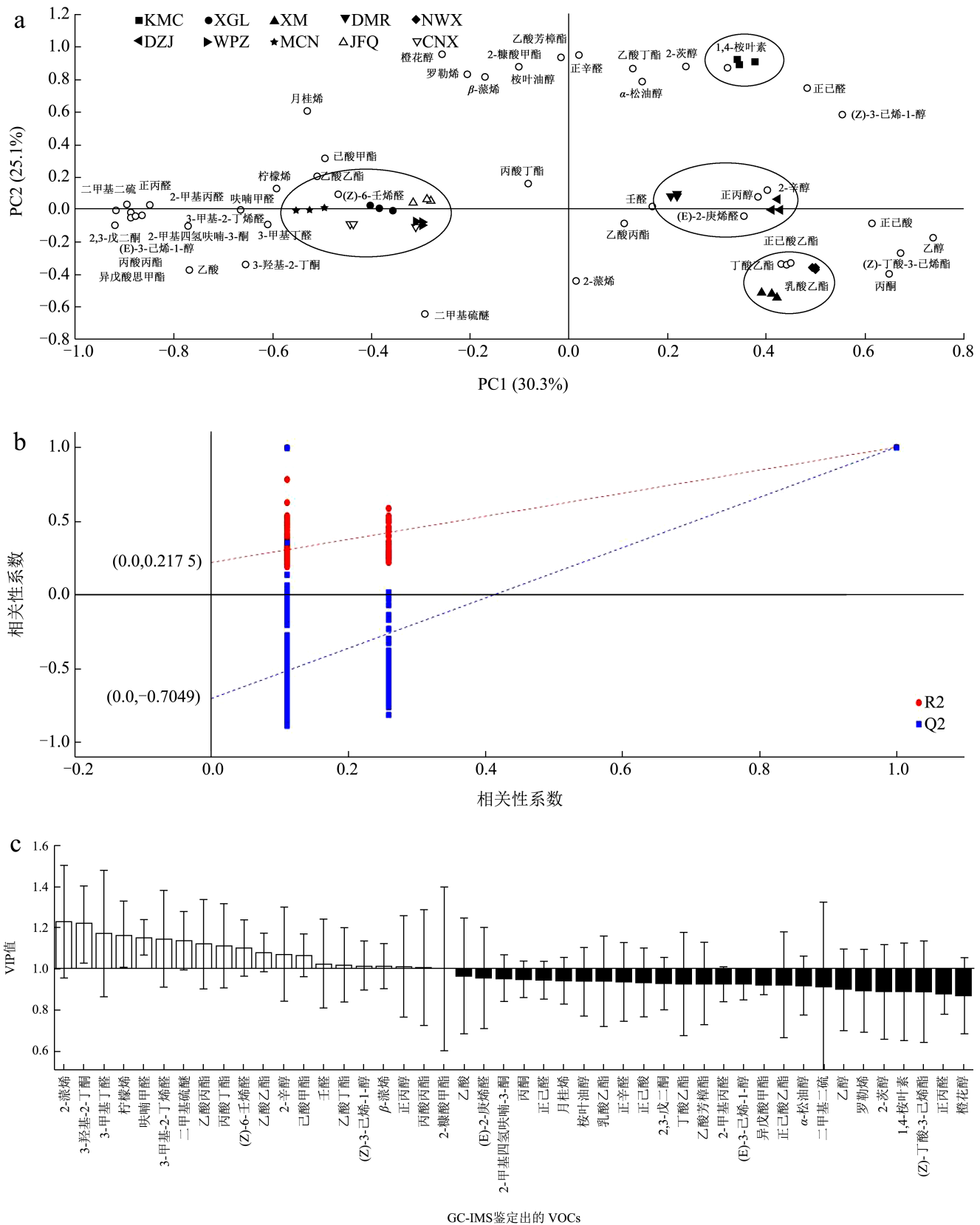


图 4 VOCs 的 OPLS-DA 分析
Fig.4 OPLS-DA analysis of VOCs

表 2 ROAV计算结果
Table 2 Calculation results of ROAV

中文名称	阈值/ (μg/kg)	香气 描述	ROAV										平均值
			1-KMC	2-XGL	3-XM	4-DMR	5-NWX	6-DZJ	7-WPZ	8-MCN	9-JFQ	10-CNX	
二甲基硫醚	0.03	青草、鱼腥 味或玉米味	34.44	62.47	62.58	59.88	94.81	55.84	100.00	67.75	63.34	87.26	68.84
桉叶油醇	0.26	薄荷、 药草香	81.45	28.41	7.56	45.49	12.35	34.00	22.35	47.55	56.36	22.41	35.79
(Z)-6-壬烯醛	0.02	花香味	25.90	35.34	16.57	40.50	32.89	41.02	37.84	36.93	41.48	39.55	34.80
丁酸乙酯	0.10	酸甜味、 果香	0.56	0.42	0.47	0.68	19.62	0.53	0.43	0.50	0.50	0.45	2.42
异戊酸甲酯	0.40	苹果、菠萝 果香	1.41	2.11	1.11	1.53	1.62	1.49	2.18	2.24	1.74	2.21	1.76
二甲基二硫	0.06	洋葱、 卷心菜	0.54	1.70	0.30	0.81	0.47	0.34	1.60	2.75	1.56	2.10	1.22
2-甲基丙醛	1.00	麦芽香、 可可香、 坚果香	0.82	1.39	0.63	0.88	1.01	1.04	1.36	1.44	1.14	1.40	1.11
3-甲基丁醛	8.00	水果味	0.60	0.55	0.69	0.58	0.49	0.62	0.72	0.77	0.72	0.77	0.65
正己醛	7.50	青草味	1.04	0.51	0.44	0.88	0.51	0.84	0.64	0.46	0.44	0.50	0.63
正辛醛	0.70	甜瓜味、 青椒味	1.07	0.48	0.22	0.59	0.31	0.45	0.62	0.42	0.49	0.49	0.51
2,3-戊二酮	5.00	油脂味、 青草味	0.14	0.65	0.18	0.21	0.09	0.17	0.63	0.68	0.32	0.75	0.38
2-甲基四氢吡 喃-3-酮	3.00	奶油香	0.11	0.50	0.16	0.40	0.11	0.15	0.33	0.51	0.46	0.40	0.31
橙花醇	80.00	玫瑰香气	0.39	0.21	0.04	0.20	0.07	0.14	0.20	0.20	0.20	0.19	0.18
正己酸乙酯	8.00	水果香、 菠萝香	0.12	0.12	0.12	0.10	0.67	0.11	0.10	0.11	0.09	0.11	0.17
月桂烯	42.00	甜橘味、 香脂气	0.13	0.13	0.02	0.16	0.03	0.07	0.13	0.11	0.11	0.12	0.10

2.2 电子鼻分析不同厂家牛油调料包挥发性

2.2.1 E-nose分析牛油调料包整体风味

牛油调料包电子鼻风味雷达图(图 5a)显示不同厂家牛油调料包整体风味轮廓相似,说明襄阳牛肉面牛油调料包整体风味一致性较好。值得一提的是,襄阳牛肉面牛油调料包电子鼻风味轮廓与鲍薪羽等^[34]测试的牛油风味轮廓以及夏亚男等^[35]研究的火锅调料风味轮廓有较高的相似度,W5S和W1W传感器响应值远高于其他传感器。OPLS-DA模型 R2Y=0.57、Q2=0.51 表明模型拟合结果可接受

(图 5c)。在 OPLS-DA 得分图(图 5b)中 PC1 为 59.9%, PC2 为 17.1%, 累计方差贡献率为 77.00%, 基本上涵盖了样品的原始信息; 图中样品可大致分为五组, 各组间风味有较大差异, 其中 JFQ 分布于第一象限, XM 和 DZJ 分布于第二象限, DMR 和 MCN 分布于第三象限, WPZ 和 CNX 分布于第四象限, 而 NWX、KMC 和 XGL 则靠近中心点(0,0), 沿 PC1 负方向分布。VIP 值(图 5d)结果显示 W6S、W1S、W5S、W2S 和 W1W 五个传感器(VIP>1)对样品的区分有较大贡献。

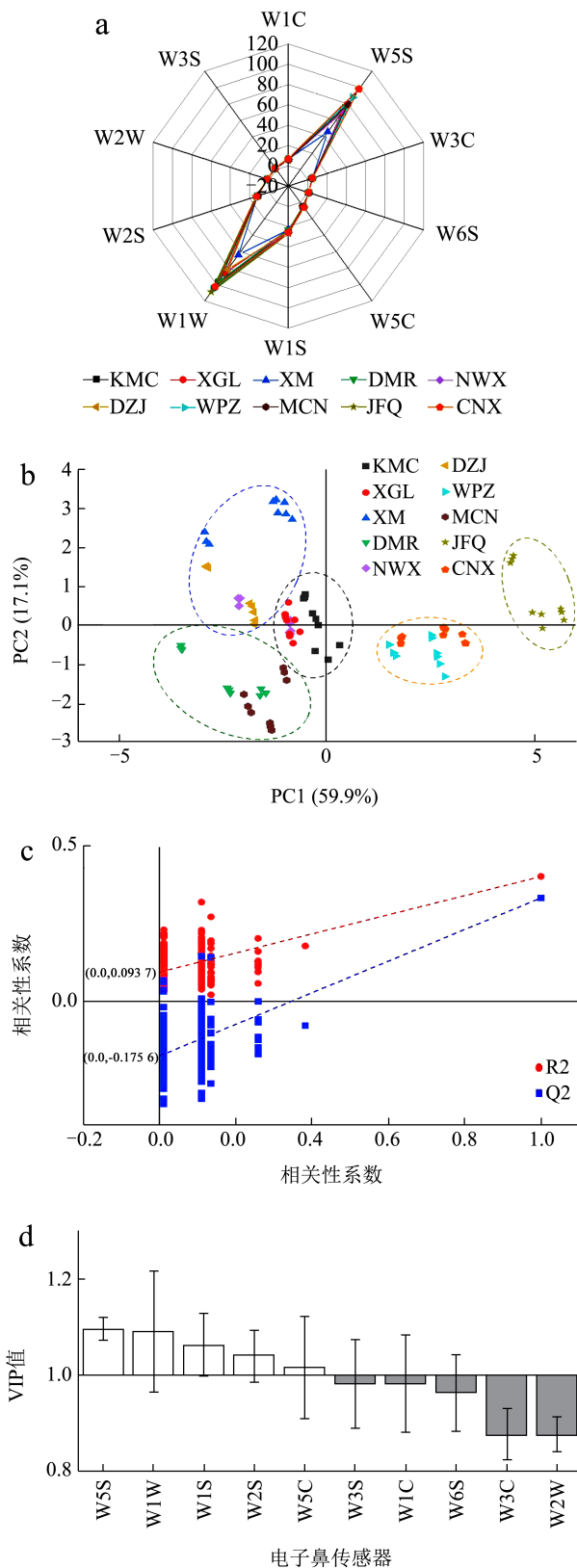


图 5 E-nose 分析牛油调料包整体风味
Fig.5 Overall flavor of butter seasoning analyzes by E-nose

2.2.2 E-nose传感器与15种牛油调料包特征VOCs相关性分析

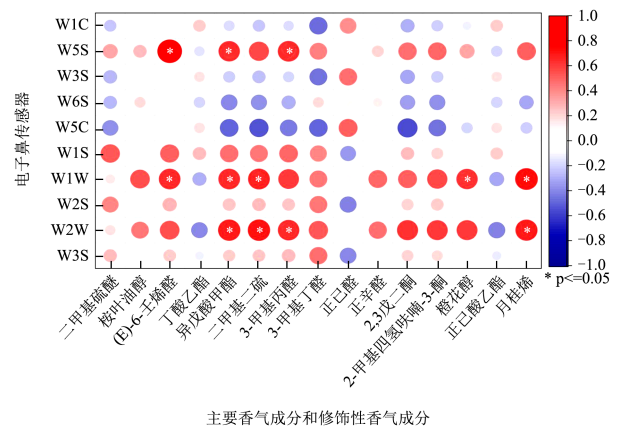


图 6 E-nose 传感器与特征性 VOCs 相关性分析
Fig.6 Correlation analysis between E-nose sensor and characteristic VOCs

将 E-nose 的 10 个传感器信号值与 ROAV 筛选出的 15 种牛油调料包特征 VOCs 进行相关性分析, 结果如图 6 所示, W5S、W1W 和 W2W 三个传感器信号值与 (Z)-6-壬烯醛、异戊酸甲酯、二甲基二硫、2-甲基丙醛、橙花醇和月桂烯共六种 VOCs 显著正相关 ($P \leq 0.05$)。这表明 E-nose 有作为牛油调料包特征 VOCs 初步筛选和定量分析的潜能。

3 结论

采用 GC-IMS 从 10 个不同厂家牛油调料包中共分离出 118 种 VOCs, 鉴定了其中 46 种, 含硫化物 2 种、萜烯类 5 种、醇类 10 种、醛类 10 种、酮类 4 种、酸类 2 种、酯类 13 种。ROAV 计算结果表明牛油调料包的 7 种主要香气成分为二甲基硫醚、桉叶油醇、(Z)-6-壬烯醛、丁酸乙酯、异戊酸甲酯、二甲基二硫和 2-甲基丙醛 ($ROAV > 1$), 8 种香气修饰成分为 3-甲基丁醛、正己醛、正辛醛、2,3-戊二酮、2-甲基四氢呋喃-3-酮、橙花醇、正己酸乙酯和月桂烯 ($0.1 < ROAV < 1$), 这 15 种 VOCs 可作为牛油调料包的特征性香气成分。而 2-蒎烯、3-羟基-2-丁酮、3-甲基丁醛、柠檬烯、呋喃甲醛、3-甲基-2-丁烯醛、二甲基硫醚、乙酸丙酯、丙酸丁酯、(Z)-6-壬烯醛、乙酸乙酯、2-辛醇、己酸甲酯、壬醛、乙酸丁酯、(Z)-3-己烯-1-醇、 β -蒎烯、正丙

醇和丙酸丙酯等 19 种 VOCs 含量的不同是造成不同厂家牛油调料包风味差异的主要原因。E-nose 检测结果显示各厂家牛油调料包整体风味轮廓较为相似, W6S、W1S、W5S、W2S 和 W1W 五个传感器可用于鉴别不同厂家的牛油调料包。襄阳牛肉面牛油调料包的香气成分主要来自于牛油、生姜、大蒜、大葱、豆豉、花椒、辣椒、豆瓣酱等原料, 此外牛油熬制时发生的氧化、热降解、美拉德反应等也是香气成分的重要产生途径。研究可为襄阳牛肉面包装产品的标准化提供理论依据。

参考文献

- [1] 殷晓, 谢定源. 襄阳牛肉面感官特征的模糊综合评价及其汤汁的风味分析[J]. 中国调味品, 2019, 44(9): 1-8, 18.
- [2] 曹楚楚, 高海燕, 赵镭, 等. 襄阳牛肉面质地感官与仪器分析的相关性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(8): 64-72.
- [3] 李想, 邓静, 易宇文, 等. 电子舌和气相色谱-离子迁移谱技术分析炖煮时间对松茸鸡汤风味的影响[J]. 中国食品学报, 2024, 24(1): 336-348.
- [4] 沈雪玉, 陈重光, 郭美媛, 等. 基于气相色谱-离子迁移谱和电子鼻技术分析制坯方式对三华李果坯挥发性成分的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(23): 253-261.
- [5] 张浩, 易宇文, 朱开宪, 等. 基于GC-IMS结合化学计量法分析烧烤过程中温度对牦牛肉风味物质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(22): 337-344.
- [6] 杨尚威, 刘传菊, 汤尚文, 等. 基于气相离子迁移谱和电子鼻技术分析核桃挥发性风味物质[J]. 中国油脂, 2021, 46(12): 127-135.
- [7] LI Y, YUAN L, LIU H Y, et al. Analysis of the changes of volatile flavor compounds in a traditional Chinese shrimp paste during fermentation based on electronic nose, SPME-GC-MS and HS-GC-IMS [J]. Food Science and Human Wellness, 2023, 12(1): 173-182.
- [8] XIAO N Y, XU H Y, JIANG X, et al. Evaluation of aroma characteristics in grass carp mince as affected by different washing processes using an E-nose, HS-SPME-GC-MS, HS-GC-IMS, and sensory analysis [J]. Food Research International, 2022, 158, 111584.
- [9] WANG B, WU W, LIU J, et al. Flavor mystery of spicy hot pot base: chemical understanding of pungent, numbing, umami and fragrant characteristics [J]. Trends in Food Science & Technology, 2023, 139, 104137.
- [10] ANNA G, HENRYK H J, MAŁGORZATA M, et al. Flavoromics approach in monitoring changes in volatile compounds of virgin rapeseed oil caused by seed roasting [J]. Journal of Chromatography A, 2016, 1428, 292-304.
- [11] SILVIS I C J, LUNING P A, KLOSE N, et al. Similarities and differences of the volatile profiles of six spices explored by proton transfer reaction mass spectrometry [J]. Food Chemistry, 2019, 271, 318-327.
- [12] LI J Y, DADMOHAMMADI Y, ABBASPOURRAD A. Flavor components, precursors, formation mechanisms, production and characterization methods: garlic, onion, and chili pepper flavors [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2021, 62(30): 21-23.
- [13] 李贝贝. 重庆牛油火锅底料风味和品质优化初探[D]. 重庆: 西南大学, 2021.
- [14] SABRINE E A, MNASSER H. Proteolysis, lipolysis and sensory characteristics of a tunisian dry fermented poultry meat sausage with oregano and thyme essential oils [J]. Journal of Food Safety, 2016, 36(1): 19-32.
- [15] 周慧敏, 张顺亮, 郝艳芳, 等. HS-SPME-GC-MS-O结合电子鼻对坨坨猪肉主体风味评价分析[J]. 食品科学, 2021, 42(2): 218-226.
- [16] WANG J, CHEN L, LIU Y, et al. Identification of key aroma-active compounds in beef tallow varieties using flash GC electronic nose and GC×GC-TOF/MS [J]. European Food Research and Technology, 2022, 248(7): 1-15.
- [17] 赵方方. 油料油脂挥发物成分检测技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [18] 范丽, 徐晓东, 宋泽, 等. 自制调味汁烹饪红烧肉中关键香气活性化合物的分析研究[J]. 现代食品科技, 2017, 33(7): 245-253, 230.
- [19] 陈丽兰, 陈祖明, 袁灿. 气相色谱-离子迁移谱结合化学计量法分析不同炒制时间对郫县豆瓣酱挥发性化合物的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(14): 283-290.
- [20] 秦雅丽. 牛油关键风味物质的鉴定及可控美拉德反应法制备[D]. 无锡: 江南大学, 2022.
- [21] WANG M Z, ZHANG J, CHEN J, et al. Characterization of differences in flavor in virgin rapeseed oils by using gas chromatography-mass spectrometry, electronic nose, and sensory analysis [J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2020, 122(3): 1900205.
- [22] 王冲, 王俏君, 马国丽, 等. 不同部位牛油脂肪酸组成和挥发性风味成分分析[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(3): 91-97.
- [23] 李薇. 传统发酵永川豆豉和速成豆豉增香发酵关键香气物质基础比较研究[D]. 重庆: 西南大学, 2022.
- [24] 简浩彬. 牛杂汤挥发性风味鉴定及其生成影响因素研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015.
- [25] 韩月峰, 彭光华, 张声华, 等. 热风干燥工艺对蒜片中有机硫化物的影响[J]. 农业工程学报, 2007, (10): 271-274.
- [26] 程安玮, 王文亮, 淘海腾, 等. 大葱粉中挥发性风味物质的

- 分析[J].农产品加工(学刊),2011,8:25-28.
- [27] 高露,赵镭,史波林,等.气相色谱-质谱联用结合气味活度值分析红花椒油的关键香气物质特征[J].食品与发酵工业,2023,49(22):295-301.
- [28] 王清波.杀菌、冷藏及微波复热对红烧牛腩品质影响的研究[D].无锡:江南大学,2018.
- [29] 谭斌.Maillard反应体系制备热加工牛肉风味基料的研究[D].无锡:江南大学,2005.
- [30] 潘彩星.美拉德反应中间体-酶解乳脂协同构建甜乳香风味前体[D].无锡:江南大学,2022.
- [31] LI J, XU Y X, DU W B, et al. Comparative analysis of aroma compounds in Chinese traditional dry-rendered fat by HS/GC-IMS, SPME/GC-MS, and SPME/GC-O [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2022, 107: 104378.
- [32] LIU N F, SHEN S S, HUANG L F, et al. Revelation of volatile contributions in green teas with different aroma types by GC-MS and GC-IMS [J]. Food Research International, 2023, 169: 112845.
- [33] XIAO Z B, WU Q Y, NIU Y W, et al. Characterization of the key aroma compounds in five varieties of mandarins by gas chromatography-olfactometry, odor activity values, aroma recombination, and omission analysis [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(38): 8392-8401.
- [34] 鲍薪羽,王丽金,宋焕禄,等.基于电子鼻和GC-O-MS技术分析牛油和羊油中香气成分的差异[J].中国食品学报, 2022,22(12):267-281.
- [35] 夏亚男,赵赞,王俊林,等.基于GC-MS、智鼻、智舌评价川味火锅调料的风味特征[J].食品科技,2021,46(3):267-275.