

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.04.022

生姜中姜辣素的功能性及其应用研究进展

孙璐¹, 赵晓燕¹, 朱运平², 张晓伟¹, 刘红开¹, 朱海涛¹

(1. 济南大学 烹饪学院 食品科学与营养系, 山东济南 250022;

2. 北京工商大学 食品与健康学院, 北京 100048)

摘要: 姜辣素作为生姜的有效成分之一, 是生姜中辣味物质的总称, 对生姜的药用功效起着重要作用。通过介绍姜辣素的化学结构及组成, 并根据姜辣素组成成分含量的差异, 比较姜辣素不同提取工艺和组分分离方法的优缺点, 提出姜辣素在测定方法上面临的主要问题; 阐述国内外有关姜辣素在抗肿瘤、抗氧化、抗炎及抗血脂方面的研究进展, 讨论其功能性作用机制, 并根据其功能性特点展望在食品、医药保健、化妆品方面的应用前景。

关键词: 姜辣素; 分离提取; 功能性; 应用

中图分类号: TS202 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)04-0138-07

Research progress on the function and application of gingerol

SUN Lu¹, ZHAO Xiao-yan¹, ZHU Yun-ping², ZHANG Xiao-wei¹, LIU Hong-kai¹, ZHU Hai-tao¹

(1. Department of Food Science and Nutrition, Culinary School, University of Jinan, Jinan, Shandong 250022, China; 2. School of Food and Health, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: Gingerol is one of the bioactive ingredients in ginger, which plays an important role in the medicinal efficacy of ginger. In this study, the chemical structure and composition of gingerol were introduced, and the advantages and disadvantages of different extraction technology and separation methods of components were compared according to the difference of gingerol compounds. In addition, the main problem of determining gingerol method was put forward. The research progress of gingerol functions and mechanisms including anti-tumor, antioxidant, anti-inflammatory and anti lipid of gingerol in the domestic and foreign were introduced. According to its functional characteristics, the application prospects of gingerols in food, medicine, health care and cosmetics were finally prospected.

Key words: gingerol extract; separation; functional; application

生姜在我国南方地区和部分北方地区种植面积较大^[1], 因种植地区的不同, 且土壤以及温度等方面有所差异, 使生姜的品种多样且大小不

同^[2]。根据古方记载不同品种的生姜加工后, 所发挥的主要功效也不同。例如, 南方地区所产的小姜, 利用其纤维少的特点腌制成咸菜, 具有健脾开胃、解表驱寒的功效; 秋后收获的老姜可与红糖制作成姜糖水, 具有补气血、暖宫的功效; 北方地区所产的生姜, 因为纤维多、体格大, 所以切片烘干制成干姜, 具有温肺止咳、回阳通脉的功效, 或者制成炮姜有止痛驱寒、温煦经络的

收稿日期: 2020-02-14

基金项目: 山东省重点研发计划(2019QYTPY058); 国家自然科学基金(21406133)

作者简介: 孙璐, 女, 1997 年出生, 在读研究生, 研究方向为营养与生物资源利用。

通讯作者: 赵晓燕, 女, 1975 年出生, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为食品理论与加工应用及生物粉体技术研究。

功效。据此得出, 生姜在古代有较高的医药、食用价值, 而广泛种植带来较好的经济效益, 一定程度上促进农业经济的发展。

现代研究发现, 生姜的根茎中含有丰富的营养物质, 由一百多种化学组分构成, 而姜辣素作为生姜中含量较多的成分之一, 具有抗肿瘤、抗氧化、抗炎及抗血脂的药理作用, 其功能性加以利用可以广泛应用于食材保鲜、护肤品消炎祛痘、提高药物疗效。综上所述, 姜辣素与生姜的药效、食用价值都有密不可分的关系, 具有较高的研究价值。

1 姜辣素的概述

1.1 姜辣素的结构和种类

人们研究姜辣素的组成物质已有 140 多年的历史。1879 年姜中的辣味物质首次被 Thresh 分离出来, 命名为姜酚, 随后 Lapworth 与 Wykes 在实验中将姜酚水解成姜酮, 确定了姜酚的结构, 1917—1918 年 Nomuea 确定了生姜中姜酮的化学结构并且从生姜中分离出姜烯酚, 经过十年研究, Nomuea 与 Tsurami 合成了姜烯酚并且在实验研究中验证得到姜烯酚的化学结构式, 1969 年 Connell 和 Sutherland 得出姜酚是类似化合物 4-姜酚、6-姜酚、8-姜酚、10-姜酚、12-姜酚组成的, 其中 6-姜酚为主要活性成分^[3-4]。

经过一系列的研究, 得出姜辣素是由多种物质构成的混合物, 决定生姜的辣度和风味, 其结构复杂但都含有 3-甲氧基-4-羟基苯基官能团^[5],

根据其官能团连接的烃链不同, 可分为姜酚类、姜烯酚类、姜酮、姜二酮类和姜二醇类等不同类型 (如图 1)。

1.2 姜辣素的分离提取方法

1.2.1 姜辣素的提取方法

生姜中姜辣素常用的提取方法包括压榨法、有机溶剂提取法、分子蒸馏法、酶解法、超声波提取法、微波辅助提取法、超临界 CO₂ 萃取法等。由表 1 可以看出, 各提取方法的提取原理和优缺点比较。

压榨法得到的是姜辣素粗提液, 需要进一步工艺纯化分离, 有机溶剂浸提法是各个提取方法的基础且工艺最为成熟, 目前采用 C₂H₆O、CH₃OH、C₄H₁₀O、CH₃COCH₃ 等极性较大的溶剂, 其中 C₂H₆O 浓度为 72%、浸提温度 54 °C、料液比 0.017 g/mL 姜辣素得率高达 0.94%^[7]。采用甲醇溶液浸提姜辣素, 总提取率为 0.595%±0.031%, 而采用微波辅助法与甲醇浸提相结合的总提取率为 0.716%±0.051%, 得率为 0.673%±0.043%, 相比较得出离子液体-微波辅助法 (ILMAE) 缩短了 30 min 的时间来从生姜中提取生姜醇, 并且提高了得率^[8]。

频率的大小显著影响超声波辅助提取法的提取率, 经过研究对比后得出高频 (800 kHz) 声表面波的浓度和回收率是低频 (28 kHz) 声表面波的 2.69 倍^[9], 最佳提取工艺条件为超声功率 231 W、

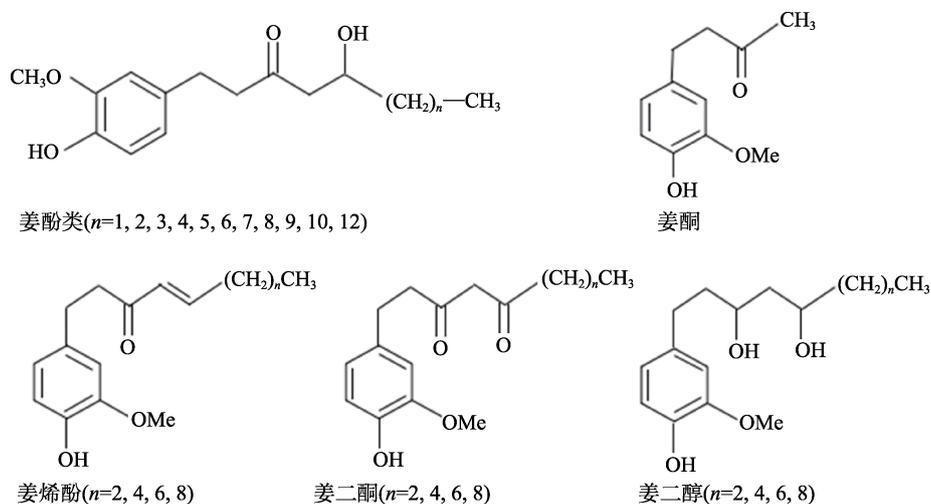


图 1 姜辣素组分化学结构式

表 1 姜辣素提取方法

提取方法	提取原理	优点	缺点
压榨法 ^[6]	直接通过机械压榨力得到生姜粗提液,采用沉淀分离的方法得到少量的姜辣素	操作简单,时间短	提取率较低且杂质较多
有机溶剂提取法 ^[7]	将原材料粉末浸泡在有机溶剂中,所需提取物逐渐融入溶剂中,经过过滤减压等工艺得到	得率较高,操作简单,易回收,成本低	杂质较多,用量大,废液污染环境
微波辅助提取 ^[8]	利用高频电磁波快速穿透细胞里外,使温度升高导致细胞破裂,有效成分流出并溶解于溶剂中	加快萃取时间,减少溶剂使用,加热迅速	存在安全性问题
超声波辅助提取法 ^[9-10]	利用机械效应、热效应和空化作用等,促进分子运动,使有效成分从细胞内快速释放、扩散和溶解	提取时间短、效率高、温度低,适应性广	噪音较大,成本较高
酶解法 ^[11]	采用纤维素酶和半纤维素梅破坏生姜细胞壁中的纤维素,使生姜中的有效成分快速溶出	无毒、无溶剂残留、保护环境	酶解时间长、成本高
超临界 CO ₂ 萃取法 ^[13]	通过调整温度和压力影响超临界流体溶解能力,达到分离纯化的目的 ^[3]	无溶剂残留,纯度高,操作工艺简单,安全性高。	分离回收夹带剂困难

15 min、80 °C、物料粉碎度 60~80 目、料液比 0.04 g/mL,在此条件下姜辣素的含量达到 6.896%^[10]。酶解法辅助提取姜辣素得率(6.2%~6.3%)高于普通溶剂提取得率(5.5%),并且多酚经纤维素酶预处理后的生姜乙醇提取物含量最高(37.5 mg/g),该方法使多酚类的提取率显著提高^[11-12]。

水蒸汽蒸馏法和乙醇渗漉提取法的提取率较低于超临界 CO₂ 萃取法^[13],最佳操作参数为:CO₂ 流速 31 L/h、压力 25 MPa、42 °C,在此条件下姜辣素的提取率可达到 1.85%^[14]。采用超临界 CO₂ 萃取法与乙醇水溶液结合进行连续液-液萃取^[15],不仅有效去除姜油树脂中杂质,而且缩短分离纯化时间,得到姜辣素和 6-姜酚含量均高的液体姜辣素,为姜辣素提取提供一种有效的新工

艺路线。

1.2.2 姜辣素的分离方法

姜辣素的组分复杂且极性不同,由于地理环境和气候温差等因素造成姜辣素各组分的含量不同,可根据这些特点采用不同的分离方法(如表 2)。选用适合得分离方法提取不同组分,例如采用分子蒸馏法将姜辣素与萜类组分进行分离纯化,测定得出姜酚的纯度为 86.31%^[5]。含有姜烯酚类较多的姜辣素选用非极性大孔吸附树脂吸附效果较好,测定得出姜辣素的纯度为 56.4%^[16],而酚类物质属于弱极性,选用柱层析最先洗脱分离出来^[3],姜辣素的纯度可以达到 53.6%^[17]。在工业化生产中,大孔吸附树脂和干柱层析使用较多,高速逆流色谱和高效液相色谱适用于实验室研究。

表 2 姜辣素分离方法

分离方法	原理	优点	缺点
大孔吸附树脂 ^[16]	根据被吸附分子的分子量大小以及它们之间的范德华引力,通过它巨大的比表面进行物理吸附达到分离的目的。	热稳定性好,不溶于酸、碱及有机溶剂,不受无机盐类影响,在水与非水溶液中都能使用。	树脂残留物、裂解物残留、容易造成有效成分丢失的情况。
干柱层析 ^[17]	利用固相对液相中,各组分吸附能力不同,以不同的速度向下迁移,形成若干色带,分别收集。	设备简单,消耗溶剂少,缩短时间。	样品容量比湿装柱小、消耗填充剂量大。
分子蒸馏法 ^[5]	加热液体混合物后,利用不同组分蒸发速度差,进行分离纯化。	受热时间短,脱溶效果好,温度低。	设备成本高,局限于实验室提取。
高速逆流色谱 ^[18]	利用两相溶剂体系在高速旋转的螺旋管内建立起一种特殊的单向性流体动力学平衡,按照分配系数大小依次分离。	样品无需太多前处理,不存在样品的不可逆吸附,回收率高,应用范围广,适应性好。	仪器庞大复杂、易碎、溶剂体系容易乳化、溶剂耗量大,分离时间长。
高效液相色谱 ^[19]	采用高压输液系统,流动相为不同极性单一溶剂或不同比例的混合溶剂、缓冲液,泵入装有固定相的色谱柱,样品分离后进入检测器进行检测,从而实现试样分析。	高压、高速、高灵敏度、适用范围广、柱子可反复使用、容易回收。	存在“柱外效应”谱峰加宽、柱效率降低、流动相消耗大且有有毒性的较多、日常维护费用较高。

1.3 姜辣素的检测方法

姜辣素的组分通常选用薄层色谱法 (TLC)、高效液相色谱法 (HPLC)、气相色谱 (GC) 以及气相色谱-质谱联用法 (GC-MS) 分析等方法进行测定^[20], 其中姜辣素的组分中以姜酚为主, 因此以姜酚的含量来预估姜辣素的纯度, 但是姜酚受热不稳定, 易氧化, 易发生逆羟醛缩合降解, 在贮存、加工以及测定的过程中, 姜酚可脱水转化为姜烯酚, 上述测定方法缺乏标准对照品, 这一定程度上增加了检测难度。在张文焕的实验中^[21], 采用超高效液相色谱, 串联质谱 (UHPLC-MS/MS) 定性定量的分析方法, 并对该方法进行了优化, 有效检测出 6-姜酚、8-姜酚、10-姜酚、6-姜烯酚、8-姜烯酚、10-姜烯酚等重要组分的含量, 建议以此方法作为姜辣素纯度的判定, 可减少误差值提高检测的准确性。国外学者认为姜酚类与姜烯酚类在一定条件下可转换^[22], 为进一步探究其变化提供新的研究思路。

2 姜辣素的功能及作用机制

2.1 抗肿瘤

姜辣素具有细胞毒性, 且通过诱导癌细胞凋亡从而抑制了癌细胞的生长, 在抑制乳腺癌、结肠癌、宫颈癌和肺癌^[23-26]方面有显著效果, 其中姜辣素中的 10-姜酚和 8-姜酚抑制三阴性乳腺癌的效果高于 6-姜酚^[23], 而 6-姜酚作为细胞外调节蛋白激酶 (ERK1/2) 或 c-Jun 氨基末端裂原活化蛋白激酶 (JNKMAP) 的抑制剂, 通过下调佛波酯 (PMA) 诱导引起的 ERK1/2 磷酸化, 以及 JNK MAP 激酶和激活蛋白 1 (AP-1) 转录因子的活化作用, 从而抑制癌细胞的增殖, 6-姜烯酚通过上调 E6 靶蛋白 1 (E6TP1) 和下调甘丙肽及甘丙肽受体 2m RNA 的表达, 有效抑制宫颈癌神经周浸润 (PNI) 的发生。此外, 在姚静静等^[26]的实验中证明, 6-姜辣素对信号通路有调节作用, 能够将 M2 巨噬细胞重编程为 M1 巨噬细胞, 抑制肿瘤的生长和转移, 从而防治肺癌。在李利萍的实验中^[27]进一步证实, 通过调节蛋白表达水平从而引起黑色素瘤细胞内质网应激的发生, 其分子机

制可能是激活肌醇激酶 1/c-Jun 氨基末端激酶 (IRE1/JNK) 内质网应激信号通路。综上所述表明姜辣素是通过调整多种基因蛋白, 从而抑制癌细胞生长达到抗癌效果, 可将其作为预防癌症疾病的有效成分。由于姜辣素良好的止呕作用, 可进一步与抗癌药物联合使用, 提高药物疗效、减少化疗所产生的不良反应和降低药物毒性。

2.2 抗氧化

人体所产生的自由基是导致疾病、衰老的主要原因, 抗氧化物质可以有效减少或者清除部分自由基, 除自身合成抗氧化物质, 还可以从食物中获取, 而生姜中的辣味成分提取物具有 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH) 自由基清除作用和超氧阴离子清除作用, 其中姜辣素的清除效果较好。经研究发现, 6-姜酚可减少棒曲霉素 (PAT) 引起人肝癌细胞 (Hep G2) 内活性氧 (ROS) 水平的升高以及减少 8-羟基脱氧鸟苷的生成, 同时升高谷胱甘肽的含量, 从而证明 6-姜酚具有抗氧化作用^[28]。姜辣素的抗氧化性与侧链结构、反应介质和底物有关^[29], 从链长 6 个碳延长到 12 个碳, 显著降低 DNA 链的断裂, 增强其抗溶血活性, 因此得出 10-姜酚的抗氧化性较强。姜辣素中的姜酚粗提物可显著增加离体血清和肝匀浆超氧化物歧化酶 (SOD) 活力, 可明显减少体血清中丙二醛 (MDA) 脂质过氧化物含量, 从而提高机体总抗氧化活性。这种抗氧化作用在保护肝损伤及防治脑缺血灌注损伤等方面呈现积极意义, 可适当添加到保健药品中, 提高预防疾病的同时也改善保健药品的风味。

2.3 抗炎

生姜广泛用于治疗妊娠引发的恶心、胃痛、腹泻、牙痛、牙龈炎、关节炎和哮喘呼吸系统疾病。许多实验室研究生姜与炎症之间关系, 发现生姜通过环氧合酶和脂氧合酶两个途径抑制花生四烯酸 (ARA) 的代谢, 从而抑制在炎症部位合成和分泌的细胞因子与趋化因子基因的诱导, 而姜的大部分活性都被归因于 6-姜酚, 通过实验证明具有抗氧化活性, 促进血管生成, 调节蛋白激

酶磷酸水平以及抑制巨噬细胞促炎性细胞因子的产生^[30],从而发挥抗炎的作用。在 Ahui^[31]的实验中,表面纯化的 6-姜酚部分单独使用与总提取物具有相同的抗炎活性,在李冰^[32]进一步的实验中,在给药后的细胞中肿瘤坏死因子(TNF- α)、白细胞介素-6(IL-6)炎症因子减少,环磷酸腺苷(cAMP)显著增加,其抗炎机制可能是通过抑制磷酸二酯酶 4(PDE4)蛋白表达,从而抑制 cAMP 水解,从而产生抗炎作用。可按照上述方法进一步探究姜辣素中其余组分的抗炎性以及探究其分子机制的变化规律。

2.4 降血脂

近年来,随着生活水平提高,高血脂和非酒精性脂肪肝的患者呈逐年递增趋势,除药物控制研究外,从食材中提取有效成分降低血脂也是研究的热点,生姜是疏肝利胆的中药,可促进胆固醇代谢,具有降血脂的作用。姜辣素作为生姜的主要活性成分,在降血脂方面有较高的生物活性,能明显改善成年啮齿动物的脂质代谢异常。通过建立非酒精性脂肪性肝病(NAFLD)模型^[33],选用自然衰老的大鼠,发现姜辣素降血脂的分子机制是通过增加脂肪酸 β -氧化从而减少脂肪生成,升高过氧化物酶体增殖剂激活受体(PPAR α)及其下游靶基因肉碱棕榈酰转移酶(CPT1 α)的表达,抑制二酰基甘油酰基转移酶(DGAT-2)表达,减少甘油三酯(TG)合成,改善肝脏脂质沉积从而治疗老年性脂肪肝^[34]。采用不同浓度的姜辣素治疗饮食肥胖的大鼠 30 d,发现大鼠体内葡萄糖水平、胰岛素、脂肪酶血浆、瘦素、体质量和组织脂质显著降低,这些下降程度与姜辣素的浓度成正比^[35]。通过上述研究表明,姜辣素可作为新型辅助治疗高血脂以及肥胖疾病的有效成分,进一步提高天然提取物在治疗疾病方面的应用。

3 姜辣素的应用

3.1 在食品中的应用

生姜自古以来就在人们生活中发挥不可缺少的作用,可作为食材、调味品以及药材。经过现代研究表明,姜辣素具有良好的抑菌特性和抗氧

化性,在食品加工中应用前景广泛,例如芒果糖片的加工中加入姜辣素后^[36],减少芒果片的糖和水分的损失,多步优化后减少芒果中存在的天然生物活性化合物的损失,提高整体感官分数且颜色差异较小,使芒果糖片的营养和功能品质得到大幅度改善。在果蔬饮料加工中加入姜辣素,充分发挥其良好功能特性,改善果蔬汁存放时间较短的缺点,延长饮料的货架存放期,同时减少人工防腐保鲜剂的加入。除此之外可以将提取出的姜辣素直接放入馅料中,作为调味料均匀入味,放入鱼类等海鲜食品中可增加去腥效果,并有效避免在食用过程中姜粗颗粒的存在影响口感,可以有效的减少脂质氧化,从而延长鱼片的储存期^[37]。在腌制肉制品中,不仅可以清除含有的亚硝酸盐,还可以有效保持肉糜亮度^[38]。

3.2 在医药保健中的应用

生姜在《太平圣惠方》《神农本草经》《伤寒杂病论》中均有记载,食疗处方单广为流传,可见其药理作用效果显著^[39],而姜辣素作为生姜中主要活性物质之一,具有抗癌、抗炎和抗血脂等特性,利用这些特性可提高治疗癌症药物的疗效,有效抑制肿瘤细胞活性,降低癌症的发病率。通过建立 2,2-偶氮二(2-甲基丙基咪)二盐酸盐(AAPH)脂质体诱导的呕吐模型,姜辣素中的姜酚类物质有效改善消化道疾病引起的呕吐,抑制率可高达 85%左右^[18],同时也可缓解化疗患者恶性肿瘤引起的呕吐现象,可作为止吐的新型药物。在防治鱼类的多丝虫病中,姜辣素可替代药剂,10-姜辣素浓度为 4 mg/L 时可保护健康鱼类不受多丝状体寄生虫感染,浓度为 2 mg/L 的 10-姜辣素显著降低草鱼的感染率和平均感染强度,提高草鱼的成活率^[40]。

3.3 在化妆品中的应用

姜辣素常与生姜中的其他成分应用于化妆品领域,在洗发水中,添加富含姜辣素的姜汁可有效清除头皮中的污垢和抑菌头皮细菌生长,具有良好的稳固发根和防止脱发的效果^[41-43]。在护肤品中,姜辣素不仅起到抗皮肤氧化的作用,还可

以有效清除面部肌肤的油脂和抑制细菌生长,减少了油豆的出现,含有姜辣素的面膜,可以起到消炎祛痘和镇定肌肤的作用。

4 姜辣素应用存在的问题

姜辣素以特有的风味以及疗效应用于各领域中,深受消费者喜爱,具有广阔的应用前景,但在加工成品应用中还存在一些问题。在食品领域中,因姜辣素所含有的酚类物质化学性质极不稳定,所以在果蔬饮料加工中易与淀粉、蛋白质等生物大分子结合产生沉淀,造成饮料澄清效果差,进而降低产品品质,可考虑添加适当澄清方法改善这一问题。在医药品领域中,由于生姜产地不同,导致姜辣素的组分含量不一样,大量提取导致生姜原材料不必要的浪费,可根据相应疗效效果需求,选择组分含量较高的生姜原料提取。在化妆品行业中,因姜辣素具有一定的刺激性且不同人群肌肤的角质层不同,所以最佳添加量根据不同肤质可做进一步的研究。

5 结论展望

姜辣素作为生姜中的重要组成成分,由于其较好的医药疗效和保健功能,在生活中越来越受人们的青睐,其研究及应用将显现巨大的潜在价值。目前姜辣素的提取方法较多,可根据姜辣素的具体应用,趋利避害的选择合适的提取方法,但是在生产加工中还面临很多有待解决的问题。如姜辣素的组成部分较为复杂,增加了分离的难度,而在分离过程中,有机溶剂的残留需多次处理,一定程度上破坏了姜辣素并且增加生产成本。由于酚类物质的不稳定性,姜辣素测定存在差异且缺乏标准对照组,阻碍研究进展。改进上述问题,优化提取分离方案,有助于姜辣素扩大在食品、医药、化妆品的应用。其次姜辣素的抗氧化、抗癌、抗炎和抗血脂等功能性效果显著,但目前其作用机理尚未完全明确,我们需要进一步探索姜辣素与相关疾病之间的分子机制,证明姜辣素在治疗和预防疾病的作用机理,为今后姜辣素作为辅助药物治疗疾病奠定基础,为预防某些相关疾病提供理论依据。

参考文献:

- [1] 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, 15(3): 324-328.
- [2] 何蕊, 刘鹤, 翟俊民, 等. 不同产地干姜中 6-姜辣素含量的考察[J]. 中国地方病防治杂志, 2018, 33(6): 647-648.
- [3] 姜艳艳. 鲜姜中姜辣素的提取及姜渣的综合利用[D]. 山东农业大学, 2013.
- [4] 王耀霞. 姜辣素止呕作用及机制研究[D]. 青岛大学, 2009.
- [5] 项敏. 生姜中姜辣素的提取与分离工艺研究[D]. 武汉工程大学, 2015.
- [6] 张青, 李静, 刘佳, 等. 生姜挥发油研究进展[J]. 中国调味品, 2019, 44(1): 186-190.
- [7] 廖钦洪, 姜玉松, 李会合, 等. 乙醇提取生姜姜辣素的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2017, 38(21): 162-166+173.
- [8] GUO J B, FAN Y, ZHANG W J, et al. Extraction of gingerols and shogaols from ginger (*Zingiberofficinale Roscoe*) through microwave technique using ionic liquids[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2017, (62): 35-42.
- [9] SYARIPAH Z S J, NOOR A M, YOSHIO I, et al. Effects of processing parameters in the sonic assisted water extraction (SAWE) of 6-gingerol[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2017, (38): 62-74.
- [10] 李萍, 舒展, 胡鑫垚, 等. 姜辣素的超声波法提取及其抑菌活性研究[J]. 中国调味品, 2017, 42(10): 160-164+175.
- [11] 孙昕. 生姜提取物抗氧化及清除亚硝酸盐的活性研究[D]. 浙江大学, 2018.
- [12] NAGENDRA K L, MANASA D, SRINIVAS P, et al. Enzyme-assisted extraction of bioactive compounds from ginger (*Zingiberofficinale Roscoe*)[J]. Food Chemistry, 2013, 139(1-4): 509-514.
- [13] 陈艳, 周冬翠, 张梅. 三种方法提取生姜有效部位群并测定 6-姜辣素含量[J]. 中国药师, 2014, 17(7): 1099-1102.
- [14] 刘杰. 超临界流体萃取工艺的响应面优化分析与模拟[D]. 大连理工大学, 2013.
- [15] 凌琳, 李英奇, 戴世杰, 等. 连续液-液萃取法制备高含量液体姜辣素[J]. 精细化工中间体, 2019, 49(3): 16-20.
- [16] 朱茂田. 生姜功能因子的分离和纯化[D]. 西华大学, 2006.
- [17] 骆海林. 生姜功效成分的提取分离及组分研究[D]. 安徽农业大学, 2010.
- [18] 战琨友. 姜油的化学成分分析与姜辣素的分离纯化研究[D]. 山东农业大学, 2009.
- [19] 张芳. 铜陵白姜姜酚的制备、抗癌活性及机理[D]. 合肥工业大学, 2017.
- [20] 刘丹, 张程慧, 安容慧, 等. 生姜主要生物活性成分提取及应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(20): 391-395+400.

- [21] 张文焕. 生姜质量安全标准比对分析及特征成分差异研究[D]. 中国农业科学院, 2019.
- [22] WOHLMUTH H, LEACH D N, SMITH M K, et al. Gingerol content of diploid and tetraploid clones of ginger (*Zingiberofficinale Roscoe*)[J]. Journal of agricultural & food chemistry, 2005, 53(14): 5772-5778.
- [23] 于杰滨, 邵明举. 6-姜辣素对人乳腺癌细胞增殖、凋亡的影响及机制[J]. 中国老年学杂志, 2019, 39(16): 4072-4075.
- [24] EI-NAGGAR M H, AMIRA M, ABDEL B F M, et al. Synthesis, docking, cytotoxicity, and LTA4H inhibitory activity of new gingerol derivatives as potential colorectal cancer therapy[J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 2017, 25(3): (1277-1285).
- [25] BERNARD M J R, HOSKIN D W.[10]-Gingerol, a major phenolic constituent of ginger root, induces cell cycle arrest and apoptosis in triple-negative breast cancer cells[J]. Experimental and Molecular Pathology, 2017, 102(2): 370-376.
- [26] 姚静静. 6-姜辣素调控巨噬细胞防治肺癌的作用机制研究[D]. 河南大学, 2019.
- [27] 李利萍, 赖劲东, 黄艳, 等. 6-姜辣素对黑色素瘤细胞增殖和凋亡的影响及机制研究[J]. 中国现代医学杂志, 2019, 29(5): 17-22.
- [28] 杨光. 6-姜酚生物学作用的细胞与分子机制研究[D]. 大连医科大学, 2011.
- [29] LU D L, LI X, DAI F, et al. Influence of side chain structure changes on antioxidant potency of the [6]-gingerol related compounds[J]. Food Chemistry, 2014, 165: 191-197.
- [30] WILLIAMS S, RICHARDS P J, THOMAS E, et al. Interferon-protects against the development structural damage in experimental arthritis by regulating polymorphonuclear neutrophil influx into diseased joints[J]. Arthritis & Rheumatism, 2007, 56: (7).
- [31] 李冰. 生姜挥发油成分分析及其主要活性成分 6-姜酚的抗炎机制初步探究[D]. 中国医科大学, 2019.
- [32] AHUI M L B, CHAMPY P, RAMADAN A, et al. Ginger prevents Th2-mediated immune responses in a mouse model of airway inflammation[J]. International Immunopharmacology, 2008, 8(12): 1626-1632.
- [33] HERAS N L, VALERO-MUNOZ M, MARTIN-FERNANDEZ B, et al. Molecular factors involved in the hypolipidemic- and insulin-sensitizing effects of a ginger (*Zingiberofficinale Roscoe*) extract in rats fed a high-fat diet[J]. Applied Physiology Nutrition and Metabolism, 2017, 42 (2): 209-215
- [34] LI J X, WANG S, YAO L, et al. 6-gingerol ameliorates age-related hepatic steatosis: Association with regulating lipogenesis, fatty acid oxidation, oxidative stress and mitochondrial dysfunction[J]. Toxicology and Applied Pharmacology, 2019, 362(1): 125-135.
- [35] SARAVANAN G, PONMURUGAN P, DEEPA M A, et al. Anti-obesity action of gingerol: effect on lipid profile, insulin, leptin, amylase and lipase in male obese rats induced by a high-fat diet[J]. Journal of Science and Food Agriculture, 2014, 94(14): 2972 - 2 977
- [36] SHUKLA A, SHUKLA R S, DAS C, et al. Gingerols infusion and multi-step process optimization for enhancement of color, sensory and functional profiles of candied mango[J]. Food Chemistry, 2019, 300: 125-195.
- [37] MI H B, GUO X, LI J R. Effect of 6-gingerol as natural antioxidant on the lipid oxidation in red drum fillets during refrigerated storage[J]. LWT Food Science and Technology, 2016, 74: 70-76.
- [38] 孙昕. 生姜提取物抗氧化及清除亚硝酸盐的活性研究[D]. 浙江大学, 2018.
- [39] 朱明明, 柳丹, 路可欣, 等. 姜辣素药理作用研究进展[J]. 湖北医药学院学报, 2018, 37(4): 390-394.
- [40] FU Y W, WANG B, ZHANG Q Z, et al. Efficacy and antiparasitic mechanism of 10-gingerol isolated from ginger *Zingiberofficinale* against *Ichthyophthirius multifiliis* in grass carp[J]. Veterinary Parasitology, 2019, 265: (74-84).
- [41] 徐静, 刘丹丹, 张榕文, 等. 生姜 6-姜辣素的提取及姜汁去屑洗发水的研制[J]. 应用化工, 2011, 40(11): 2043-2046.
- [42] 万玉华, 徐静, 张榕文, 等. HPLC 法测定姜汁去屑洗发水中 6-姜辣素的含量[J]. 日用化学品科学, 2011, 34(8): 31-34.
- [43] 问娟娟. 生姜中提取姜辣素的研究进展[J]. 民营科技, 2017, (7): 48. 完