

生姜精油的提取及 GC-MS 分析

鹿浩志,刘敏轩,田亚亚,杨 茜,王向红*

(河北农业大学食品科技学院,河北保定 071000)

摘 要:本研究以生姜为原料,以生姜精油得率为评价指标,通过单因素和响应面试验确定了最佳提取条件,最后通过气相色谱质谱联用仪(GC-MS)对提取得到的生姜精油进行分析鉴定。结果表明,粉碎粒径、液料比和蒸馏时间可明显影响生姜精油的得率,水蒸气蒸馏法提取生姜精油的最佳条件为:粉碎粒径 160 目,液料比 19:1 (mL/g),蒸馏时间 118 min,此条件下生姜精油的得率为 $2.09\% \pm 0.01\%$ 。通过 GC-MS 对生姜精油进行分析,共鉴定出 56 种化合物,其中烯类物质 39 种,醇类 10 种,醛类 3 种,酯类 2 种,烷烃类 1 种,酮类 1 种,其主要成分为 α -姜烯、 β -倍半水芹烯、 β -红没药烯、 α -法尼烯、 α -姜黄烯。

关键词:生姜,生姜精油,水蒸气蒸馏,响应面分析,气相色谱质谱联用仪

Extraction and GC-MS Analysis of Ginger Essential Oil

LU Hao-zhi, LIU Min-xuan, TIAN Ya-ya, YANG Xi, WANG Xiang-hong*

(College of Food Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China)

Abstract: In this study ginger was used as the raw material. The optimum extraction conditions of gingers essential oil were obtained via single factor experiments and response surface optimization experiment. Finally, the extracted ginger essential oil was analyzed and identified by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that the size of raw material particle, feed liquid ratio and extraction time could significantly affect the extraction rate of ginger essential oil, the optimum conditions of ginger essential oil were as follows: The materials granularity was 160 mesh, the feed liquid ratio was 19:1 (mL/g), the extraction time was 118 min. The extraction rate of ginger essential oil was $2.09\% \pm 0.01\%$ under the optimum conditions. A total of 56 compounds were identified by GC-MS. Among them, there were 39 kinds of olefinic compounds, 10 kinds of alcohols, 3 kinds of aldehydes, 2 kinds of esters, 1 kinds of alkanes and 1 kind of ketone. The main components of ginger oil were α -zingiberene, β -sesquiphellandrene, β -bisabolene, α -farnesene, α -benzene.

Key words: ginger; ginger essential oil; hydrodistillation; response surface methodology; GC-MS

中图分类号: TS255.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2019)14-0208-07

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.14.033

引文格式: 鹿浩志, 刘敏轩, 田亚亚, 等. 生姜精油的提取及 GC-MS 分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(14): 208-213, 226.

生姜(*Zingiber officinale* Rose), 姜科姜属植物姜的鲜嫩茎, 是多年生草本植物^[1], 盛产于亚洲, 在我国亚热带地区也广泛栽培, 且产量巨大^[2]。生姜是一种药食同源的香辛保健类植物^[3], 具有独特的芳香气味。既可以作为调味品添加到食品中用以改善其风味和感官品质, 又可以作为传统的中药材对人体起到降血脂^[4]、抗炎^[5]、抗肿瘤^[6]、抗氧化^[7]等保健的功效。

生姜的味道和特征香气由非挥发性和挥发性化合物组成^[8]。非挥发性的姜辣素是生姜中辣味物质的总称^[9], 挥发性的生姜精油代表了生姜独特的香气成分^[10]。生姜精油独特的香气使其可作为香辛料添加到食品中起到增香除腥的作用^[11], 其抗氧化、抑菌

等活性使其可作为天然保鲜剂延长食品的货架期^[12], 此外生姜精油丰富的化学成分组成使其具有一定的保健功效, 如抗炎^[13]、活血化痰^[14]等。生姜精油的主要成分包括 α -姜烯、 β -倍半水芹烯和 α -姜黄烯等化合物^[15]。不同的生姜品种会导致生姜精油的主要成分存在差异, 而提取方式的不同也会导致生姜精油主要成分和得率存在差异^[16]。目前生姜精油的主要提取方法有: 水蒸气蒸馏法^[17]、溶剂浸提法^[18]、超临界 CO₂ 萃取法^[19]、压榨法^[20]、分子蒸馏法^[21], 其中超临界 CO₂ 萃取法、溶剂浸提法和压榨法难以将挥发性的生姜精油与非挥发性的姜辣素成分有效分离, 分子蒸馏法成本较高未能大规模使用^[22], 水蒸气蒸馏法具有操作简单、提取成本低的优点, 并

收稿日期: 2018-11-01

作者简介: 鹿浩志(1994-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品化学, E-mail: luhaozhi94@163.com。

* 通讯作者: 王向红(1973-), 博士, 教授, 研究方向: 食品营养与安全, E-mail: wangxianghong73@sina.com。

基金项目: 河北省现代农业产业技术体系蔬菜产业创新团队(HBCT2018030208)。

且提取物质全部为挥发性的生姜精油,不含有非挥发性的姜辣素类化合物。

我国是世界上生姜种植面积和生产总量最大的国家^[23],但我国对生姜的综合利用和深加工程度低,产品仍以新鲜生姜和生姜干制品为主。生姜精油是生姜的主要活性物质之一,因其独特的香气和抗氧化抑菌特性,可广泛应用于食品加工贮藏保鲜^[24]和化妆品工业中^[25],增加生姜的产品附加值。本文采用水蒸气蒸馏法提取生姜精油并通过单因素和响应面试验确定了生姜精油的最佳提取工艺条件,通过GC-MS分析鉴定了生姜精油的化学成分,为增加生姜产品价值提供了实验依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜生姜 产地山东;无水硫酸钠 分析纯,国药集团化学试剂有限公司;甲醇 色谱纯,迈瑞达公司。

GZX-9070MBZ 型电热鼓风干燥箱 上海博讯实业有限公司医疗设备厂;JP-500C 型高速多功能粉碎机 永康市久品工贸有限公司;KDM 型可调控温电热套 山东鄞城华鲁电热仪器有限公司;CP114 型电子天平 奥豪斯仪器有限公司;标准检验筛 浙江上虞市华丰五金仪器有限公司;5977A-5975C 型气相色谱质谱联用仪 美国安捷伦公司。

1.2 实验方法

1.2.1 生姜前处理 选取无病害的新鲜生姜,洗净后分为去皮和不去皮两组,切成 3 mm 左右薄片,在 60 ℃ 电热鼓风干燥箱中烘 6~8 h,及时翻动生姜薄片使其受热烘干均匀,用高速多功能粉碎机将烘干后的生姜薄片粉碎,过标准检验筛,置于干燥器中干燥备用。

1.2.2 生姜精油的提取 采用水蒸气蒸馏法提取生姜精油。精确称取 50 g 姜粉,置于 2000 mL 圆底蒸馏烧瓶中,加入一定量的蒸馏水,连接挥发油提取器与冷凝管,开启电热套开关进行水蒸气蒸馏提取生姜精油,经过一定时间的水蒸气蒸馏提取后关闭电热套,打开挥发油提取器旋塞收集生姜精油,经无水硫酸钠干燥后称重,计算生姜精油得率。

生姜精油得率(%)=(生姜精油质量/生姜粉质量)×100

1.2.3 生姜精油原料选取试验 分别选取粒度均一的姜肉生姜粉和全姜生姜粉,选取粉碎粒径 120 目、液料比 25:1、蒸馏时间 140 min 条件下采用水蒸气蒸馏法提取生姜精油,计算生姜精油得率。

1.2.4 单因素实验设计 生姜精油的各单因素梯度为:在蒸馏时间 140 min、液料比 25:1 条件下,粉碎粒径为 60、90、120、150 和 180 目;在粉碎粒径 150 目和蒸馏时间 140 min 条件下,液料比为 15:1、20:1、25:1、30:1 和 35:1;在粉碎粒径 150 目、液料比 20:1 条件下,蒸馏时间为 20、60、100、140 和 180 min,计算生姜精油得率。

1.2.5 响应面法优化生姜精油提取条件 在单因素实验的结果中选取较好的因素水平,采用 Box-

Behnken 进行 3 因素 3 水平的试验设计,以生姜精油得率为响应值,进行响应面分析。并对试验数据进行多项式回归分析,建立二次回归模型,拟合得到二次回归方程。

表 1 响应面试验设计因素水平编码
Table 1 Design of response surface factors

水平编号	因素		
	A 粉碎粒径 (目)	B 液料比 (mL/g)	C 蒸馏时间 (min)
-1	120	15:1	60
0	150	20:1	100
1	180	25:1	140

1.2.6 GC-MS 分析生姜精油的物质成分 生姜精油前处理:精确称取 10 mg 生姜精油,以甲醇为溶剂定容于 10 mL 容量瓶,过 0.45 μm 有机相微孔滤膜至气相进样瓶中。

GC 条件:HP-INNOWAX 毛细管柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm);载气为 He;流速为 1 μL/min;时间间隔为 1 s;进样量为 1 μL;分流比为 10:1;进样口温度为 250 ℃ 升温程序:起始温度 70 ℃,保持 3 min,以 5 ℃/min 升温速率升至 150 ℃,保持 3 min,以 0.5 ℃/min 升温速率升至 154 ℃,保持 2 min,最后以 25 ℃/min 升温速率升至 240 ℃,保持 4 min。

MS 条件:电喷雾离子源(ESI);电离能为 70 eV;接口温度为 250 ℃;离子源温度为 230 ℃;扫描范围 m/z 45~550。

1.2.7 生姜精油物质成分的定性与定量分析 采用气质联用仪中的 NIST14 谱库,自动检索分析组分的质谱数据,并对全部检索结果参考有关标准图谱和相关文献进行核对和补充,采用色谱峰面积归一化法,计算各组分的相对百分含量。

1.3 数据处理

采用 SPSS 22.0 软件对生姜精油得率进行数据方差分析,Origin 2017 软件作图,Design-Expert 响应面分析软件对生姜精油提取的相关因素做出响应面优化。

2 结果与分析

2.1 水蒸气蒸馏法提取生姜精油原料选取试验结果 姜肉生姜精油和全姜生姜精油的得率如表 2 所示。

表 2 原料选取对生姜精油提取效果的影响
Table 2 Effect of material selection
on ginger essential oil extraction rate

样品处理	生姜精油得率(%)
姜肉生姜粉	1.55
全姜生姜粉	1.69

由表 2 可知,全姜生姜粉的精油得率要大于姜肉生姜粉的精油得率。生姜精油在生姜表皮层组织含量较为丰富,去除表皮层会导致部分生姜精油的损失^[26],因此选取全姜生姜粉做为原料进行后续试验。

2.2 单因素实验结果

2.2.1 粉碎粒径对生姜精油提取效果的影响 由图1可知,随着高速多功能粉碎机对烘干姜片粉碎程度的增大,生姜精油的得率呈现明显上升的趋势。当粉碎粒径达到150目后,生姜精油的得率趋于平缓,说明生姜粉中的挥发性油分已经提取较为完全。通过方差分析得出粉碎粒径为150目与180目生姜粉的生姜精油得率无显著性差异,而随着粉碎程度的增强所得生姜粉出现轻微粘结现象会导致通过标准检验筛的难度增大,并且会增加生姜精油的提取成本,因此选取粉碎粒径150目为较好水平进行后续实验。

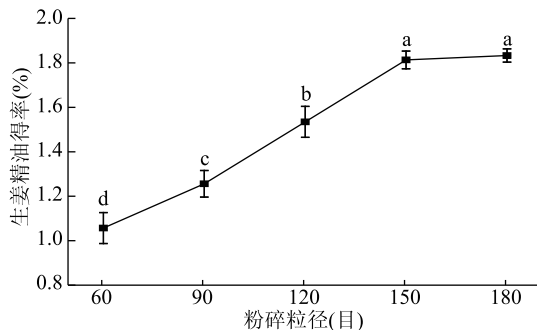


图1 粉碎粒径对生姜精油提取效果的影响

Fig.1 Effect of mesh on ginger essential oil extraction rate

2.2.2 液料比对生姜精油提取效果的影响 由图2可知,随着液料比的逐渐增大,生姜精油的得率呈现先增大后减小的变化趋势,在液料比为20:1时生姜精油得率达到最大值。在生姜中,生姜淀粉的含量占生姜干重的40%~50%^[22],淀粉吸水后体积膨胀数十倍,随着水蒸气蒸馏的温度升高淀粉糊化,使得生姜水溶液变成具有黏性的糊状溶液,因此阻碍了部分生姜精油的挥发。当液料比为20:1时生姜粉与水的比例较为适宜,因此体现出了最高的生姜精油得率。随着液料比的逐渐增大,蒸馏时间会相应增长,生姜精油得率降低,因此选取液料比20:1为较好水平进行后续实验。

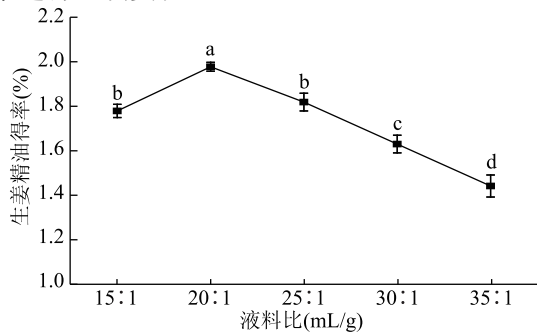


图2 液料比对生姜精油提取效果的影响

Fig.2 Effect of liquid feed ratio

on ginger essential oil extraction rate

2.2.3 蒸馏时间对生姜精油提取效果的影响 由图3可知,随着蒸馏时间对逐渐延长,生姜精油的得率迅速增长并逐渐趋于平缓。在20~100 min,生姜精油得率增长迅速,而超过100 min继续进行水蒸气蒸馏提取,生姜精油得率缓慢增长趋于不变,说明生姜

精油已经提取较为完全。增加蒸馏时间会提高生姜精油的提取成本,因此确定了蒸馏时间100 min为最佳蒸馏时间。

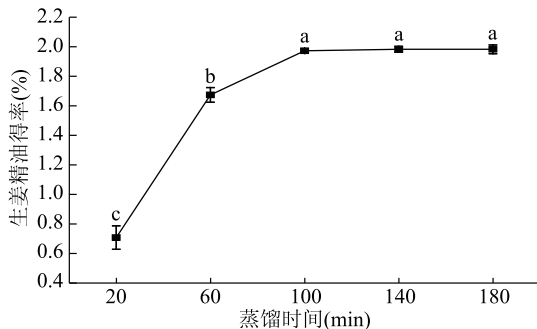


图3 蒸馏时间对生姜精油提取效果的影响

Fig.3 Effect of hydrodistillation time
on ginger essential oil extraction rate

2.3 响应面法优化生姜精油提取条件试验结果

根据单因素实验结果确定粉碎粒径、液料比、蒸馏时间作为优化因素,采用Box-Behnken设计,以生姜精油得率为衡量指标,进行3因素3水平的响应面分析,因素水平如表2所示,试验结果如表3所示。

表3 响应面设计试验结果

Table 3 Experimental results of response surface design

实验号	A	B	C	Y 生姜精油得率(%)
1	0	0	0	1.95
2	0	-1	-1	1.65
3	1	0	1	1.90
4	0	0	0	1.97
5	0	-1	1	1.77
6	0	0	0	1.97
7	-1	0	1	1.53
8	1	0	-1	1.72
9	1	-1	0	1.88
10	0	1	1	1.81
11	0	0	0	1.99
12	0	1	-1	1.45
13	1	1	0	1.60
14	-1	1	0	1.43
15	-1	0	-1	1.39
16	-1	-1	0	1.31
17	0	0	0	1.96

对试验数据进行多项拟合回归,以生姜精油得率(Y)为因变量,粉碎粒径(A),液料比(B)和蒸馏时间(C)3因素为自变量,建立回归方程如下:

$$\text{生姜精油得率} = 1.97 + 0.18A - 0.04B + 0.10C - 0.1AB + 0.01AC + 0.06BC - 0.22A^2 - 0.19B^2 - 0.11C^2$$

由方差分析(表4)可知,该模型 $p < 0.0001$,失拟项 $p > 0.0736$,说明模型可用。决定系数 $R^2 = 99.51\%$,说明该响应值的变化中有99.51%源于所选因素。因素A、B、C、D对响应值影响极显著($p < 0.01$),交互作用AB、BC对响应值有极显著($p <$

表4 模型的显著性检验与方差分析
Table 4 Significance test and analysis of variance of the model

方差来源	自由度	平方和	F 值	p	显著性
模型	9	0.86	156.65	<0.0001	**
A	1	0.26	423.93	<0.0001	**
B	1	0.013	20.93	0.0026	**
C	1	0.080	130.84	<0.0001	**
AB	1	0.040	65.42	<0.0001	**
AC	1	4.000e ⁻⁰⁰⁴	0.65	0.4452	
BC	1	0.014	23.55	0.0018	**
A ²	1	0.21	345.53	<0.0001	**
B ²	1	0.15	245.99	<0.0001	**
C ²	1	0.050	81.82	<0.0001	**
残差	7	4.28 × 10 ⁻³			
失拟项	3	3.40 × 10 ⁻³	5.15	0.0736	
纯误差	4	8.80 × 10 ⁻⁴			
总和	16	0.87			

注：“**”表示极显著, $p < 0.01$ 。

0.01)影响,AC 不显著,A²、B²、C² 有极显著($p < 0.01$)影响。回归方程中一次项的系数和因素粉碎粒径(A)、液料比(B)、蒸馏时间(C)的平方项系数都比较大,说明3个因素对响应值的影响不是一般的线性关系;同时方程中的交互项AB和BC的系数较大,说明A、B之间,B、C之间有一定的交互作用。

通过 Design expert 软件处理回归方程,根据回归分析结果做出相应的响应曲面图如图4~图6。

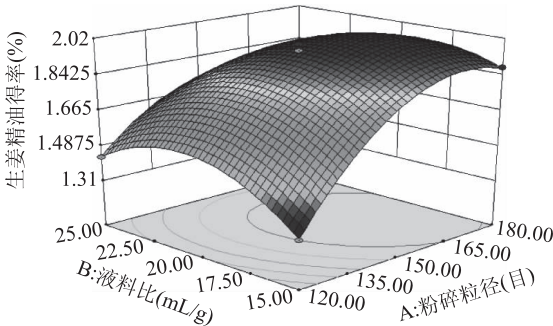


图4 粉碎粒径与液料比对生姜精油得率影响的响应面图
Fig.4 Response surface plot of interaction between mesh and liquid feed ratio on ginger essential oil extraction rate

由图6可以确定,粉碎粒径(A)、液料比(B)和蒸馏时间(C)3因素对生姜精油得率的影响,响应曲面图可以直接反映出各因子对响应值的影响大小。由方差分析结果和响应曲面图可以看出粉碎粒径、液料比和蒸馏时间对生姜精油的提取效果影响较为显著;粉碎粒径和液料比、液料比和蒸馏时间的交互作用对生姜精油得率的影响较为显著。

2.4 最优条件与验证试验

模型预测的最佳生姜精油提取条件为:粉碎粒径163.39目,液料比19.23:1 mL/g,蒸馏时间117.43 min,预测生姜精油的得率为2.03%。考虑到试验的可操作性,选择粉碎粒径160目,液料比19:1 mL/g,蒸馏时间118 min,重复3次试验所得的实际生姜精油得率为2.09% ± 0.01%,与响应面模型预测值相对误差

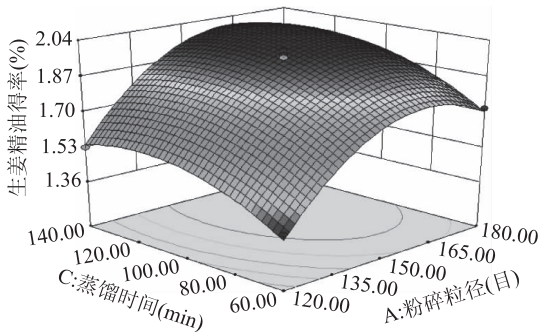


图5 粉碎粒径与蒸馏时间
对生姜精油得率影响的响应面图
Fig.5 Response surface plot of interaction between mesh and hydrodistillation time on ginger essential oil extraction rate

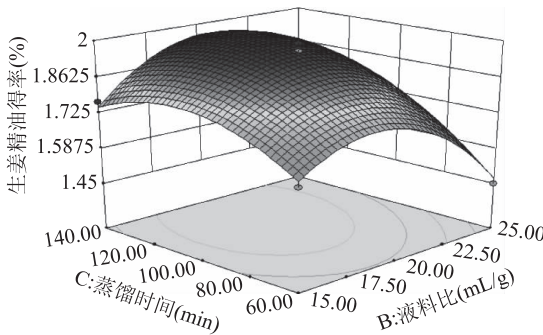


图6 液料比与蒸馏时间对生姜精油得率影响的响应面图
Fig.6 Response surface plot of interaction between liquid feed ratio and hydrodistillation time on ginger essential oil extraction rate

为2.96%,误差较小,在允许范围之内,说明该工艺条件下模型预测值与实际情况拟合较好,预测所得工艺条件可行。

2.5 生姜精油 GC-MS 物质成分分析

生姜精油是主要化学组成成分如表5所示。生姜精油经 GC-MS 分析与 NIST14 谱库进行比对,选取了相似度90%及以上的物质进行了定性,共鉴定

出 56 种化合物。在鉴定出的 56 种化合物种,烯类化合物的含量最高共 39 种,占总峰面积的 88.25%;醇类物质 10 种,占总峰面积的 5.83%;醛类物质 3 种,占总峰面积的 5.13%;烷烃类物质 1 种,占总峰面积的 0.50%;酯类物质 2 种,占总峰面积的 0.21%;酮类物质 1 种,占总峰面积的 0.08%。烯类物质是生姜精油最主要的一类组成成分,含量较高的物质成分为: α -姜烯(34.70%)、 β -倍半水芹烯(12.25%)、 β -红没药烯(7.04%)、 α -法尼烯(7.00%)、 α -姜黄烯

(6.40%),这与 Mesomo 等^[27]的研究较为一致。Brum 等^[28]的研究中生姜精油的主要成分为柠檬醛,其含量占总物质成分的 41.1%,而在本研究中柠檬醛的含量仅为 3.21%,这可能是由生姜的品种、生长环境、成熟度等因素差异所导致。

3 结论

生姜精油是生姜的主要功能性成分之一,采用水蒸气蒸馏提取生姜精油操作简便且成本较低,生姜的姜皮中含有较多的精油成分,生姜去皮后会导

表 5 生姜精油的主要化学成分

Table 5 Main chemical constituents of ginger essential oils

编号	保留时间 (min)	分子量	化学物质	相对含量 (%)	相似度 (%)
1	5.262	136	α -蒎烯	0.75	97
2	5.989	136	蒎烯	2.99	96
3	6.752	136	β -蒎烯	0.13	94
4	7.757	136	β -月桂烯	0.38	97
5	7.907	136	α -水芹烯	0.30	91
6	8.242	136	α -蒎品烯	0.15	97
7	8.681	136	D-柠檬烯(右旋蒎二烯)	0.88	99
8	8.9	154	桉树醇	1.86	94
9	8.941	136	β -侧柏烯	2.69	91
10	9.102	204	蛇麻烯	0.25	90
11	10.483	134	对伞花烃	0.50	97
12	10.777	136	α -异松油烯	0.19	98
13	13.803	150	α -白苏烯	0.05	94
14	15.605	196	乙酸薰衣草酯	0.14	90
15	16.015	204	顺-香柠檬烯	0.36	91
16	16.229	204	α -古巴烯	0.55	99
17	16.991	152	右旋樟脑	0.08	98
18	17.736	204	(1R,5R)-2-甲基-5-((R)-6-甲基庚-5-烯-2-基)双环[3.1.0]己-2-烯	0.27	91
19	18.447	196	乙酸冰片酯	0.07	99
20	18.504	204	反-香柠檬烯	0.13	99
21	19.307	204	α -古芸烯	0.06	97
22	19.862	204	γ -榄香烯	0.25	98
23	19.971	204	γ -依兰油烯	0.18	95
24	20.174	204	香树烯	0.41	99
25	20.266	204	δ -榄香烯	0.49	97
26	20.48	204	(1R,4R,5S)-1,8-二甲基-4-(丙-1-烯-2-基)螺[4.5]癸-7-烯	2.54	93
27	20.849	204	异喇叭烯	0.25	97
28	20.947	204	γ -芹子烯	0.67	94
29	21.063	152	香叶醛	1.36	90
30	21.409	154	α -松油醇	0.69	95
31	21.623	154	2-蒎醇(冰片)	1.32	97
32	21.999	204	右旋大根香叶烯	2.31	97
33	22.206	204	α -姜烯	34.70	93
34	22.385	204	β -红没药烯	7.04	96
35	22.599	152	柠檬醛	3.21	95
36	22.824	204	1-(1,5-二甲基己-4-烯基)-4-甲基环己-1,3-二烯	0.40	98
37	22.98	204	α -法尼烯	7.00	94
38	23.136	204	环倍半水芹烯	0.51	95
39	23.402	154	香茅醛	0.56	91

续表

编号	保留时间 (min)	分子量	化学物质	相对含量 (%)	相似度 (%)
40	23.483	204	δ-杜松烯	0.51	98
41	23.621	204	α-红没药烯	0.12	91
42	23.87	204	β-倍半水芹烯	12.25	96
43	24.026	202	α-姜黄烯	6.40	99
44	26.313	204	环苜蓿烯	0.45	98
45	33.595	222	7-反式倍半香桉烯水合物	0.22	91
46	34.444	222	橙花叔醇	0.37	91
47	34.641	204	γ-古芸烯	0.07	96
48	35.085	222	榄香醇	0.56	91
49	35.449	222	2-((2S,4AR基)-4a,8二甲基甲基-1,2,3, 4,4a,5,6,7-八氢萘-2-基)丙-2-醇	0.20	99
50	35.513	136	3-萆烯	1.08	91
51	35.807	154	异茨醇	0.20	90
52	35.848	222	α-菖蒲醇	0.10	98
53	35.9	222	反式倍半香桉烯水合物	0.08	90
54	36.24	222	β-桉叶醇	0.20	99
55	36.622	204	α-花柏烯	0.20	91
56	36.881	222	α-桉叶醇	0.33	99

致精油成分的损失,相同条件下全姜精油的得率要高于姜肉精油的得率。通过单因素实验、方差显著性分析,响应面 Box-Behnken 试验设计,得到生姜精油提取的最佳工艺为:粉碎粒径 160 目,液料比 19:1 mL/g,蒸馏时间 118 min,在此条件下生姜精油的得率为 2.09% ± 0.01%,生姜精油通过 GC-MS 分析鉴定出 56 种化合物,其主要成分为 α-姜烯(34.70%)、β-倍半水芹烯(12.25%)、β-红没药烯(7.04%)、α-法尼烯(7.00%)、α-姜黄烯(6.40%)。本文为生姜的综合与深加工提供理论基础,有利于生姜精油在食品、药品及化妆品行业的应用。

参考文献

[1] Wang Y, Wei X, Wang F, et al. Structural characterization and antioxidant activity of polysaccharide from ginger[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 111.

[2] 梁娜, 桑亚新, 周妍, 等. HPLC-ESI-Q-TOF-MS/MS 法分析干姜中的姜辣素类化合物[J]. 食品工业科技, 2018, 39(9): 252-256.

[3] 刘军伟, 李啸晨, 侯婴惠, 等. 生姜多酚类物质的提取工艺研究[J]. 中国调味品, 2017, 42(5): 153-156.

[4] 王小飞, 吴国泰, 牛亭惠, 等. 生姜的化学、药理及应用[J]. 中国果菜, 2016, 36(6): 23-26.

[5] Liang N, Sang Y, Liu W, et al. Anti-inflammatory effects of gingerol on lipopolysaccharide-stimulated RAW 264.7 cells by inhibiting NF-κB signaling pathway[J]. Inflammation, 2018(5): 1-11.

[6] 刘鑫, 张宏伟, 傅若秋, 等. 生姜中姜酚类活性成分的抗肿瘤作用及其机制[J]. 第三军医大学学报, 2017, 39(9): 884-890.

[7] Si W, Chen Y P, Zhang J, et al. Antioxidant activities of ginger extract and its constituents toward lipids[J]. Food Chemistry,

2018, 239: 1117.

[8] Krüger S, Bergin A, Morlock G E. Effect-directed analysis of ginger (*Zingiber officinale*) and its food products, and quantification of bioactive compounds via high-performance thin-layer chromatography and mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2018, 243: 258.

[9] 王红芯, 应光耀, 孔维军, 等. 生姜及其炮制品中姜辣素的研究进展[J]. 中南药学, 2017(3): 324-328.

[10] 徐宗季, 鞠兴荣, 袁建, 等. 生姜精油挥发性物质的主成分分析[J]. 粮食与食品工业, 2016, 23(4): 5-10.

[11] 艾静汶, 蒋雨. 天然香辛料活性研究及在食品加工中的应用[J]. 农产品加工, 2015(13): 37-39.

[12] Souza V G L, Pires J R A, Rodrigues P F, et al. Bionanocomposites of chitosan/montmorillonite incorporated with *Rosmarinus officinalis*, essential oil: Development and physical characterization[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2018, 16: 148-156.

[13] Funk J L, Frye J B, Oyarzo J N, et al. Anti-inflammatory effects of the essential oils of ginger (*Zingiber officinale*, Roscoe) in experimental rheumatoid arthritis[J]. Pharmacotherapy, 2016, 4(3): 123-131.

[14] 黄静. 姜精油的制备及活血化痰作用研究[D]. 南宁: 广西医科大学, 2012.

[15] Silva F T D, Cunha K F D, Fonseca L M, et al. Action of ginger essential oil (*Zingiber officinale*) encapsulated in proteins ultrafine fibers on the antimicrobial control in situ[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 118 (Pt A).

[16] 徐宗季, 何海艳, 袁建, 等. 不同提取方式对比分析姜油中的风味物质[J]. 食品工业科技, 2016, 37(21): 304-308.

(下转第 226 页)

影响[J].肉类工业,2017(4):23-27.

[17] Totosaus A, Pérezchabela M L. Textural properties and microstructure of low-fat and sodium-reduced meat batters formulated with gellan gum and dicationic salts[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(2): 563-569.

[18] 康壮丽,李斌,马汉军,等.大豆分离蛋白添加方式对猪肉凝胶特性的影响[J].现代食品科技,2016(6):220-224.

[19] Zhu D Y, Kang Z L, Ma H J, et al. Effect of sodium chloride or sodium bicarbonate in the chicken batters: A physico-chemical and Raman spectroscopy study[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 83: 222-228.

[20] 康壮丽,朱东阳,胡明明,等.乳化棕榈油对猪肉贡丸品质的影响[J].食品与发酵工业,2016(10):112-116.

[21] Kang Z L, Zou Y F, Xu X L, et al. Effect of various amounts of pork and chicken meat on the sensory and physicochemical properties of Chinese-style meatball (Kung-wan) [J]. Food Science & Technology Research, 2014, 19(6): 963-970.

[22] 赵改名,郝红涛,柳艳霞,等.肉糜类制品质地的感官评定方法[J].中国农业大学学报,2010,15(2):100-105.

[23] Ahmad N H, Ahmed J, Hashim D M, et al. Oscillatory and steady shear rheology of gellan/dextran blends[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(5): 2902-2909.

[24] 朱桂兰,童群义.结冷胶-羧甲基纤维素复配胶性能的研究[J].食品科学,2014,35(19):115-118.

[25] Felisberto M H F, Picone C S F, Cunha R L. Effect of prebiotic ingredients on the rheological properties and microstructure of reduced-sodium and low-fat meat emulsions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(1): 148-155.

[26] 朱东阳,康壮丽,何鸿举,等.猪血浆蛋白乳化棕榈油对猪肉糜凝胶特性的影响[J].食品科学,2018(5):71-75.

[27] Zhuang X, Jiang X, Han M, et al. Influence of sugarcane dietary fiber on water states and microstructure of myofibrillar protein gels[J]. Food Hydrocolloids, 2016: 253-261.

[28] Xu X J, Fang S, Li Y H, et al. Effects of low acyl and high

acyl gellan gum on the thermal stability of purple sweet potato anthocyanins in the presence of ascorbic acid [J]. Food Hydrocolloids, 2018.

[29] 王春彦,康壮丽,马汉军,等.不同食盐添加量和蒸煮温度对猪肉糜品质的影响[J].食品与发酵工业,2018(3).

[30] Youssef M K, Barbur S. Effects of two types of soy protein isolates, native and preheated whey protein isolates on emulsified meat batters prepared at different protein levels[J]. Meat Science, 2011, 87: 54-60.

[31] 李艳青,孔保华,夏秀芳.鱼糜凝胶形成机理及提高鱼糜凝胶特性的添加物研究新进展[J].食品科技,2012(7):140-144.

[32] Egelanddal B, Martinsen B, Autio K. Rheological parameters as predictors of protein functionality: A model study using myofibrils of different fibre-type composition[J]. Meat Science, 1995, 39(1): 0-111.

[33] Francisco Jiménez Colmenero, Barreto G, Mota N, et al. Influence of protein and fat content and cooking temperature on texture and sensory evaluation of bologna sausage[J]. LWT-Food Science and Technology, 1995, 28(5): 0-487.

[34] Wu M, Xiong Y L, Chen J. Role of disulphide linkages between protein-coated lipid droplets and the protein matrix in the rheological properties of porcine myofibrillar protein-peanut oil emulsion composite gels [J]. Meat Science, 2011, 88: 384-390.

[35] Xiong Y L. Myofibrillar protein from different muscle fiber types: implications of biochemical and functional properties in meat processing [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1994, 34, 293-320.

[36] Tobin B D, O'Sullivan M G, Hamill R M, et al. Effect of varying salt and fat levels on the sensory and physiochemical quality of frankfurters[J]. Meat Science, 2012, 92(4): 659-666.

[37] 康壮丽. 斩拌和打浆工艺对猪肉肉糜凝胶特性影响及作用机理[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.

(上接第213页)

[17] 姚依茜,周丽婷,朱红薇,等.索氏提取法和水蒸气蒸馏法提取新丰生姜精油的比较研究[J].嘉兴学院学报,2013,25(6):80-84.

[18] 陈淑娟.正交优化生姜油提取工艺及其GC-MS成分分析[J].食品研究与开发,2018(11).

[19] 李晓乐.姜精油的纯化与抗炎活性研究[D].合肥:合肥工业大学,2016.

[20] 王忠宾.姜油提取方法及工艺参数研究[D].泰安:山东农业大学,2012.

[21] 彭晓敏.分子蒸馏纯化姜精油工艺的响应面法优化研究[J].化工设计通讯,2017,43(2):78-78.

[22] 王强伟.姜有效成分的联合提取工艺及其饮料的开发[D].无锡:江南大学,2015.

[23] 赵文竹,张瑞雪,于志鹏,等.生姜的化学成分及生物活性研究进展[J].食品工业科技,2016,37(11):383-389.

[24] 尹琬婷,卢旭.食品贮藏保鲜中生姜提取物的实际应用[J].食品安全导刊,2017(24):103.

[25] 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.

[26] 兰景尧,薛文通.姜精油抑菌作用的研究进展[J].食品工业科技,2016,37(19):387-390.

[27] Mesomo M C, Corazza M L, Ndiaye P M, et al. Supercritical CO₂, extracts and essential oil of ginger (*Zingiber officinale* R.): Chemical composition and antibacterial activity [J]. Journal of Supercritical Fluids, 2013, 80(30): 44-49.

[28] Brum A, Pereira S A, Owatari M S, et al. Effect of dietary essential oils of clove basil and ginger on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) following challenge with *Streptococcus agalactiae* [J]. Aquaculture, 2017, 468: 235-243.

《食品工业科技》愿为企业铺路、搭桥!