DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2021.07.026

HS-SPME-GC-MS分析西林火姜挥发性香气成分

张璐璐[1],王后政[2],刘慧勤[1],吴建文[3],黎贵卿[3],陆顺忠[3],李秋庭[1*]

(1.广西大学 轻工与食品工程学院,广西 南宁 530004;2. 江南大学 食品学院,江苏 无锡 214122;
3. 广西壮族自治区林业科学研究院,广西 南宁 530002)

摘　要:以西林火姜干姜片为原料,通过顶空固相微萃取(headspace solid phase micro-extraction, HS-SPME)结合气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)对萃取头种类、萃取时间和解析时间进行单因素优化,研究其挥发性香气成分。结果表明:3 g 西林火姜干姜粉采用 100 μm PDMS 萃取头,萃取 40 min,解析 3 min 萃取挥发性香气成分效果最佳。在此条件下检测到干姜 45 种香气成分,含量最高的是萜烃类,也有少量酯、酮、醛和醇等。主要的香气成分为姜烯、β-倍半水芹烯、(E,E)-α-法呢烯、β-红没药烯、α-姜黄烯、β-荜澄茄油烯、2-莰醇、α-柠檬醛、β-榄香烯。

关键词:西林火姜;顶空固相微萃取;气相色谱-质谱;挥发性香气成分;优化条件

Analysis of Volatile Aroma Constituents of Xilin Fire Ginger Using HS-SPME-GC-MS

ZHANG Lu-lu[1], WANG Hou-zheng[2], LIU Hui-qin[1], WU Jian-wen[3], LI Gui-qing[3], LU Shun-zhong[3], LI Qiu-ting[1*]

(1. Light Industry and Food Engineering College, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China; 2. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China; 3. Guangxi Zhuang Autonomous Region Forestry Research Institute, Nanning 530002, Guangxi, China)

Abstract: Volatile aroma components of the dried Xilin fire ginger slices were analyzed using headspace-solid-phase microextraction (HS-SPME) in combination with gas chromatography-mass spectrometry(GC-MS). The SPME fiber type, extraction time, and desorption time were optimized using a single-factor optimization process. The highest extraction efficiency of the volatile aroma components was achieved with 3 g of dried Xilin fire ginger powder, a 100 μm polydimethylsiloxane extraction head, an adsorption time of 40 min, and a desorption time of 3 min. A total of 45 aroma components were detected, with terpenes being the most abundant; small amounts of esters, ketones, aldehydes, and alcohols were also present. The main volatile aroma components were (-)-zingiberene, β-sesquiphellandrene, (E,E)-α-farnesene, β-bisabolene, α-curcumene, β-cubebene, 2-endo-borneol, α-citra, and (-)-β-elemene.

Key words: Xilin fire ginger; headspace solid phase micro-extraction(HS-SPME); gas chromatography-mass spectrometry(GC-MS); volatile aroma constituents; optimum conditions

引文格式:

张璐璐,王后政,刘慧勤,等.HS-SPME-GC-MS 分析西林火姜挥发性香气成分[J].食品研究与开发,2021,42(7):165-170.

ZHANG Lulu, WANG Houzheng, LIU Huiqin, et al. Analysis of Volatile Aroma Constituents of Xilin Fire Ginger Using HS-SPME-GC-MS[J]. Food Research and Development, 2021, 42(7): 165-170.

作者简介:张璐璐(1993—),女(汉),在读硕士研究生,主要从事农林副产品及天然香料加工研究。

*通信作者:李秋庭(1967—),女,教授,硕士,主要从事农林副产品及天然香料加工研究。

西林火姜又名细肉姜、小黄姜，根、茎、皮、肉皆为淡黄色，肉质致密，姜香浓郁，辛辣味浓，益脾胃、除湿消痞、止咳祛痰的功效优良，是良好的香辛调味料和传统中医药材，也是广西百色市西林县著名特产，已被评为中国国家地理标志产品[1-3]。火姜作为西林县重要的经济作物，年种植面积一般在 3 333 公顷左右，总产量约 12.5 万吨，目前基本以干姜块（片）初级产品远销俄罗斯、日本等国[4]。

香气作为生姜香辛料的重要品质属性之一，对其质量评价、加工工艺改良以及开发前景均有重要意义，因此，一直是生姜的研究热点[5-6]。其中，顶空固相微萃取（headspace solid phase micro-extraction，HS-SPME）因具有操作简单快捷、可避免非挥发成分污染色谱柱和方法重现性好，以及可结合气相色谱-质谱（gas chromatography-mass spectrometry，GC-MS）进一步分析等优点，已被广泛应用于研究生姜香气成分[7]。2015 年，杨小金等[8]使用 65 μm PDMS/DVB 萃取头在加热至 100 ℃的干姜粉中萃取平衡 10 min，鉴定出 42 种挥发性成分，主要包括单萜及倍半萜、烯烃、醛类、醇类、酯类、酮类及脂肪烃类化合物。2017 年，LUO 等[9]通过该法测定了鲜仔姜的主要成分为香叶醇、乙酸香叶酯、β-红没药烯、β-倍半水芹烯、β-水芹烯、姜烯和 α-法呢烯等。另外，研究发现 HS-SPME 萃取结果受萃取头、样品量、样品浓度、萃取温度和萃取时间以及解析时间等因素影响[10-11]。2018 年，袁华伟等[12]采用 65 μm PDMS/DVB 萃取头以总峰面积和峰数对生姜 HS-SPME 的萃取条件进行优化，得出在 50 ℃下萃取 30 min 效果最佳，共检测到 73 种挥发性成分，其中萜烯类 54种（88.51%），醇类 5 种（2.83%），醛类 6 种（7.68%），醚类 4 种（0.32%），酮类 2 种（0.31%），其它 2 种（0.059%）。

西林火姜是生姜的地方品种之一，为了了解其香辛特色成分，本文采用顶空固相微萃取方法研究西林火姜的挥发性香气成分，通过对萃取头、萃取时间以及解析时间进行单因素试验确立最佳萃取条件，并结合匹配度和保留指数进行定性，以期更好和更准确地反映西林火姜的香气成分，为西林火姜的进一步开发提供基础参考数据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

西林火姜干姜片：西林县富源植物开发有限公司生产提供，于 2018 年 12 月份中旬采收火姜，经热风干燥制成干姜片。主要加工工艺参数为：温度 60 ℃～80 ℃，时间 8 h。

MND-628 多功能养生料理机：中山市曼能达塑胶制品有限公司；萃取头（100 μm PDMS、50/30 μm DVB/CAR/PDMS、85 μm PA）、手动进样手柄：上海安谱实验科技股份有限公司；Scion.TQ 气相色谱-质谱联用仪：美国布鲁克道尔顿公司。

1.2 试验方法

1.2.1 挥发性香气成分萃取

西林火姜干姜片粉碎，过 40 目筛得干姜粉。称取干姜粉 3 g 于 15 mL 顶空瓶中，聚四氟乙烯隔垫密封，老化萃取纤维头（85 μm PA：老化温度 280 ℃，老化时间 0.5 h；50/30 μm DVB/CAR/PDMS：老化温度 270 ℃，老化时间 1 h；100 μm PDMS：老化温度 250 ℃，老化时间 0.5 h）将其悬于顶空瓶中，在 28 ℃下吸附一段时间后，快速插入 250 ℃的 GC-MS 进样口，解析一段时间，进行 GC-MS 检测分析。对萃取头、萃取时间和解析时间进行单因素优化试验，优化指标为定性挥发性香气成分的总峰面积和峰数。所有试验均重复 3 次。

1.2.2 萃取头的优化

萃取头对 HS-SPME 效果的影响最大，不同的材料和厚度涂层，其极性会存在一定差异，萃取结果也明显不同[13]。研究表明，生姜的挥发性成分主要由萜烯类组成[14-16]。因此，分别选用 100 μm PDMS（适用于小分子挥发性非极性物质）、50/30 μm DVB/CAR/PDMS（适用于 C3~C6 大范围分析）、85 μm PA（适用于极性半挥发物质，酚类）3 种萃取头，萃取 30 min，解析 3 min 进行优化。

1.2.3 萃取时间的优化

萃取头存在萃取平衡状态，因此 HS-SPME 分析不同的挥发性有机物时，所需时间不同。萃取时间过长，会导致出峰分离度差，甚至质谱检测器过饱和，影响定性定量；萃取时间过短，不能全面准确反映成分组成。一般情况下 10 min 之内可达最高吸附量，而对于复杂及半挥发性有机物，30 min 至 60 min 才能达到平衡[17]。火姜香气成分复杂，因此，使用确定的最佳萃取头，分别萃取干姜粉 30、40、50、60 min，解析 3 min 进行优化。

1.2.4 解析时间的优化

萃取头 HS-SPME 萃取完成后，需要在 GC 进样口解析进样。进样口温度较高且恒定，解析时间过长，可能对萃取头涂层产生破坏，缩短使用寿命。反之解析时间过短，则不能完全解析，不仅会降低 GC-MS 分析结果的准确性，还可能污染后续试验[18-19]。因此，使用已确定最佳萃取头和萃取时间，分别解析 1、2、3、4 min 进行优化。

1.2.5 GC-MS 条件

1.2.5.1 GC 条件

色谱柱型号 BR-5ms(60 m × 0.25 mm × 0.25 μm);升温程序:初始温度 50 ℃,保持 1 min,再以 3 ℃/min 升温至 150 ℃,保持 2 min,最后以 20 ℃/min 升温至 250 ℃,保持 2 min;进样口温度 250 ℃,载气:高纯氦气,纯度 99.999%,分流比 1∶10,流量 1.20 mL/min,柱压为 2.4 kPa。

1.2.5.2 MS 条件

电离方式 EI,离子源温度 230 ℃,电子能量 70 eV,传输线温度 250 ℃,电子倍增管电压为 800 V,扫描间隔 1 s,扫描范围(m/z)30 ~550。

1.3 数据处理

定性方法:采用谱库检索与保留指数相结合的方法。(1)质谱鉴定:通过与 NIST11 谱库进行比对,要求正、反匹配度都大于 800;(2)保留指数(retention index,RI)鉴定:C8~C40 的正构烷烃混合标准液,采用相同的气质升温程序,根据保留时间计算样品中化合物的保留指数,并与文献中使用相同气相色谱柱的同种物质保留指数进行比较确认。保留指数计算公式如下。

$$RI = 100Z + 100 \times \frac{T_X - T_Z}{T_{Z+1} - T_Z}$$

式中:T_x 为化合物 X 的保留时间,min;Z 和 Z+1 分别为化合物 X 出峰前后相邻正构烷烃标准品的碳原子数;T_Z 与 T_{Z+1} 分别为 Z 和 Z+1 个碳原子对应正构烷烃的保留时间,min。

定量方法:面积归一法。

2 结果与分析

2.1 萃取头的优化结果

干姜粉经不同萃取头萃取所得的总峰面积和峰数如表 1 所示。

表 1 不同萃取头对 HS-SPME 萃取效果的影响

Table 1 Extraction efficiencies of HS-SPME with different SPME fibers

萃取头	总峰面积	峰数/个
85 μm PA	1.03×10^{11}	28
50 μm DVB/CAR/PDMS	8.72×10^{9}	12
100 μm PDMS	3.98×10^{11}	36

由表 1 可知,不同的萃取头对干姜粉的萃取效果不同。其中,萃取头 100 μm PDMS 萃取干姜粉所得总峰面积最大,峰数最多,萃取效果明显高于其它两种萃取头。因此,确定 100 μm PDMS 为最佳萃取头。

2.2 萃取时间的优化结果

干姜粉使用 100 μm PDMS 萃取头在不同萃取时间下所得的总峰面积和峰数如图 1 所示。

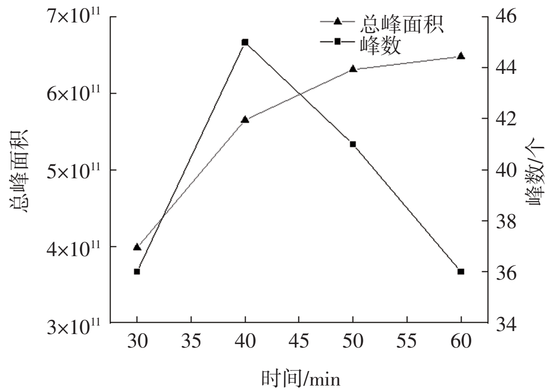

图 1 萃取时间对 HS-SPME 萃取效果的影响

Fig.1 Extraction efficiencies of HS-SPME with different extraction time

由图 1 可知,随着萃取时间的延长,萃取干姜粉所得总峰面积不断增加,经单因素分析,30 min 与 40 min 的总峰面积存在差异,40 min 与 50、60 min 均不存在差异。而萃取所得峰数在 30 min ~ 40 min 增加,40 min 时峰数最大,40 min ~ 60 min 持续减少,这可能是由于萃取头在达到萃取饱和状态后,继续增加萃取时间,导致样品瓶中低沸点高含量的香气成分与高沸点低含量的香气成分竞争吸附,使得总峰面积在持续增加而峰数降低。因此综合考虑,确定 40 min 为干姜粉的最佳萃取时间。

2.3 解析时间的优化结果

干姜粉使用 100 μm PDMS 萃取头,萃取 40 min,发现 1 min ~ 4 min 的解析时间对峰数变化无影响,均为 45 个色谱峰,而对总峰面积影响较大,如图 2 所示。

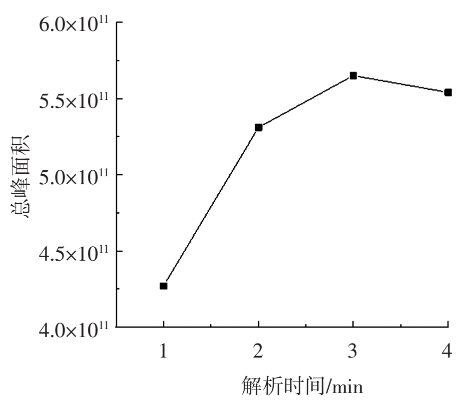

图 2 解析时间对 HS-SPME 萃取效果的影响

Fig.2 Extraction efficiencies of HS-SPME with different desorption time

由图 2 可知，解析时间在 1 min ~ 3 min 所得总峰面积一直处于上升趋势，4 min 时有所降低，证明 3 min 时已基本解析完全，因此，确定 3 min 作为干姜粉的最佳解析时间。

2.4 西林火姜挥发性香气成分的分析

西林火姜干姜粉 3 g，在 100 μm PDMS 萃取头，萃取 40 min，解析 3 min 的最佳萃取条件下，所得香气成分总离子流图如图 3 所示。

由图 3 可知，在最佳条件下，西林火姜干姜挥发性香气成分基线平稳，峰型尖锐且无过饱和状态。对挥发性香气成分进行检索结合保留指数定性，并计算相对百分含量，汇总结果如表 2 所示。

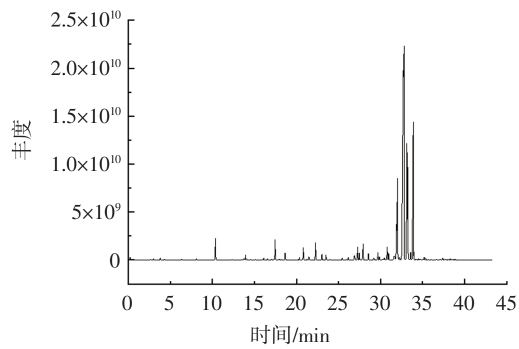

图 3 干姜挥发性香气成分的 GC-MS 总离子流图

Fig.3 GC-MS total ion current chromatogram of volatile aroma components extracted from ginger

表 2 干姜挥发性香气成分的 GC -MS 鉴定结果及相对百分含量

Table 2 Identification results and relative percentage of volatile aroma components of dried ginger

序号	中文名称	英文名称	CAS 号	含量/%	RI	定性方式
1	2-庚醇	2-heptanol	543-49-7	0.05±0.00	901	RI,MS
2	甲基庚烯酮	5-hepten-2-one, 6-methyl-	110-93-0	0.07±0.01	985	RI,MS
3	桉叶油醇	eucalyptol	470-82-6	1.44±0.09	1 035	RI,MS
4	(-)-马鞭草烯酮	(-)-verbenone	1196-01-6	0.08±0.00	1 092	MS
5	芳樟醇	β-linalool	78-70-6	0.31±0.02	1 098	RI,MS
6	左旋樟脑	(-)-camphor	464-48-2	0.14±0.01	1 142	MS
7	香茅醛	citronellal	106-23-0	0.11±0.01	1 151	RI,MS
8	2-莰醇	endo-borneol	507-70-0	1.36±0.06	1 168	MS
9	4-萜烯醇	terpinen-4-ol	562-74-3	0.08±0.00	1 178	RI,MS
10	α-松油醇	α-terpineol	98-55-5	0.50±0.03	1 193	MS
11	香茅醇	citronellol	106-22-9	0.14±0.01	1 229	RI,MS
12	β-柠檬醛	β-citral	106-26-3	0.83±0.02	1 236	MS
13	香叶醇	geraniol	106-24-1	0.22±0.01	1 251	RI,MS
14	α-柠檬醛	α-citral	141-27-5	1.17±0.09	1 266	MS
15	乙酸龙脑酯	bornyl acetate	76-49-3	0.36±0.02	1 283	RI,MS
16	甲基壬基甲酮	2-undecanone	112-12-9	0.32±0.01	1 292	RI,MS
17	δ-榄香烯	δ-elemene	20307-84-0	0.11±0.01	1 333	RI,MS
18	乙酸香茅酯	citronellol acetate	150-84-5	0.17±0.00	1 349	RI,MS
19	(+)-环苜蓿烯	(+)-cyclosativene	22469-52-9	0.40±0.01	1 365	RI,MS
20	(-)-α-蒎烯	copaene	3856-25-5	0.86±0.01	1 373	RI,MS
21	乙酸香叶酯	geranyl acetate	16409-44-2	0.41±0.01	1 377	MS
22	β-榄香烯	β-elemene, (-)-	515-13-9	1.13±0.14	1 387	RI,MS
23	α-香柠檬烯	α-bergamotene	17699-05-7	0.40±0.01	1 401	MS
24	石竹烯	caryophyllene	87-44-5	0.19±0.00	1 416	RI,MS
25	γ-榄香烯	γ-elemene	29873-99-2	0.57±0.02	1 427	RI,MS
26	反-α-香柠檬烯	trans-α-bergamotene	13474-59-4	0.21±0.01	1 432	RI,MS
27	β-法呢烯	(E)-β-famesene	18794-84-8	1.04±0.07	1 453	MS
28	(+)-香橙烯	aromandendrene	489-39-4	0.48±0.01	1 457	RI,MS
29	α-古芸烯	α-gurjunene	22567-17-5	0.27±0.00	1 472	MS
30	(-)-α-衣兰烯	(-)-α-muurolene	483-75-0	0.40±0.01	1 473	MS
31	β-荜澄茄油烯	β-cubebene	13744-15-5	2.85±0.08	1 479	MS
32	α-姜黄烯	α-curcumene	644-30-4	6.66±0.42	1 480	RI,MS

续表 2 干姜挥发性香气成分的 GC-MS 鉴定结果及相对百分含量

Continue table 2 Identification results and relative percentage of volatile aroma components of dried ginger

序号	中文名称	英文名称	CAS 号	含量/%	RI	定性方式
33	α-芹子烯	α-selinene	473-13-2	0.14±0.00	1 486	MS
34	姜烯	(-)-zingiberene	495-60-3	42.09±0.83	1 496	RI,MS
35	α-法呢烯	α-farnesene	502-61-4	9.70±0.45	1 505	MS
36	β-红没药烯	β-bisabolene	495-61-4	8.21±0.62	1 507	MS
37	δ-杜松烯	δ-cadinene,(+)-	483-76-1	0.54±0.01	1 516	RI,MS
38	β-倍半水芹烯	β-Sesquiphellandrene	20307-83-9	15.40±0.51	1 523	MS
39	(Z,E)-α-法呢烯	(Z,E)-α-farnesene	26560-14-5	0.11±0.01	1 525	MS
40	香树烯	alloaromadendrene	25246-27-9	0.20±0.01	1 556	MS
41	橙花叔醇	nerolidol	142-50-7	0.11±0.01	1 557	MS
42	水合倍半烩香烯	cis-sesquisabinene hydrate	na	0.09±0.01	1 612	MS
43	顺式-α-异丁烯环氧化物	cis-z-α-bisabolene epoxide	na	0.04±0.01	1 628	MS
44	β-桉叶醇	β-eudesmol	473-15-4	0.03±0.00	1 652	RI,MS
45	反式水合倍半烩香烯	trans-sesquisabinene hydrate	na	0.03±0.00	1 683	MS

注：na 表示未查阅到相关数据。

由表 2 可知，西林火姜干姜中检测出 45 种挥发性香气成分，萜烃类化合物共 23 种是干姜中最丰富的香气成分，含量高达 91.96%，这类化合物一般具有一定的香气。其次醇类 11 种、醛类 3 种、酯类 3 种、酮类 4 种，含量由高到低为醇类（2.91%）> 醛类（2.11%）> 酯类（0.94%）> 酮类（0.61%），这些香气成分中大部分为萜烃通过氧化作用形成的产物，拥有更为复杂的香气[20]。除此之外，还检测到少量环氧化物，含量为1.48%。这些物质相互协同增效，赋予了西林火姜浓郁的辛香特色。

在这些物质中姜烯（42.09%）、β-倍半水芹烯（15.40%）、(E,E)-α-法呢烯（9.70%）、β-红没药烯（8.21%）、α-姜黄烯（6.66%）、β-荜澄茄油烯（2.85%），2-莰醇（1.36%）、α-柠檬醛（1.17%）、β-榄香烯（1.13%）等为主要挥发性香气成分，对西林火姜的香气有重要贡献，并且这些香气成分许多已被证明具有一定的抗氧化、抗菌、促进其它治疗物质的吸收和利用的作用[21-22]。尤其是姜烯、姜黄素、β-倍半水芹烯等在抗炎、抗菌、抗病毒、抗增殖、抗肿瘤等方面具有良好的疗效，是医药、食品、香料和化妆品工业的重要原料[23-24]。另外，对比西林火姜与其它生姜的香气成分发现，它们的物质组成具有一定相似性，含量有较大不同，其中姜烯、姜黄素、β-倍半水芹烯的百分含量明显高于杨小金等[8]、袁华伟等[12]的生姜研究结果，这可能是西林火姜姜香浓郁，辛辣味浓和药用性能好的原因。

3 结论

本研究确立了 HS-SPME-GC-MS 分析西林火姜香气成分的最佳萃取条件为：3 g 干姜粉，采用 100 μm PDMS 萃取头、萃取时间 40 min，解析时间 3 min，在此条件下，结合匹配度与保留指数共定性出萜烃类、醇类、醛类、酮类和酯类等 45 种香气成分。西林火姜干姜片挥发性香气成分丰富，姜烯、β-倍半水芹烯、(E,E)-α-法呢烯、β-红没药烯、α-姜黄烯、β-荜澄茄油烯、2-莰醇、α-柠檬、β-榄香烯为主要挥发性香气成分，尤其姜烯、姜黄素、β-倍半水芹烯百分含量明显高于其他生姜，这些成分可能对西林火姜的香辛特色具有重要意义。

参考文献：

[1] 孙亚青. 姜精油的提取、分析及纯化研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.

[2] NOOR AZIAN M, MUSTAFA KAMAL A A, NURUL AZLINA M. Changes of cell structure in ginger during processing [J]. Journal of Food Engineering, 2004,62(4): 359-364.

[3] 沈伟, 岑湘涛, 韦海婷, 等. 西林火姜枸杞复合型饮料的研制[J]. 农产品加工, 2019(24): 1-3.

[4] 佚名. 西林火姜 [EB/OL]. (2018-09-02)[2020-03-26]. https://baike.so.com/doc/7794709-8068804.html.

[5] 罗婧文, 张玉, 黄威, 等. 食品中萜类化合物来源及功能研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019,45(8):267-272.

[6] 卿英迪, 高金金, 陈毅文. 香气在营销中的应用 [J]. 心理科学进展, 2011,19(3):449-458.

[7] DA PORTO C, DECORTI D, NATOLINO A. Separation of aroma compounds from industrial hemp inflorescences (*Cannabis sativa* L.) by supercritical CO_2 extraction and on-line fractionation[J]. Industrial Crops and Products, 2014,58: 99-103.

[8] 杨小金, 王奕, 卢金清. 顶空固相微萃取气质联用分析干姜中挥

发性成分[J]. 亚太传统医药, 2015,11(23): 21-23.

[9] LUO S M, LI Q, CHEN A J, et al. The aroma composition of baby ginger Paocai[J]. Journal of Food Quality, 2017, 2017: 1-9.

[10] 李盼, 吴玲, 冯旭, 等. 固相微萃取技术研究进展[J]. 亚太传统医药, 2016,12(1):52-55.

[11] GARVEY E C, O´SULLIVAN M G, KERRY J P, et al. Optimisation of HS-SPME parameters for the analysis of volatile compounds in baked confectionery products[J]. Food Analytical Methods, 2020,13(6): 1314-1327.

[12] 袁华伟, 尹礼国, 徐洲, 等. SPME/GC-MS 联用分析六种香辛料挥发性成分[J]. 中国调味品, 2018,43(9):151-159.

[13] 王学敬, 李聪, 王玉峰, 等. SPME-GC-MS 法分析德州扒鸡挥发性风味成分的条件优化及成分分析 [J]. 南京农业大学学报, 2016,39(3):495-501.

[14] 朱风涛, 马超, 吴茂玉, 等. 生姜功能成分的提取及其应用[J]. 农产品加工, 2010(1): 67-69.

[15] KIZHAKKAYIL J, SASIKUMAR B. Diversity, characterization and utilization of ginger: a review [J]. Plant Genetic Resources, 2011, 9(3): 464-477.

[16] MANUHARA G J, MENTARI G P, KHASANAH L U, et al. Aqueous extract composition of spent ginger (*Zingiber officinale* var. *amarum*) from essential oil distillation [J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 333: 012069.

[17] 何晓曼, 韭泽悟, 孙琳娟, 等. HS-SPME 结合 GC-MS 分析麻婆豆腐中挥发性风味成分[J]. 食品工业科技, 2017,38(5):297-303.

[18] 王珏. 鲐鱼干制过程中营养和风味物质变化研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2018.

[19] 魏长庆, 周琦, 刘文玉. HS-SPME-GC-MS 分析新疆胡麻油挥发性成分的技术优化[J]. 食品科学, 2017,38(14):151-157.

[20] BARTIKOVA H, HANUSOVA V, SKALOVA L, et al. Antioxidant, pro-oxidant and other biological activities of sesquiterpenes [J]. Current Topics in Medicinal Chemistry, 2014,14(22): 2478-2494.

[21] SHYLAJA M R, PETER K V. Spices in the nutraceutical and health food industry[J]. Acta Horticulturae, 2007(756): 369-378.

[22] 李永菊, 丁玉勇. 天然植物食用香辛料在烹调中的应用[J]. 中国调味品, 2010, 35(12): 113-116.

[23] 陈坚生, 雷登凤, 高合意. 生姜在化妆品中的应用现状 [J]. 香料香精化妆品, 2018(1): 72-75,81.

[24] SIRIPOLTANGMAN N, CHICKOS J. Vapor pressure and vaporization enthalpy studies of the major components of ginger, α-zingiberene, β-sesquiphellandrene and (-) arcurcumene by correlation gas chromatography[J]. The Journal of Chemical Thermodynamics, 2019, 138: 107-115.

加工编辑:冯娜
收稿日期:2020-06-17