

王斌, 许浩, 徐俊, 等. 内蒙古野葱干的特征挥发性香气成分分析 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(24): 296–304. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020214

WANG Bin, XU Hao, XU Jun, et al. Analysis of Characteristic Volatile Aroma Components in Inner Mongolia Dried *Allium chrysanthum*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(24): 296–304. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020214

· 分析检测 ·

内蒙古野葱干的特征挥发性香气成分分析

王斌¹, 许浩², 徐俊², 屈明成¹, 张宇昊^{3,*}, 黄巧¹, 肖琳⁴

(1. 聚慧食品科技(重庆)有限公司, 重庆 401147;

2. 聚慧食品科技研究院(广州)有限公司, 广东广州 510663;

3. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715;

4. 重庆食品工业研究所, 重庆 400000)

摘要:目的: 对内蒙古地区野葱干的特征挥发性香气成分进行分析。方法: 采用顶空固相微萃取技术富集内蒙古野葱干中的挥发性香气成分, 采用气相色谱-嗅闻-质谱(GC-O-MS)联用技术进行检测, 并结合改进的香味萃取稀释分析(AEDA)和相对香气活性值(ROVA)进行分析。结果: 在内蒙古野葱干中共鉴定出 87 种挥发性风味化合物, 主要包括含硫化合物、烃类、醛类与酮类、杂环类、酯类、醇类与醚类、萜烯类、酸类和酚类化合物; AEDA 分析确定了 20 种较关键的气味活性化合物, 主要包括酸类、醇类、醛类、含硫化合物和杂环化合物; ROVA 结合 AEDA 分析确定了内蒙古野葱干中 4 种特征挥发性气味活性物质依次为二甲基三硫醚(浓烈新鲜洋葱辛香香气)、乙酸(酸香)、2,3-丁二醇(奶油香)和苯甲醛(坚果香)。结论: 二甲基三硫醚、乙酸、2,3-丁二醇和苯甲醛相互协调是导致内蒙古野葱干风味差异的主要物质。

关键词: 内蒙古, 野葱干, 气相色谱-嗅闻-质谱, 香味萃取稀释分析, 相对香气活性值

中图分类号: TS252.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)24-0296-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020214



本文网刊:

Analysis of Characteristic Volatile Aroma Components in Inner Mongolia Dried *Allium chrysanthum*

WANG Bin¹, XU Hao², XU Jun², QU Mingcheng¹, ZHANG Yuhao^{3,*}, HUANG Qiao¹, XIAO Lin⁴

(1. Juhui Food Technology (Chongqing) Co., Ltd., Chongqing 401147, China;

2. Juhui Food Science and Technology Research Institute (Guangzhou) Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;

3. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

4. Chongqing Institute of Food Industry, Chongqing 400000, China)

Abstract: Objective: To analyze the volatile aroma components of dried *Allium chrysanthum* in Inner Mongolia. The volatile aroma components in Inner Mongolia *Allium chrysanthum* were extracted by solid phase micro-extraction (SPME), and then were detected by gas chromatography-mass spectrometry coupled with olfactometry (GC-O-MS), combined with improved aroma extraction dilution analysis (AEDA) and relative aroma activity value (ROAV) for analysis. Results: A total of 87 kinds of volatile aroma compounds in Inner Mongolia dried *Allium chrysanthum* were identified and classified, which included sulfurs, hydrocarbons, aldehydes, ketones, heterocyclics, esters, alcohols, ethers, terpenes, acids and phenols. 20 key odorant active compounds were identified through AEDA analysis, which mainly including acids, alcohols, aldehydes, sulfurs and heterocyclic compounds, and 4 characteristic volatile odor active components of dried *Allium chrysanthum* in Inner Mongolia by the way of ROVA combined with AEDA analysis was identified that were dimethyl trisulfide (intense fresh onion spice aroma), acetic acid (sour aroma), 2,3-butanediol (creamy aroma) and benzaldehyde

收稿日期: 2022-02-24

基金项目: 重庆市技术创新与应用发展专项重点项目(cstc2021jscx-cylhX0014);“十四五”国家重点研发计划项目(2021YFD21001005)。

作者简介: 王斌(1976-),男,本科,助理工程师,研究方向:食品科学,E-mail:wangbin@china-juhui.com。

*通信作者: 张宇昊(1978-),男,博士,教授,研究方向:蛋白和生物活性肽,E-mail:zhy1203@163.com。

(nutty aroma). Conclusion: The coordination among dimethyl trisulfide, acetic acid, 2,3-butanediol and benzaldehyde in dried *Allium chrysanthum* from Inner Mongolia is the main reason for the difference in flavor.

Key words: Inner Mongolia; dried *Allium chrysanthum*; gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry (GC-O-MS); aroma extraction diluted analysis (AEDA); relative odor activity value (ROAV)

葱(*Allium fistulosum* L.)为百合科多年生宿根草本植物^[1],经热加工处理后香味浓郁,具有强烈的咸香和烤香,是中式菜肴烹调中必不可少的蔬菜和调料^[2]。根据中国烹任用葱种类可分为大葱、大蒜、洋葱、韭菜和其他葱属植物几大类^[3]。野葱(*Allium chrysanthum*)作为其中的一种,又名沙葱、麦葱、山葱。茎细而圆,实心,直径约 2~3 mm,生于高山灌木、高山草甸中,海拔 2000~4500 m^[4]。野葱具有区别于大葱的清香和辛香,经高温加工处理后可产生浓郁的特殊香气,同时可以有效减弱辛辣刺激性,在牛肉、鸭肉、羊肉等带有膻味的中式菜肴中有广阔的应用前景^[5]。目前,我国对野葱的研究较少,主要集中在西藏地区,而内蒙古广阔的地域和多样化的生境也孕育出了优秀的野生葱属植物资源。但由于新鲜葱属植物含水量高达 90%,贮藏不当极易在短时间内腐败变质,因此工业化生产中多采用干燥脱水的方式对鲜葱进行加工,以延长货架期并提高商业价值^[6]。

近年来,顶空固相微萃取-气相色谱-质谱(SPME-GC-MS)联用技术逐渐被用于香气成分分析研究,相对于传统的水蒸气蒸馏法-GC/MS,此方法具有无需有机溶剂、所需样品少、灵敏度高、操作简单、方便快捷等特点^[7]。刘松忠等^[8]发现采用 SPME-GC-MS 法提取分析中国葱中的挥发性成分,提取葱中的挥发性物质更多,结果也更精确。关志华等^[9]利用 SPME-GC-MS 法测定青藏高原 8 种野生葱属植物挥发性成分,发现此种方法可以明确野生葱属植物中的关键香气物质。而目前关于葱的挥发性风味物质的研究主要还是集中于鲜样中风味物质的研究,有关干葱中的挥发性物质研究还较少,从使用便捷度和标准化的角度,研究野葱干中的特征挥发性物质,为野葱深加工和综合利用提供理论基础具有重要意义。

本研究拟使用顶空固相微萃取(SPME)对样品进行前处理,采用气相色谱-质谱(GC-MS)与气相色谱-嗅觉测量法(GC-O)结合分析香气成分,利用 MS 及谱库和保留指数对相关成分进行定性分析,在 GC-O 的几种方法中,选用 AEDA 法对关键香气成分进行识别,然后通过 ROAV,对相关香气成分贡献进行排序,结合 AEDA 与 OAV 的分析,找出内蒙古野葱干中的关键香气成分,以期全面认识进而创新利用这类资源提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

内蒙古野葱干 广州市农贸市场;正构烷烃(C_7 - C_{30})标准品 美国 Sigma-Aldrich 公司;氦气纯

度 99.999% 空气化工产品有限公司。

57300-U PDMS 手动固相微萃取装置套装、50/30 μ m DVB/CAR/PDMS 固相微萃取头 美国 Supelco 公司;DB-Wax 色谱柱、8860-5977B 气质联用仪 美国 Agilent 公司;Sniffer 9100 嗅辨仪 瑞士 Brechbühler 公司;DF-101S 磁力加热搅拌器 巩义市予华仪器有限责任公司;ME103T/02 分析天平 瑞士梅特勒公司;JYLC93T 料理机 九阳股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品前处理 取适量内蒙古野葱干,放入料理机中粉碎 1 min,称取 1.5 g 粉碎后的内蒙古野葱干粉到 20 mL 顶空瓶中待分析。

1.2.2 SPME 萃取条件 SPME 采用 50/30 μ m DVB/CAR/PDMS 固相微萃取头,在 240 $^{\circ}$ C 进样口中老化 35 min。称好样的顶空瓶事先在磁力加热平板 60 $^{\circ}$ C 下平衡 10 min 后,再插入老化好的 SPME 萃取头,萃取 30 min。萃取完成后,在 GC 进样口 240 $^{\circ}$ C 下解吸 3 min 进样分析^[10]。

1.2.3 GC-MS 测定 GC 条件^[11]:DB-Wax 色谱柱(60 mm \times 0.25 mm,0.25 μ m);进样口温度 240 $^{\circ}$ C 升温程序:初始温度 40 $^{\circ}$ C,保持 2 min,以 5 $^{\circ}$ C/min 升温到 220 $^{\circ}$ C,保持 28 min;载气(He)恒压 24.8 Psi;SPME 手动进样。

MS 条件:电子电离源;电子能量 70 eV;传输线温度 280 $^{\circ}$ C;离子源温度 230 $^{\circ}$ C,四级杆温度 150 $^{\circ}$ C;质量扫描范围 29~400 u。

化合物的鉴定:根据 NIST17 数据库以及比对标准物质的 RI 来确定。化合物的 RI 通过正构烷烃(C_7 - C_{30})混合标准品标定而计算得到, $RI=100\{(\log_{10}X_1 - \log_{10}X_n)/(\log_{10}X_{n+1} - \log_{10}X_n) + n\}$,其中 X_1 为目标物的保留时间, X_n 与 X_{n+1} 分别为前后相邻的两个正烷烃对应的保留时间。

1.2.4 香气物质的 GC-O 测定 GC-O 由气相色谱及嗅闻装置组成,色谱柱为 DB-Wax(60 mm \times 0.25 mm,0.25 μ m),柱箱采用与 GC-MS 分析同样的程序升温,其流出物以 1:1:1 的分流模式分别流入 FID 检测器、MS 检测器和嗅闻口。嗅闻检测器的接口温度为 220 $^{\circ}$ C,通入湿润空气防止鼻腔干燥。分别由 4 位(2 男 2 女)有相关经验的研究生在嗅觉检测口处通过仪器按键记录香气时间和香气强度,每种化合物至少需要其中 2 位成员评价一致才可确定,记录为有效结果^[12]。

1.2.5 关键香气成分分析 参考 Li 等^[13]的方法,采

用 SPME-AEDA 来分析野葱干中关键香气成分。将 GC-O 得到的浓缩液分别选用不分流/5:1/20:1/100:1 分流比对萃取头获取的挥发性物质进行梯度稀释,直到嗅评人员在嗅闻口不能再嗅闻到气味。

1.2.6 香气贡献度分析 采用刘登勇等^[14]提出的 ROAV 法(相对气味活度值法)对野葱干中关键性风味化合物进行分析,首先定义对样品整体香味贡献最大的物质: $ROVA_s=100$, 则对其他挥发性化合物 ROVA 值计算公式如下: $ROVA_i \approx 100 \times (C\%_i/C\%_s) \times (T_s/T_i)$, 其中: $C\%_i$ 和 T_i 分别为各挥发性化合物的相对百分含量和感觉阈值; $C\%_s$ 和 T_s 分别为对样品整体风味贡献最大挥发性化合物的相对百分含量和感觉阈值。所有组分的 $ROAV \leq 100$, 本方法认为 $1 \leq ROAV \leq 100$ 的化合物为关键风味化合物, $0.1 \leq ROAV < 1$ 的化合物对样品的总体风味具有重要的修饰作用。

1.3 数据处理

应用 DPS v14.10 统计分析软件对定量数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 内蒙古野葱干中挥发性成分的分析

采用 SPME 技术萃取内蒙古野葱干中的香气,经 GC-O-MS 联用检测,结合谱库检索及保留指数定性共分离鉴定出 87 种挥发性风味化合物。根据各香气化合物的结构特征,将它们分成 9 大类,分别为 18 种含硫化合物、18 种烃类、17 种醛类与酮类、12 种杂环类、10 种酯类、7 种醇类与醚类、2 种萜烯类、2 种酸类、1 种酚类化合物,相对含量分别为 27.05%、4.92%、6.26%、4.41%、4.90%、19.95%、0.22%、32.06%、0.23%(图 1,表 1)。这些芳香物质大部分是结构简单的小分子有机物,其丰富的种类共同赋予了内蒙古野葱干特有的香气特征。

2.1.1 含硫化合物 含硫化合物是葱属植物香气成分中较为重要的一类化合物,由蒜氨酸酶催化 S-

alk(en)ly-L 半胱氨酸亚砷水解生成的,包括单硫化物、二硫化物和三硫化物,这些化合物呈浓郁的葱香香气,并稍带有硫磺香气^[15]。内蒙古野葱干中共检出含硫化合物 18 种,其中 16 种为硫醚类化合物,这类化合物是各类香气活性物质中阈值最低的一类,香气强度大,对食品的风味具有核心贡献作用,同时也具有较强的杀菌防腐作用。含硫化合物的气味难闻,但将其稀释至 ppb、ppm 级时,其香气会发生非常大的变化,会呈现洋葱、蒜的辛香和坚果香味^[16]。内蒙古野葱干中鉴定出的含硫化合物的相对含量为 27.05%,其中相对含量在 1% 以上的有 4 种,以二甲基三硫醚含量最高为 12.37%,这是一种呈强烈逸发性冷的薄荷气味和浓烈新鲜洋葱辛香香气的物质,在稀释时带有青草香韵^[17],其阈值(0.005~0.01 ppb)极低,是野葱干中重要的香气物质,可能来自于野葱中 S-甲基-L-半胱氨酸亚砷的热降解,从而形成的野葱干的特征香气,其次顺-甲基丙烯基二硫醚为 7.38%,反-甲基丙烯基二硫醚为 2.56%,反-甲基丙烯基三硫醚为 1.97%,都是具有大蒜和韭菜样香气的挥发性风味物质^[16]。刘艳的研究结果证明新疆野葱中共鉴定出 16 种含硫化合物,约占总量的 75.27%^[18],而本实验的研究结果远远低于这个数值,主要由于本实验是以烘干的野葱为实验材料,在干燥过程中,由于加热的作用会使得一些含硫化合物降解生成烷烃类物质或其他的一些风味化合物,另外品种、环境以及光照等因素也是含硫化合物存在较大差异的原因。

2.1.2 烃类化合物 烃类物质是食品风味物质中比较常见的两类物质,主要由烷基自由基氧化、类胡萝卜素等分解作用形成^[19]。内蒙古野葱干中共检出烃类物质 18 种,是与含硫化合物同样丰富的物质,相对含量为 4.92%,其中相对含量在 1% 以上的有 2 种,以十一烷含量最高为 1.22%,其次 3-甲基十一烷为 1.17%,但此类化合物的风味阈值较高,一般对产品的整体风味贡献并不明显,因此十一烷与 3-甲

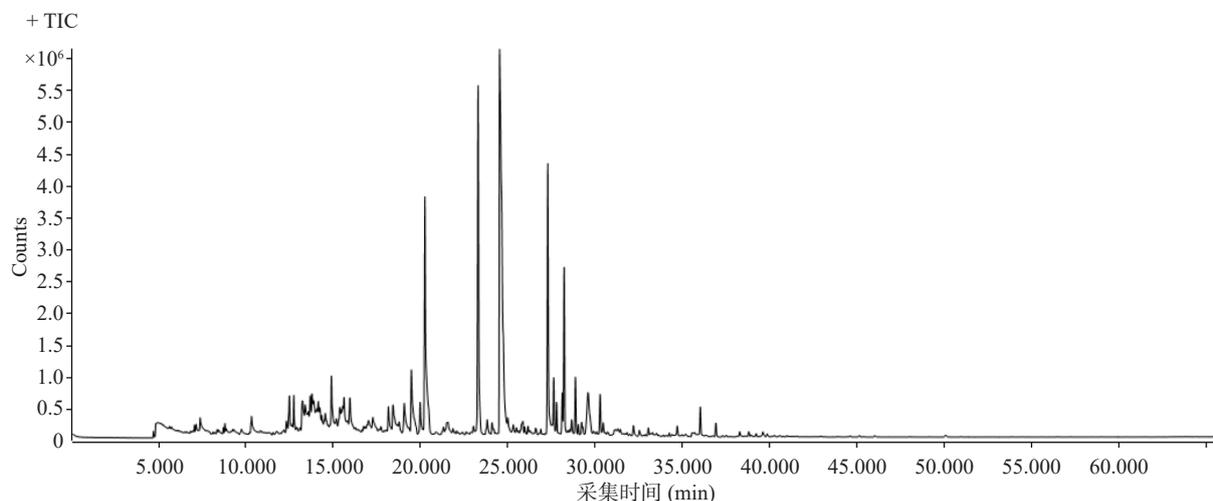


图 1 内蒙古野葱干中挥发性成分的总离子流图

Fig.1 Total ion current of volatile components in Inner Mongolia dried *Allium chrysanthum*

表 1 内蒙古野葱干中挥发性成分
Table 1 Volatile components from dried *Allium chrysanthum* in Inner Mongolia

序号	保留时间(min)	化合物名称	CAS号	MS匹配度	RI	文献RI值	鉴定方式	相对含量(%)
含硫化合物(18种)								
1	6.18	二甲基硫醚	75-18-3	938	766	750	MS, RI	0.01
2	13.24	二甲基二硫醚	624-92-0	957	1091	1085	MS, RI, GC-O	0.74
3	18.42	甲基丙基二硫醚	2179-60-4	884	1238	1224	MS, RI, GC-O	0.44
4	19.47	反-甲基丙烯基二硫醚	23838-19-9	923	1280	1268	MS, RI, GC-O	2.56
5	20.25	顺-甲基丙烯基二硫醚	23838-18-8	902	1307	1301	MS, RI, GC-O	7.38
6	23.02	二丙基二硫醚	629-19-6	831	1379	1366	MS, RI, GC-O	0.10
7	23.29	二甲基三硫醚	3658-80-8	943	1385	1373	MS, RI, GC-O	12.37
8	24.09	反-烯丙基丙基二硫醚	23838-21-3	982	1407	1395	MS, RI, GC-O	0.15
9	26.15	反-烯丙基丙烯基二硫醚	122156-02-9	865	1484	1466	MS, RI	0.05
10	27.62	甲基丙基三硫醚	17619-36-2	959	1536	1520	MS, RI, GC-O	0.98
11	29.28	甲基丙烯基三硫醚	34135-85-8	883	1593	1578	MS, RI	0.04
12	29.58	反-甲基丙烯基三硫醚	23838-25-7	912	1605	1595	MS, RI, GC-O	1.97
13	31.16	2,3,5-三硫杂己醚	42474-44-2	876	1692	1683	MS, RI	0.03
14	31.98	3,4-二甲基噻吩-2-硫醇	153001-04-8	876	1721	1732	MS, RI	0.02
15	34.24	反-丙烯基丙基三硫醚	23838-27-9	942	1787	1792	MS, RI	0.04
16	34.70	顺-丙烯基丙基三硫醚	23838-26-8	811	1805	1802	MS, RI	0.12
17	44.60	反-3,6-二乙基-1,2,4,5-四硫醚	934273-77-5	896	2288	2284	MS, RI	0.02
18	45.14	顺-3,6-二乙基-1,2,4,6-四硫醚	934273-79-7	829	2309	2291	MS, RI	0.03
相对含量合计								27.05
烷烃、烯烃类化合物(18种)								
1	11.56	2,7,10-三甲基十二烷	74645-98-0	885	1061	1066	MS, RI	0.01
2	12.49	2-甲基癸烷	6975-98-0	963	1078	1085	MS, RI	0.76
3	12.74	3-甲基癸烷	13151-34-3	948	1082	1087	MS, RI	0.51
4	12.91	2-甲基-5-丙基壬烷	31081-17-1	881	1085	1090	MS, RI	0.04
5	13.10	3-甲基-6-丙基壬烷	31081-18-2	931	1089	1092	MS, RI	0.04
6	13.57	4,6-二甲基十二烷	61141-72-8	856	1096	1098	MS, RI	0.05
7	13.79	十一烷	1120-21-4	986	1100	1100	MS, RI	1.22
8	14.06	3,8-二甲基十一烷	17301-30-3	907	1108	1105	MS, RI	0.05
9	15.37	5-甲基十一烷	1632-70-8	912	1146	1141	MS, RI	0.16
10	15.47	3,7-二甲基癸烷	17312-54-8	854	1148	1146	MS, RI	0.09
11	15.53	4-甲基-十一烷	2980-69-0	981	1150	1151	MS, RI	0.11
12	15.62	2-甲基十一烷	7045-71-8	842	1152	1153	MS, RI	0.42
13	15.95	3-甲基十一烷	1002-43-3	922	1161	1161	MS, RI	1.17
14	16.83	对二甲苯	106-42-3	886	1184	1182	MS, RI	0.06
15	21.85	2-甲基十五烷	29833-69-0	842	1350	1362	MS, RI	0.06
16	31.44	顺,顺,顺-1,5,9,9-四甲基-1,4,7-环十一烷三烯	1000062-61-9	864	1704	1710	MS, RI	0.07
17	33.28	甘菊蓝	275-51-4	832	1759	1764	MS, RI	0.05
18	39.21	螺二环己烷	180-43-8	820	2053	2066	MS, RI	0.05
相对含量合计								4.92
醛类与酮类化合物(17种)								
1	8.79	2-甲基丁醛	96-17-3	812	998	984	MS, RI	0.08
2	8.80	异戊醛	590-86-3	802	1010	1021	MS, RI	0.14
3	13.39	己醛	66-25-1	856	1093	1081	MS, RI	0.25
4	25.30	糠醛	98-01-1	946	1453	1456	MS, RI, GC-O	0.20
5	28.22	苯甲醛	100-52-7	930	1557	1496	MS, RI, GC-O	3.67
6	30.07	β -环柠檬醛	432-25-7	834	1632	1616	MS, RI	0.01
7	30.70	藏红花醛	116-26-7	876	1667	1653	MS, RI	0.03
8	37.51	2-苯基-2-丁烯醛	4411-89-6	878	1976	1954	MS, RI	0.03
9	39.60	2-吡咯甲醛	1003-29-8	801	2070	2077	MS, RI	0.19
10	39.84	大茴香醛	123-11-5	877	2080	2073	MS, RI	0.10
11	31.30	5-乙烯二氢-5-甲基-2(3H)-呋喃酮	1073-11-6	863	1708	1717	MS, RI	0.04
12	21.57	5-甲基-3-庚烯-2-酮	5090-16-4	871	1342	1318	MS, RI	0.15

续表 1

序号	保留时间(min)	化合物名称	CAS号	MS匹配度	RI	文献RI值	鉴定方式	相对含量(%)
13	28.86	6-甲基-2,4-庚二酮	3002-23-1	926	1579	1565	MS、RI	1.03
14	29.02	6-甲基-3,5-庚二烯-2-酮	1604-28-0	879	1584	1574	MS、RI	0.20
15	31.81	4-氧代异佛尔酮	1125-21-9	933	1716	1708	MS、RI	0.05
16	41.54	2-吡咯烷酮	616-45-5	859	2157	2161	MS、RI	0.06
17	46.01	3-乙基-4-甲基-吡咯-2,5-二酮	20189-42-8	956	2339	2347	MS、RI	0.03
相对含量合计								6.26
杂环类化合物(12种)								
1	18.16	2-戊基呋喃	3777-69-3	886	1228	1231	MS、RI、GC-O	0.93
2	19.07	2,4-二甲基噻吩	638-00-6	887	1264	1256	MS、RI、GC-O	1.29
3	21.31	2,5-二甲基吡嗪	123-32-0	909	1336	1316	MS、RI、GC-O	0.23
4	22.06	2,3-二甲基吡嗪	5910-89-4	880	1355	1335	MS、RI	0.11
5	23.82	2,3,5-三甲基吡嗪	14667-55-1	858	1398	1391	MS、RI、GC-O	0.60
6	24.99	3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	13360-65-1	925	1442	1439	MS、RI	0.19
7	25.49	5-乙基-2,3-二甲基吡嗪	15707-34-3	937	1460	1455	MS、RI、GC-O	0.15
8	25.86	2,3,5,6-四甲基吡嗪	1124-11-4	882	1474	1457	MS、RI、GC-O	0.27
9	26.59	2-乙酰基呋喃	1192-62-7	881	1506	1497	MS、RI	0.23
10	26.88	2,3,5-三甲基-6-乙基吡嗪	17398-16-2	875	1510	1508	MS、RI	0.10
11	32.19	2,4-二甲基呋喃	3710-43-8	863	1727	1734	MS、RI	0.14
12	38.27	2-乙酰基吡咯	1072-83-9	970	2012	2021	MS、RI	0.17
相对含量合计								4.41
酯类化合物(10种)								
1	7.05	乙酸甲酯	79-20-9	903	769	829	MS、RI	0.31
2	8.11	乙酸乙酯	141-78-6	927	893	882	MS、RI	0.10
3	10.12	乙酸丙酯	109-60-4	974	1031	968	MS、RI	0.04
4	13.87	丙烯酸胺正辛酯	1000420-49-0	889	1102	1103	MS、RI	0.12
5	16.74	己酸甲酯	106-70-7	860	1181	1178	MS、RI	0.04
7	28.11	丙二醇甲醚乙酸酯	108-65-6	924	1553	1544	MS、RI	2.80
8	30.28	γ -丁内酯	96-48-0	918	1644	1647	MS、RI、GC-O	1.28
9	32.52	乙酸苯酯	140-11-4	858	1737	1749	MS、RI	0.10
10	37.29	γ -辛内酯	104-50-7	907	1965	1977	MS、RI	0.06
11	50.06	二氢猕猴桃内酯	17092-92-1	888	2474	2458	MS、RI	0.05
相对含量合计								4.90
醇类与醚类化合物(7种)								
1	27.28	2,3-丁二醇	513-85-9	988	1524	1516	MS、RI、GC-O	17.46
2	28.65	丙二醇	57-55-6	866	1572	1566	MS、RI	0.88
3	29.22	异丁氧基丙醇	23436-19-3	813	1591	1583	MS、RI	0.15
4	30.45	糠醇	98-00-0	901	1654	1667	MS、RI	0.13
5	36.02	苯甲醇	100-51-6	956	1901	1893	MS、RI	0.62
6	36.90	苯乙醇	60-12-8	951	1946	1939	MS、RI	0.56
7	17.01	十二烷基辛醚	1000406-38-4	893	1188	1192	MS、RI	0.15
相对含量合计								19.95
酸类化合物(2种)								
1	24.53	乙酸	64-19-7	923	1424	1442	MS、RI、GC-O	32.00
2	35.54	庚酸	142-62-1	802	1865	1855	MS、RI	0.06
相对含量合计								32.06
萜烯类化合物(2种)								
1	17.26	D-蒎烯	5989-27-5	938	1194	1192	MS、RI	0.20
2	17.73	1,8-桉叶素	470-82-6	957	1210	1209	MS、RI	0.02
相对含量合计								0.22
酚类化合物(1种)								
1	38.79	苯酚	108-95-2	943	2035	2051	MS、RI	0.23
相对含量合计								0.23

基十一烷对野葱干整体的风味贡献很小,但其中有一些支链烷烃如 2-甲基癸烷、3-甲基癸烷等就有可能

对野葱干的香气特征有所贡献,最后在产品的整体香气的维持和协调中起到重要作用。

2.1.3 醛类与酮类化合物 醛类与酮类物质是葱属植物中又一类重要的挥发性成分, 内蒙古野葱干中检出的醛类与酮类物质种类的丰富程度仅次于含硫化合物与烃类物质, 一共有 17 种, 相对含量为 6.26%。其中相对含量大于 1% 的有 2 种, 分别为苯甲醛与 6-甲基-2,4-庚二酮。醛类与酮类属于酮类和醛类属于挥发性羰基化合物, 也会产生浓郁的香味, 醛类物质是脂质氧化的降解产物, 一般具有奶油、脂肪、草香以及清香等气味^[20], 由于香气阈值较低, 因此这些物质对内蒙古野葱干风味的贡献不能忽略, 其中, 相对含量最高的苯甲醛被认为是烤花生的主要特征香气化合物, 具有令人愉悦的甜味和麦芽香^[21], 在櫻桃与山杏中有发现, 此外饱和醛类如己醛的相对含量也较高, 该物质含量较低时具有令人愉悦的青草香味, 但含量过高则会产生负面的酸败味道^[20]。酮类物质通常与奶油香和果蔬香等风味特征相联系^[20], 其中, 6-甲基-2,4-庚二酮的相对含量最高, 为 1.03%, 可能对内蒙古野葱干风味贡献很大。

2.1.4 杂环类化合物 含氮杂环类化合物是野葱干在干制过程中经美拉德反应产生的。一般来说, 美拉德反应的初始阶段, 由于受热时间较短, 温度较低, 反应的主要的产物为醛类物质, 它们会进一步相互作用, 形成特征香气的内酯类、呋喃类和吡喃类化合物, 当温度升高、加热时间较长以后, 会有焙烤香气的吡嗪、吡咯、吡啶类化合物相继形成^[22]。内蒙古野葱干中共检测出杂环类化合物 12 种, 相对含量为 5.06%, 其含量虽然较低, 但数量在野葱挥发性成分中占优势, 主要包括呋喃类和吡嗪类, 这些杂环类物质的阈值也较低, 对内蒙古野葱干风味贡献较大, 主要呈烘烤坚果味、爆米花味等。其中贡献最大的为 2,4-二甲基噻吩, 其相对含量在 1% 以上, 噻吩类物质是硫代亚磺酸盐的降解产物及三丙基二硫醚等的前体物质^[23], 此外检出的 2-戊基呋喃存在于咖啡、栗子中, 具有豆香、果香、泥土、青草及类似蔬菜的香气^[24], 吡嗪类化合物, 如 2,5-二甲基吡嗪、2,3-二甲基吡嗪和 2,3,5-三甲基吡嗪等, 大多具有烤香、巧克力、坚果香气^[22], 对内蒙古野葱干风味也具有重要作用。

2.1.5 酯类化合物 酯类物质来源于原材料本身或者由原材料固有的醇和酸反应而生成, 酯类香气物质主要包含直链酯类、支链酯类与含芳香环酯类, 这类物质大多都具有芳香气味的^[25]。内蒙古野葱干中共检测到酯类物质 10 种, 这些物质含量常超过感官阈值, 赋予野葱干愉快的气味。其中相对含量在 1% 以上的有 2 种, 以丙二醇甲醚乙酸酯含量最高为 2.80%, 其具有淡淡的酯香气味^[26], 其次 γ -丁内酯为 1.17%, 具有甜香、奶油气味, 可作为食用香料, 用于饮料、糖果和冰淇淋等食品中, 此外, 其对猪筒骨汤风味的形成也起到重大作用^[27]。乙酸酯类物质主要包括乙酸甲酯、乙酸乙酯、乙酸丙酯和乙酸苄酯, 这

些物质通常会赋予产品香蕉、熟透的苹果和花香等香气^[26]。

2.1.6 醇类与醚类化合物 醇类与醚类化合物是野葱干香气成分中较为重要的两类化合物, 这类化合物具有较为强烈的酒精味与指甲油等刺激性气味, 内蒙古野葱干中共检出 7 种, 相对含量为 19.95%。其中 2,3-丁二醇的相对含量为 17.46%, 其呈现独特的奶油香^[28], 此外, 相对含量较高的苯甲醇与苯乙醇均呈现强烈的甜香与果香香气^[22]。醇类化合物虽然具有较高的气味阈值, 对野葱干风味的贡献较小, 但其根据含量的不同在整个风味体系中却能起到协调等辅助作用, 因此也具有重要意义。

2.1.7 酸类化合物 内蒙古野葱干中的酸类物质来源于野葱中糖类的降解。内蒙古野葱干中检测到的酸类物质包括乙酸和庚酸, 虽然其不是所有鉴定出的化合物种类最多的一类, 但却是所有检出香气化合物含量最高的物质, 相对含量为 32.06%, 其中, 乙酸相对含量为 32%, 乙酸具有独特的刺激的酸香气味, 主要构成野葱干特有的酸香韵与油脂气息^[29], 酸香是内蒙古野葱干风味体系中的另一个突出贡献者, 同时影响着野葱干的口感与后味。

2.1.8 萜烯类化合物 萜烯类化合物为植物体内由乙酰 CoA 合成的次级代谢产物, 以游离态和无味的糖苷结合态存在于植物中^[18]。内蒙古野葱干中此类化合物共检测出 2 种, 分别为 D-蒎烯与 1,8-桉叶素, 仅占 0.22%, 其中, D-蒎烯具有令人愉悦的类似柠檬的香气和松脂的气味^[11], 1,8-桉叶素具有类似樟脑的清涼的草药气味, 常用于止咳糖与人工薄荷中^[30]。相关研究表明野葱中不含有这些萜烯类物质^[31], 而在内蒙古野葱干中检测到萜烯类物质, 这可能与野葱中油脂的热分解有关。

2.1.9 酚类化合物 挥发性酚类物质通常高于自身的感官阈值, 从而极易影响和修饰野葱干的风味。在内蒙古野葱干中检测到 1 种挥发性酚类物质, 为苯酚, 相对含量为 0.23%, 其具有焦油样味道和轻微的丁香样辛辣味, 可作为荷式可可、烘培咖啡香精^[31], 在发酵酒类中有发现^[26,30]。

2.2 内蒙古野葱干的关键香气鉴定

2.2.1 AEDA 分析 在内蒙古野葱干芳香提取物中, 共有 20 种气味活性化合物在 100:1 分流比条件下被至少 2 名嗅评人员检测出, 见表 2。它们包括含硫化合物、酸类、醛类、醇类和杂环化合物, 这 20 种化合物都具有较高的稀释因子(FD factors ≥ 27), 被认为是较关键的气味活性化合物。它们的气味特征包括葱蒜辛香、酸香、奶油香、坚果香与水果香等。大量的研究者证明, 含硫化合物、醛类、醇类以及杂环类化合物, 主要有二甲基二硫醚、二丙基三硫醚、2-甲基-2-戊烯醛、(E,E)-2,4-己二烯-1-醇、烯丙基硫醇与 2-乙基-3,5-二甲基吡嗪, 表现出辛辣蒜香、坚果和

表2 内蒙古野葱干在不同分流比下 GC-O 能嗅闻到的挥发性成分

Table 2 Volatile components that GC-O could smell at different split ratios of Inner Mongolia dried *Allium chrysanthum*

序号	化合物	稀释因子	气味特征
1	二甲基二硫醚	100	强烈逸发性冷的薄荷气味和浓烈新鲜洋葱辛香气 ^[15]
2	2-戊基呋喃	100	豆香、果香、青香以及蔬菜香 ^[24]
3	甲基丙基二硫醚	100	葱蒜香气及硫化物 ^[16]
4	2,4-二甲基噻吩	100	刺鼻、咸香及硫化物 ^[24]
5	反-甲基丙烯基二硫醚	100	葱蒜香气及硫化物 ^[16]
6	顺-甲基丙烯基二硫醚	100	葱蒜香气及硫化物 ^[16]
7	2,5-二甲基吡嗪	100	坚果、可可香气 ^[22]
8	二丙基二硫醚	100	洋葱大蒜及硫化物 ^[17]
9	二甲基三硫醚	100	强烈的葱蒜辛辣香气 ^[17]
10	2,3,5-三甲基吡嗪	100	坚果、可可香气 ^[22]
11	反-烯丙基丙基二硫醚	100	蒜香、金属及硫化物 ^[17]
12	乙酸	100	酸香 ^[29]
13	糠醛	100	烘烤焦糖香气 ^[20]
14	5-乙基-2,3-二甲基吡嗪	100	坚果香气 ^[22]
15	2,3,5,6-四甲基吡嗪	100	坚果、可可香气 ^[22]
16	2,3-丁二醇	100	奶油香气 ^[28]
17	甲基丙基三硫醚	100	洋葱香气及硫化物 ^[17]
18	苯甲醛	100	甜香, 麦芽香, 坚果香 ^[21]
19	反-甲基丙烯基三硫醚	100	洋葱香气及硫化物 ^[16]
20	γ -丁内酯	100	奶油香气 ^[27]

药草样的香气,是葱属植物的主要的香气物质^[15],另外一些酮类物质对葱属植物的整体香气轮廓也有较大的贡献^[6]。

2.2.2 ROAV 分析 挥发性化合物对食品整体风味的最终贡献不仅取决于其浓度,而且取决于其气味阈值,当化合物的感觉阈值较低时,更容易被感知^[27]。在对内蒙古野葱干中各挥发性物质进行定性的基础上,结合表1中各挥发性风味化合物的离子峰面积比,以 ROVA 为参数,确定内蒙古野葱干中关键风味化合物。如表3所示,内蒙古野葱干中关键风味物质依次为二甲基三硫醚、乙酸、2,3-丁二醇、丙二醇甲醚醋酸酯、二甲基二硫醚、异戊醛、3-乙基-2,5-二甲基吡嗪、苯甲醛、 γ -辛内酯、苯乙醇、二甲基硫醚、苯酚 (ROAV ≥ 1), 其中,二甲基三硫醚的 ROVA (ROAV=100) 显著高于其他化合物。2-甲基丁醛、2,3,5-三甲基吡嗪、1,8-桉叶素、2-戊基呋喃、大茴香醛、庚酸、 β -环柠檬醛、4-氧代异佛尔酮、D-苧烯、 γ -丁内酯、己醛对野葱干总体风味有重要修饰作用 ($0.1 \leq \text{ROAV} < 1$)。

结合 AEDA 分析结果,确定内蒙古野葱干的关键香气活性成分为二甲基三硫醚(葱蒜辛香)、乙酸(酸香)、2,3-丁二醇(奶油香)、苯甲醛(坚果香)。这与文献报道中新鲜野葱中特征香味物质种类为含硫化合物、醚类与醛类物质基本相符^[31],但具体物质却存在较大差异,如含硫化合物以二甲基三硫醚为主,醛类物质以苯甲醛为主,此外还增加了乙酸与2,3-丁二醇,这可能是因为野葱干在干制过程中,高温条件会使得野葱基质发生化学反应,从而产生的风味物

质。乙酸、2,3-丁二醇与苯甲醛相互协同可以有效缓解二甲基三硫醚的辛辣刺激性,并赋予其一定的酸香和烤香香气,大大增加其接受度。这与张宁^[22]的研究一致,他采用 GC-MS 结合感官评价的方法研究大葱在加热过程中的风味变化,发现大葱经高温加热后,炒菜香和咸香明显增强,而青香和辛辣味有一定程度的减弱,同时还表明除了主要的挥发性风味物质外,还增加了呋喃酮、酸类和含氮杂环类化合物,醛类、醇类物质的含量也有一定的改变。有学者发现,炸小葱的关键芳香化合物为己醛、二丙基二硫醚、苯甲醛、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃和2-甲氧基苯酚,与新鲜小葱相比,在新鲜小葱含量极低或不含的含氮化合物,在炸小葱中却可以检测到,且大多都具有较强的坚果香、烤香和奶油香气^[33-34]。在明确内蒙古野葱干的主要呈香物质后,后续研究可以在此分析结果的基础上,选取这四种有用的化学成分作为野葱香精初始配方的原料,调配出香气逼真、自然的野葱香精。

3 结论

通过对内蒙古野葱干的挥发性成分进行分析,其成分种类还是比较复杂多样,共鉴定出挥发性成分 87 种,其中包含含硫化合物 18 种(27.05%),杂环类化合物 18 种(5.06%),烷烃、烯烃类化合物 18 种(4.92%),酯类 11 种(5.05%),醛类 8 种(4.31%),醇类 5 种(19.67%),酮类 4 种(1.43%),酸类 2 种(32.06%),萜烯类 2 种(0.22%),酚类 1 种(0.23%)。AEDA 分析显示共有 20 种气味活性化合物对内蒙古野葱干的香气强度影响可能会比较大,ROAV 结

表 3 根据 ROVA 值对野葱干中挥发性香气成分排序

Table 3 Ranked the aroma components in dried *Allium chrysanthum* according to the ROVA

序号	化合物	阈值 ^[32] (mg/m ³)	ROAV
1	二甲基三硫醚	0.014	100
2	乙酸	0.15	24.14
3	2,3-丁二醇	0.0951	20.78
4	丙二醇甲醚醋酸酯	0.016	19.81
5	二甲基二硫醚	0.0084	9.97
6	异戊醛	0.0016	9.90
7	3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	0.0036	5.97
8	苯甲醛	0.085	4.89
9	γ -辛内酯	0.0018	3.77
10	苯乙醇	0.021	3.02
11	二甲基硫醚	0.001	1.13
12	苯酚	0.021	1.24
13	2-甲基丁醛	0.01	0.91
14	2,3,5-三甲基吡嗪	0.096	0.71
15	1,8-桉叶素	0.00508	0.45
16	2-戊基呋喃	0.27	0.39
17	大茴香醛	0.034	0.33
18	庚酸	0.022	0.31
19	β -环柠檬醛	0.005	0.23
20	4-氧代异佛尔酮	0.025	0.23
21	D-萜烯	0.113	0.20
22	γ -丁内酯	1	0.14
23	己醛	0.23	0.12
24	二丙基二硫醚	0.13	0.09
25	5-乙基-2,3-二甲基吡嗪	0.2	0.08
26	己酸甲酯	0.07	0.06
27	2,3,5,6-四甲基吡嗪	0.69	0.04
28	苯甲醇	2.54621	0.03
29	对二甲苯	0.25	0.03
30	十一烷	5.6	0.02
31	2,5-二甲基吡嗪	1.82	0.01
32	2,3-二甲基吡嗪	0.88	0.01
33	乙酸乙酯	0.88	0.01
34	2-乙酰基吡咯	2	0.01
35	糠醛	2.8	0.01
36	乙酸甲酯	5.1	0.01
37	2-甲基十一烷	10	<0.01
38	乙酸丙酯	1	<0.01
39	2-乙酰基呋喃	15.0252	<0.01
40	糠醇	32	<0.01
41	2-吡咯甲醛	65	<0.01
42	乙酸苄酯	135	<0.01

合 AEDA 分析推测内蒙古野葱干中的关键香气成分为二甲基三硫醚、乙酸、2,3-丁二醇、苯甲醛,其区别于普通葱类所特有的乙酸和 2,3-丁二醇构成了其独特的风味。

参考文献

[1] 陈历刚,高健强,梁红,等.野葱营养成分及矿物质元素含量分析[J].*现代农业科技*,2016(4):283. [CHEN L G, GAO J Q, LIANG H, et al. Analysis of nutrient components and mineral elements in wild onion[J]. *Modern Agricultural Science and Technolo-*

gy, 2016(4): 283.]

[2] 郑清岭,郝丽珍,张凤兰,等.内蒙古 5 种野生葱属植物食用性和饲用性评价[J].*河南农业科学*,2016,45(8):100-106. [ZHEN Q L, HAO L Z, ZHANG F L, et al. Evaluation of eating and feeding value of five kinds of wild *Allium* L. in Inner Mongolia[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2016, 45(8): 100-106.]

[3] ASEMANI Y, ZAMANI N, BAYAT M, et al. *Allium* vegetables for possible future of cancer treatment[J]. *Phytotherapy Research*, 2019, 33(12): 3019-3039.

[4] 张凤兰,王佳琪,杨忠仁,等.沙葱新品种沙珍 SC-2 号及其栽培技术[J].*中国蔬菜*,2021(3):120-122. [ZHANG F L, WANG J Q, YANG Z R, et al. Shazhen SC-2, a new variety of shallot and its cultivation techniques[J]. *Chinese Vegetables*, 2021(3): 120-122.]

[5] 刘建林,赵丽华,孙学颖,等.添加沙葱与添加剂对发酵羊肉干中亚硝胺的抑制作用[J].*中国食品学报*,2021,21(2):187-193.

[LIU J L, ZHAO L H, SUN X Y, et al. Inhibitory effect of adding shallot and additives on nitrosamines in fermented mutton jerky[J]. *Journal of Chinese Food Science*, 2021, 21(2): 187-193.]

[6] 田震,徐亚元,李大婧,等.基于 SPME-GC-MS 分析不同干燥方式对香葱挥发性成分的影响[J].*食品工业科技*,2021,42(4):232-244. [TIAN Z, XU Y Y, LI D J, et al. Analysis of volatile components in dried Chives by SPME-GC-MS[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(4): 232-244.]

[7] WANG Z, HAN B, JING W, et al. Effects of different steeping temperatures on the leaching of aroma components in black tea by SPME-GC-MS coupled with chemometric method[J]. *Journal of AOAC International*, 2019, 102(6): 1834-1844.

[8] 刘松忠,陈清,高莉敏,等.固相微萃取-气相色谱-质谱法分析中国葱中的挥发性成分[J].*质谱学报*,2008(2):88-91. [LIU S Z, CHEN Q, GAO L M, et al. Analysis of aroma components in Chinese onion by SPME-GC-MS[J]. *Journal of Chinese Mass Spectrometry Society*, 2008(2): 88-91.]

[9] 关志华,王忠红,朗杰,等.青藏高原 8 种野生葱属植物挥发性成分研究[J].*植物遗传资源学报*,2020,21(4):1036-1043. [GUAN Z H, WANG Z H, LANG J, et al. Study on the volatile components of 8 wild *Allium* L. plants from Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2020, 21(4): 1036-1043.]

[10] SAGANDYKOVA G N, ALIMZHANOVA M B, NURZHANOVA Y T, et al. Determination of semi-volatile additives in wines using SPME and GC-MS[J]. *Food Chemistry*, 2017, 220: 162-167.

[11] ZHOU Y, ABBAS F, WANG Z, et al. HS-SPME-GC-MS and electronic nose reveal differences in the volatile profiles of hedygium flowers[J]. *Molecules*, 2021, 26(17): 5425.

[12] DELAHUNTY C M, EYRES G, DUFOUR J P. Gas chromatography-olfactometry[J]. *Journal of Separation Science*, 2006, 29(14): 2107-2125.

[13] LI J X, SCHIEBERLE P, STEINHAUS M. Characterization of the major odor-active compounds in thai durian (*Durio zibethinus* L. 'monthong') by aroma extract dilution analysis and headspace gas chromatography-olfactometry[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(45): 1253-1262.

- [14] 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,2008,29(7):370-374. [LIU D Y, ZHOU G H, XU X L. Study on characteristic aromatic compounds in 'Yanshanzaofeng' chestnut roasted in sugar determined by SPME-GC-MS and ROAV[J]. Food Science,2008,29(7):370-374.]
- [15] SUBRAMANIAN M S, MS G N, NORDIN S A, et al. Prevaling knowledge on the bioavailability and biological activities of sulphur compounds from *Alliums*: A potential drug candidate[J]. *Molecules*, 2020, 25(18): 4111.
- [16] FUKAYA M, NAKAMURA S, NAKAGAWA R, et al. Cyclic sulfur-containing compounds from *Allium fistulosum* 'Kujou'[J]. *J Nat Med*, 2019, 73(2): 397-403.
- [17] MAKIMOTO J, KOU W, INOUE T, et al. Mutagenesis, breeding, and characterization of sake yeast strains with low production of dimethyl trisulfide precursor[J]. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2020, 130(6): 610-615.
- [18] 刘艳,张卫明,姜洪芳,等. 新疆野葱挥发油中化学成分的分析[J]. 中国调味品,2008,33(6):68-70. [LIU Y, ZHANG W M, JIANG H F, et al. Analysis of chemical components of volatile oil in wild green onion from Xinjiang[J]. *China Condiment*, 2008, 33(6): 68-70.]
- [19] JOSEPHSON D B, LINDSAY R C, STUIBER D A. Enzymic hydroperoxide initiated effects in fresh fish[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 52(3): 596-600.
- [20] 王彦蓉. 沙琪玛储存过程中风味变化及品质改善的研究[D]. 广州:华南理工大学,2012. [WANG Y R. Study on the changes of volatile compounds of Sachima during shelf life and improvements of quality[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.]
- [21] 罗枫,鲁晓翔,张鹏,等. 不同温度对货架期樱桃挥发性物质变化的影响[J]. 食品工业科技,2015,36(13):5. [LUO F, LU X X, ZHANG P, et al. Effects of different temperatures on the changes of volatile substances in cherries during shelf life[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(13): 5.]
- [22] 张宁. 爆葱油特征风味研究[D]. 北京:中国农业大学,2017. [ZHANG N. Study on characteristic flavor of deep-fried oil of *Allium fistulosum* L.[D]. Beijing: China Agricultural University, 2017.]
- [23] NELSON S O, TRABELSI S. Factors influencing the dielectric properties of agricultural and food products[J]. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 2012, 46(2): 93-107.
- [24] KRIST S, UNTERWEGER H, BANDION F, et al. Volatile compound analysis of SPME headspace and extract samples from roasted Italian chestnuts (*Castanea sativa* Mill.) using GC-MS[J]. *European Food Research & Technology*, 2004, 219(5): 470-473.
- [25] 汤雨凡. 脂氧合酶在薄皮甜瓜香气物质合成中的作用[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2017. [TANG Y F. The roles of LOXs in synthesis of fruit aroma volatiles in oriental melon[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2017.]
- [26] 杨薇熹,兰义宾,向小凤,等. 湖南刺葡萄酒主要呈香物质的分析[J]. 中国酿造,2020,39(3):6. [YANG W X, LAN Y B, XIANG X F, et al. Analysis of the main aromatic substances of *Vitis davidii* Foex wines from Hunan province[J]. *China Brewing*, 2020, 39(3): 6.]
- [27] 姚文生,马双玉,蔡莹莹,等. 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[J]. 食品工业科技,2021,42(8):8. [YAO W S, MA S Y, CAI Y X, et al. Analysis of volatile flavor substances in mutton shashlik based on GC-IMS technology[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(8): 8.]
- [28] CABRITA M, FREITAS A, LAUREANO O, et al. Glycosidic aroma compounds of some portuguese grape cultivars[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2006, 77(16): 922-931.
- [29] 樊月,刘伟,徐芬,等. 不同种类山东煎饼特征风味成分差异分析[J]. 食品科学,2020,41(12):173-179. [FAN Y, LIU W, XU F, et al. Analysis of characteristic flavor components in different kinds of Shandong pancakes[J]. *Food Science*, 2020, 41(12): 173-179.]
- [30] 蔡建,朱保庆,兰义宾,等. 蛇龙珠与卡曼娜葡萄酒主要呈香物质鉴定[J]. 中国酿造,2014(5):8. [CAI J, ZHU B Q, LAN Y B, et al. Identification of impact odorants on Carmènère red wines from China and Chile[J]. *China Brewing*, 2014(5): 8.]
- [31] 关志华,王忠红,朗杰,等. 青藏高原8种野生葱属植物挥发性成分研究[J]. 植物遗传资源学报,2020,21(4):8. [GUAN Z H, WANG Z H, LANG J, et al. Study on the volatile components of 8 wild *Allium* L. plants from Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2020, 21(4): 8.]
- [32] 里奥·范海默特. 化合物香味阈值汇编[M]. 北京:科学出版社,2015. [VAN HELMOT L. Compilation of compound fragrance thresholds [M]. Beijing: Science Press, 2015.]
- [33] 张霞,雷学俊,刘芳,等. 五粮液车间空气中的特征酵母菌及其挥发性风味物质分析[J]. 食品与发酵工业,2021,47(17):242-249. [ZHANG X, LEI X J, LIU F, et al. Typical yeasts and their volatile flavor compounds in workshop air of Wuliangye[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(17): 242-249.]
- [34] CHU Y H, HSU H F. Comparative studies of different heat treatments on quality of fried shallots and their frying oils[J]. *Food Chemistry*, 2001, 75(1): 37-42.