

生姜现代药理学特性研究进展

谭玉梅^{1,2}, 江洪波^{1,2*}, 高梦祥^{1,2}, 刘奕清³, 周弦³

(1. 长江大学生命科学学院, 荆州 434025; 2. 长江大学食品研究院, 荆州 434025;
3. 长江大学园艺园林学院, 荆州 434025)

摘要: 生姜是一种常见且广泛使用的中国传统中草药, 它富含多种化学成分, 包括酚类化合物、萜烯类、纤维素、糖类等, 而生姜益于健康的主要原因在于其存在的姜辣素、姜黄素、姜精油等多种生物活性成分。许多年来, 不少研究者挖掘了生姜的现代药理学特性, 无论是对其人体的抗癌、抗炎、增强免疫力、降脂降糖, 还是作为化学物质的抑菌、抗氧化等, 都表明生姜具有重要的营养价值和医药功效。本文针对生姜中姜辣素、姜黄素、姜精油、姜多糖的抗肿瘤、降脂降糖、抗氧化、抑菌等现代药理学特性的研究进展进行了梳理和总结, 并讨论了相关的作用机制, 明确了生姜作为一种药食两用植物的主要功效成分和研究热点, 以期对生姜产品的深入研发和疾病预防的潜力挖掘提供必要的理论知识基础。

关键词: 生姜; 抗癌; 抗氧化; 降脂降糖; 抑菌抗病毒; 药理学特性

Research progress on modern pharmacological characteristics of *Zingiber officinale* Rosc

TAN Yu-Mei^{1,2}, JIANG Hong-Bo^{1,2*}, GAO Meng-Xiang^{1,2}, LIU Yi-Qing³, ZHOU Xian³

(1. College of Life Science, Yangtze University, Jingzhou 434025, China; 2. Institute of Food Science and Technology, Yangtze University, Jingzhou 434025, China; 3. College of Horticulture and Gardening, Yangtze University, Jingzhou 434025, China)

ABSTRACT: *Zingiber officinale* Rosc is a common and widely used traditional Chinese herbal medicine. It is rich in various chemical components, including phenolic compounds, terpenes, cellulose, sugars, etc. The main reason for the health benefits of *Zingiber officinale* Rosc lies in the presence of ginger phenol, curcumin, ginger essential oil and other biologically active ingredients. Over the past decades, many researchers have excavated the modern pharmacological properties of *Zingiber officinale* Rosc, whether it is anti-cancer, anti-inflammatory, immune boosting, lipid and sugar lowering, or antibacterial and anti-oxidation as a chemical substance, indicating that *Zingiber officinale* Rosc has important nutritional value and medicinal efficacy. This paper sorted out and summarized the research of modern pharmacological properties such as anti-tumor, lipid-lowering and hypoglycemic, antioxidant and antibacterial of gingerol, curcumin, ginger essential oil and ginger polysaccharide, also discussed the relevant mechanism of action, confirming the main functional components and research hotspots of *Zingiber officinale* Rosc as a medicinal and dual-use plant. It is expected to provide the necessary theoretical knowledge base for the in-depth research and development of *Zingiber officinale* Rosc products and the potential mining of disease prevention.

基金项目: 湖北省重点研发计划项目(2021BBA096)

Fund: Supported by the Key Research and Development Program of Hubei Province (2021BBA096)

*通信作者: 江洪波, 副教授, 主要研究方向为农产品贮藏与加工。E-mail: jhb99991977@163.com

*Corresponding author: JIANG Hong-Bo, Associate Professor, College of Life Science, Yangtze University, No.266, Jingmi Road, Jingzhou District, Jingzhou 434025, China. E-mail: jhb99991977@163.com

KEY WORDS: *Zingiber officinale* Rosc; anti-cancer; anti-oxidation; lipid-lowering hypoglycemic; antibacterial and antiviral; pharmacological properties

0 引言

生姜(*Zingiber officinale* Rosc), 姜科姜属, 是一种多年生的草本植物, 最早发现于亚洲的东南部等热带地区, 现在世界各个国家均有种植, 我国多分布于中部、东南部、西南部地区^[1]。姜在我国最早作为中草药广泛应用, 因其具有止咳平喘、清热解表、温肺散寒等功效, 同时也作为香料及蔬菜食用。生姜富含多种营养成分^[2], 含 7.98%~10.04%的粗蛋白、5.785%~8.88%的淀粉、5.75%~14.5%的脂类、5.23%~5.95%的纤维素及 2.02%~5.35%可溶性糖类^[3]。生姜的化学组成相当复杂, 已证实的就有 100 多种, 但综合而言可分为 3 大类: 姜辣素、挥发性油类和二苯基庚烷^[4], 但不同地区以及不同品种的生姜其营养成分和化学成分也不尽相同。姜辣素、姜黄素、姜精油等功能成分在现代医药、生物、食品、化工等各个行业均有研究和应用, 本文针对生姜中的主要生物活性成分及其特性研究进行总结, 以期对生姜的深入研究和综合利用提供理论依据。

1 生物活性成分及现代药理学特性

生姜的化学组成复杂, 含 194 种挥发油(其中多为脂肪烃)、85 种姜辣素和 28 种二苯基庚烷^[5]。对于生姜活性成分及功能的研究多集中于姜辣素, 也有不少研究致力于

姜黄素和姜精油, 而对于生姜多糖和生姜蛋白的研究则相对较少, 本文主要关注姜辣素、姜黄素、姜精油的生物活性和相关作用机制。

1.1 姜辣素

生姜的辣度和风味取决于生姜中的一种混合物, 即姜辣素, 其化学结构虽然复杂但各组分分子结构中均含有 3-甲氧基-4-羟基苯基的官能团, 姜酚、姜烯酚、姜酮(姜油酮)、姜辣二酮、姜辣二醇等不同类型是根据官能团所连接的烃链不同而划分的。其中姜酚是生姜中具有生物活性的酚类化合物, 也是导致生姜具有特殊辣味的主要因素, 姜酚系列的化合物有 4-姜酚、6-姜酚、8-姜酚、10-姜酚和 12-姜酚等, 其中 6-姜酚所占比例最多、生物活性最强。已有许多研究证明了姜酚具有改善炎症、预防肿瘤、降脂降糖、止吐止晕、抑菌、抗氧化等多种功能特性^[6]。

1.1.1 抗癌抗肿瘤

传统治疗癌症的方式是采用中草药进行缓解, 科学研究证明, 生姜对于癌症的治疗和预防具有重大的贡献。姜酚具有细胞毒性, 能调节与癌症有关的信号传导途径、诱导癌细胞凋亡、抑制癌细胞的生长和繁殖。表 1 列出了姜酚在抗肿瘤方面的部分研究。

表 1 姜酚抗癌抗肿瘤的研究
Table 1 Research on anticancer and antitumor of gingerol

| 姜酚类型 | 作用对象 | 作用机制 | 作用效果 | 参考文献 |
|-------|-------------|---|-----------------|------|
| 6-姜酚 | 人结肠癌细胞 | 阻滞细胞 G0/G1 期 | 癌细胞生长抑制 | [7] |
| 6-姜酚 | 人恶性多发性畸胎瘤细胞 | 破坏 DNA、阻滞细胞周期、抑制癌细胞标记物的表达和糖蛋白信号的转导 | 癌细胞繁殖抑制 | [8] |
| 6-姜酚 | 肺癌细胞 | 抑制泛素特异性肽酶 14 的表达、调控自噬依赖细胞的凋亡 | 肺癌细胞生长抑制 | [9] |
| 6-姜酚 | 口腔癌细胞 | 激活腺苷酸活化蛋白激酶 (AMP-activated protein kinase, AMPK) 的表达、抑制蛋白激酶 B (protein kinase B, AKT)/哺乳动物雷帕霉素靶蛋白(mammalian target of rapamycin, mTOR)的信号通路 | 口腔癌细胞生长收到控制 | [10] |
| 6-姜酚 | 胃癌细胞 | 调节磷脂酰肌醇-3-激酶 (phosphatidylinositol-3-kinase, PI3K)/蛋白激酶 B (protein kinase B, AKT)信号通路 | 抑制胃癌细胞的迁移和侵袭 | [11] |
| 6-姜酚 | 宫颈癌细胞 | 调节上皮间质转化相关蛋白的表达 | 宫颈癌细胞侵袭能力降低 | [12] |
| 8-姜酚 | 直肠癌细胞 | 靶向表皮生长因子受体(epidermal growth factor receptor, EGFR)、调节激酶通路的激活因子 | 抑制结肠直肠癌细胞的增殖和迁移 | [13] |
| 10-姜酚 | 卵巢癌细胞 | 增加细胞 G2 期、减少 G1 期细胞百分比 | 卵巢癌细胞增殖减少 | [14] |
| 10-姜酚 | 乳腺癌细胞 | 停滞细胞 S 期、导致癌细胞的细胞色素及线粒体蛋白外泄、激活半胱氨酸天冬氨酸蛋白酶 3 | 乳腺癌细胞的分裂次数减少 | [15] |

除单成分的显著抗癌效果, LIU 等^[16]从生姜中分离得到的 6-姜酚、10-姜酚、4-姜烯酚、6-姜烯酚、10-姜烯酚和 6-脱氢姜酮可以通过下调多药耐药相关蛋白 1 和谷胱甘肽-S-转移酶(glutathione S-transferase, GST)蛋白的表达而抑制人前列腺癌细胞的增殖。许多体外动物实验和体内研究都证实了姜酚在多种癌症治疗以及预防方面的优良现代药理学特性, 但实现普遍的临床应用仍然是一个挑战。

1.1.1.2 降脂降糖

临床数据显示, 高血脂和高血糖是引导糖尿病、肥胖等疾病的关键因素, 而肥胖又是炎症、免疫力等其他问题出现的根源, 研究发现, 生姜中的姜酚可减少脂肪细胞分化, 增加脂肪酸氧化能力或者抑制脂肪酸合成, 从而减少机体脂肪酸和脂质的积累, 同时可以通过抑制胆固醇的合成、增加胆固醇的外源性摄取等途径减少机体的胆固醇含量, 抑制肥胖症的发生^[17]。此外, 6-姜酚可以调节过氧化物酶体增殖物激活受体 γ (peroxisome proliferators-activated receptors γ , PPAR γ)、增强子结合蛋白 α 和脂联素等脂肪因子抑制脂肪细胞的增生, 还会抑制肝脏中促炎细胞因子白细胞介素-1 β (interleukin-1 β , IL-1 β)和细胞浆糖蛋白 CD68 的表达, 从而减轻肝脏代谢炎症和胰岛素抵抗达到降脂的作用^[18], 同时可增强 AMPK- α 1 的磷酸化, 上调“长寿基因”SIRT-6 的表达, 显著降低抵抗素水平, 有效调节高脂饮食所引起的炎症及代谢紊乱^[19]。6-姜酚也可通过调控核因子 E2 相关因子 2 (nuclearfactor erythroidderived 2-like 2, Nrf2)来降低肝组织中高血糖导致的晚期糖基化终末产物(advanced glycation end products, AGEs)和羧甲基赖氨酸水平, 提高还原谷胱甘肽/氧化谷胱甘肽(glutathione, r-glutamyl cysteinyl+glycine/glutathiol, GSH/GSSG)值^[20]。众多研究表明了姜酚是一种潜在的可缓解糖尿病并发症的物质, 这种发现对于未来研究的方向提供了新的视角, 有利于深入治疗糖尿病、脂肪炎

症、心血管疾病等肥胖并发症。

1.1.3 抗炎

抗炎通常是采用外在治疗手段防止炎症进一步加重, 而姜酚的抗炎性能主要通过增加抗炎因子的表达及调节相关信号通路来帮助机体抵抗炎症的发生。研究发现, 6-姜酚可以通过增加抗炎细胞因子 IL-10 及激活 c-JUN 氨基末端蛋白激酶(c-Jun N-terminal kinase, JNK)来抑制肥胖斑马鱼的全身炎症^[21], 也可通过降低促炎症细胞因子 IL-1 β 、IL-6 和诱导性一氧化氮合成酶的表达水平, 并下调丝氨酸-苏氨酸 Akt-MTOR 信号转导和转录激活剂(signal transducers and activators of transcription 3, STAT3)信号途径, 达到抑制小胶质细胞介导的神经炎症的作用^[22]。此外, 6-姜烯酚也是一种抗牙周炎的有效物质, 它可调控 IL-1 β 和肿瘤坏死因子- α 的表达^[23]。同样也有研究表明 6-姜酚能够抑制中性粒细胞的聚集和早期促炎细胞因子的释放, 起到抗炎的功效, 显著改善小鼠的肺水肿^[24]。对于姜酚抗炎的报道较少, 但许多疾病的发生也伴随炎症的存在, 因此研究姜酚对炎症的治疗和缓解也是一个重要的方向。

1.1.4 抗氧化

姜酚具有强抗氧化活性的关键化学基础在于其存在愈创木酚结构和 β -羟基酮结构, 其抗氧化能力高于丁基羟基茴香醚、二丁基羟基甲苯、维生素等抗氧化剂。6-姜酚、8-姜酚和 10-姜酚均可有效清除 1,1-二苯基-2-三硝基苯基(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、超氧化物和活性氧羟基自由基(hydroxyl radical, OH)^[25]。表 2 列出了姜酚抗氧化的部分研究。

此外, 用姜酚处理的鸡体内血浆丙二醛(malondialdehyde, MDA)和 GSSG 含量显著降低, GSSG/GSH 值显著升高, 总抗氧化能力得到明显提高^[29]。众多数据表明了姜酚在抗氧化方面的优势, 为抗氧化措施和产品提供了新的思路。

表 2 姜酚抗氧化的研究
Table 2 Research on antioxidant of gingerol

| 姜酚类型 | 作用对象 | 作用机制 | 作用效果 | 参考文献 |
|-------|---|---|--|------|
| 6-姜烯酚 | 血红素氧合酶 1 (heme oxygenase-1, HO-1)和 Nrf2 | 增加 HO-1 和 Nrf2 的 mRNA 及蛋白表达、减少细胞内活性氧簇(reactive oxygen species, ROS)的产生 | 抑制 L6 骨骼肌细胞的氧化性损伤 | [26] |
| 6-姜酚 | 抗氧化酶 | 防止大鼠体内氧化应激反应、炎症、肿瘤坏死因子- α 和凋亡标志物的增加、提高大鼠大脑、卵巢和子宫中过氧化氢酶(catalase from micrococcus lysodeiktic, CAT)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)和 GST 的活性 | 对大鼠大脑和生殖器官起到保护作用 | [27] |
| 6-姜酚 | 细胞膜脂质、细胞色素、超氧自由基、羟基自由基和 DPPH 自由基 | 抑制红细胞膜脂质的过氧化、DNA 碎片化、细胞色素氧化和铁离子还原 | 对 DNA 氧化的抑制率高达 91.26%, 超氧自由基、羟基自由基和 DPPH 自由基的清除率超过 80% | [28] |

1.1.5 其他

除了在癌症肿瘤、炎症、氧化等方面具有良好的表现以外, 6-姜酚在免疫调节、抑菌抗病毒等其他方面也具有良好的生物效果。

体外动物实验发现, 6-姜酚可通过改变 Th1/Th2 平衡和调节免疫细胞凋亡来修复脓毒症诱导的免疫功能障碍^[30], 并且低剂量的 6-姜酚(10 和 20 $\mu\text{mol/L}$)对海胆免疫细胞具有一定的保护作用^[31], 但具体的免疫调节机制尚不清楚。在微生物抑制方面, 姜酚也表现巨大的生物活性, 6-姜酚、6-姜酮酚、6-姜烯酚可以约束麦角甾醇的出现, 从而破坏真菌细胞膜的完整性, 致使真菌的死亡^[32], 也能有效抑制白念珠菌生物膜的形成, 阻止细胞聚集和诱导转运蛋白的表达^[33]。除此之外, 鲜有报道姜酚抑菌的其他作用机制, 对其抑菌抗病毒的发现还需要深入挖掘。

对于姜酚的研究多集中于其抗癌、抗肿瘤方面, 但也有许多工作者致力于姜酚的提取工艺, 如亚临界水萃取法^[34]、酶解法^[3]、微波辅助提取法^[35]等, 目前更多研究倾向于将其与脂质体^[36]、壳聚糖纳米粒子^[37]等结合, 不仅改善了姜酚的生物特性, 生物利用度也得到了显著的提高。姜酚在食品、医药、生物、化工等各个行业均有广泛的应用, 但因纯度低、提取率低使其利用并不充分, 未来的研究应多致力于提高姜酚利用率, 并关注其对于免疫调节、记忆力保护等医药保健方面的作用。

1.2 姜黄素

姜黄素是从姜科植物和其他植物中提取的一种天然多酚化合物, 为橙黄色的结晶性粉末, 不溶于水和乙醚, 可溶于乙醇、丙二醇, 易溶于冰醋酸和碱溶液^[38]。姜黄素的药理学特性主要体现在抗肿瘤、降脂降糖、免疫调节、心血管保护和神经保护等方面。

1.2.1 抗癌抗肿瘤

有大量研究证明了姜黄素具有显著的抗癌抗肿瘤效

果, 姜黄素可抑制头颈部癌^[39]、乳腺癌、肺癌^[40]等, 主要作用机制包括抑制肿瘤细胞的增殖和生长、诱导癌细胞的凋亡和调控其转移。

研究发现, 姜黄素可下调 *miR210*(参与肿瘤细胞增殖、凋亡、血管生成)的表达, 阻碍炎症反应 Toll 样受体 4 (Toll-like receptor 4, TLR4)的信号通路, 抑制前列腺癌 PC3 细胞的增殖^[41], 也可控制癌基因 *PRKCA* 的表达而抑制肺癌细胞的增殖和生长^[40]。此外, 不少研究将姜黄素与脂质体^[42]、纳米颗粒^[43]等结合, 显著提高了姜黄素的抗癌活性, 而当姜黄素与其他活性物质如黄连素^[44]等的结合也呈现出比单个的物质更加显著的抗癌效果。

1.2.2 降脂降糖

降脂降糖的主要目的是减少脂肪的生成或将其进行转移, 姜黄素可下调脂肪生成基因的表达、抑制脂肪细胞的分化或诱导脂肪细胞的凋亡, 起到降脂降糖的作用。表 3 详细列出了姜黄素在降脂降糖方面的部分研究。

除单独用药以外, 姜黄素和硫辛酸联合用药可显著降低高脂饮食小鼠的体重增加, 在高脂肪喂养下表现出减重和减少肥胖的叠加效应^[50]。联合二甲双胍使用可进一步降低糖尿病大鼠血脂异常, 相比于单个物质, 呈现出较优良的降糖降脂的协同作用^[51]。

1.2.3 抗炎

姜黄素抗炎主要通过调节抗炎因子和促炎因子的释放、调控信号通路来实现。姜黄素可以增加抗炎因子如 PPAR- γ ^[52]、髓系分化蛋白 2-TLR4 共受体(TLR4-MD2)^[53]等的分泌, 调控相关转录因子及信号通路(NF- κ B、STAT3), 抑制炎症细胞因子、蛋白酶、蛋白激酶[丝裂原活化蛋白激酶(mitogen-activated protein kinase, MAPK)s、局部粘着斑激酶]、*miRNA* 和热休克蛋白 1 的生成^[54]而起到抗炎的作用, 有效保护机体免受炎症的侵袭。也可以增加 HO-1 的表达、抑制 NF- κ B 和 MAPK 信号通路^[55]、抑制 NLRP3 炎症小体的释放, 对骨关节炎起到保护作用^[56]。除此之外, 有研究

表 3 姜黄素降脂降糖的研究
Table 3 Research on lowering lipid and glucose of curcumin

| 作用对象 | 作用机制 | 作用效果 | 参考文献 |
|---|--|----------------------|------|
| 脂肪生成相关基因 | 下调 <i>sbp-1</i> (编码固醇响应元件结合蛋白的同源基因)和 <i>fat-6</i> (编码硬脂酰辅酶 a 去饱和酶的同源基因)的表达 | 减少秀丽线虫体内的脂肪积累 | [45] |
| 脂肪细胞 | 抑制前体脂肪细胞和间充质干细胞的增殖和分化、诱导脂肪细胞凋亡 | 抑制脂肪细胞分化和脂质积累 | [46] |
| 脂肪酸合成酶(fatty acid synthase system, FAS)、乙酰辅酶 a 羧化酶(acetyl CoA carboxylase, ACC) | 降低肉鸡肝脏 FAS 的活性和肝脏 ACC 的 mRNA 表达量 | 调节肝脏脂质代谢, 减少脂肪沉积 | [47] |
| 脂肪细胞及相应合成酶 | 降低内脏脂肪系数、脂肪细胞体积、FAS 活性、肝脏 ACCmRNA 表达、肝脏 ACC 1 蛋白表达、固醇调节元件结合蛋白表达 | 降低对糖尿病模型大鼠内脏脂肪代谢各项指标 | [48] |
| 胰腺细胞 | 激活 PI3K/Akt/依赖葡萄糖转运蛋白 2 的信号通路、增强胰岛素的表达及分泌 | 减轻大鼠胰岛细胞对胰岛素抵抗 | [49] |

发现了姜黄素可以通过激活 Nrf2 来诱导血 HO-1 的表达,并抵消高葡萄糖(high glucose, HG)引起的损伤,激活涉及人类视网膜色素上皮(retinal pigment epithelium, RPE)的 Nrf2/HO-1 信号通路来保护 RPE 细胞免受 HG 诱导的损伤^[57]。同时,姜黄素脂质体纳米颗粒能有效降低血清促炎细胞因子 IL-6、TNF- α 和 IL-1 β 的表达,增强了抗炎细胞因子 IL-10 的表达,以期成为治疗脓毒症的有效药物^[58]。姜黄素的聚乙二醇化不仅改善了其生物学特性,而且还干扰了参与炎症反应的多个靶点,显著抑制了环氧化酶 2 的表达^[59]。已有大量数据证实了姜黄素显著的抗炎效果,炎症的调控一般是综合性的,包括免疫调节、抑菌抗菌等,因此还需要全方面研究使其在体内的作用效果得到充分证实。

1.2.4 抗氧化

姜黄素的化学结构使其有潜力成为强大的抗氧化剂,其抗氧化能力是维生素 C 的 1~2 倍,其抗氧化主要是通过清除自由基以及提高抗氧化酶的活性等来实现。体外细胞和动物实验表明,姜黄素可以清除过多的自由基、预防氧化应激、保持线粒体耗氧量和呼吸复合体 I 活性、抑制活性氧簇 ROS 的产生^[60],提高 CAT、SOD、GSH-Px 和 GST 等抗氧化酶的活性,通过上调抗氧化酶基因表达,以改善黄曲霉毒素 B₁ 诱导的作用^[61]。对于姜黄素抗氧化的研究较少,但其成为可选择的抗氧化剂的潜力是巨大的,对其抗氧化机制也还需进一步探讨。

1.2.5 抑菌抗病毒

抗生素一直是抑菌抗病毒的主要选择之一,但越来越多的细菌对普通抗生素产生耐药性,给感染治疗带来重大困难,近年来,越来越多天然活性物质的抑菌性能被挖掘,这让微生物感染治疗有了新的思路。研究发现姜黄素对金黄色葡萄球菌^[62]、大肠杆菌^[63]等多种革兰氏阳性菌和阴性菌均有一定程度的抑制作用。姜黄素不但可以作用于细菌的细胞膜、细胞壁、蛋白质、DNA 等细胞结构,而且能够与微管结合、阻碍 RNA 转录过程、阻断蛋白质合成或者与酶相互结合而抑制细菌细胞的分裂。在基因水平上,姜黄素可以下调细菌基因表达,抑制细菌 DNA 损伤反应,并与 DNA 分子相互作用达到抑菌效果^[64]。

多项研究表明,姜黄素在抗病毒方面呈现出独特的优越性,一方面可以抑制病毒 RNA 的复制,另一方面是姜黄素与病毒外壳蛋白、RNA 聚合酶等多种特异酶结合来达到防止病毒繁殖的效果。研究发现,姜黄素可以调节 Wnt/ β -连环蛋白、激活蛋白 1、STAT3、MAPK、NF- κ B 等多种细胞信号和分子途径有效缓解肝炎病毒引起的感染^[65]。LAI 等^[66]研究结果发现,两种活性姜黄素衍生物(四甲基姜黄素和姜黄素)可下调核蛋白的表达,在体内抑制人类甲型流感病毒。此外,有研究将姜黄素纳米化,改善姜黄素生物性能的同时也提高了姜黄素抑制抗登革病毒的活性^[67]。此外,还有研究表明姜黄素抑制流感病毒^[68]、新型冠状病毒(COVID-19)^[69-70]等的的作用效果。未来可多关注其在病毒抑

制方面的作用,以期为人类生命健康找到新的突破口。

1.2.6 其他

姜黄素对心血管、肝脏的保护、免疫调节等方面也有相关研究可以充分证明。

研究发现姜黄素可通过上调 DKK3 蛋白的表达而发挥对心脏的保护作用^[71],也能降低冠状动脉梗阻性疾病和冠脉内植入血管支架患者的复发率^[72]。不同浓度的姜黄素处理均可显著下调肝脏人类转化生长因子 β 1 和 SMAD3 mRNA 的表达,上调 Nrf2 和 HO-1 mRNA 的表达,对 CCl₄ 诱导的急性肝损伤具有一定的保护作用^[73]。除此之外,GUO 等^[74]探索了姜黄素对小鼠酒精性脂肪肝的控制机制,路径分析结果发现,姜黄素中断了不饱和脂肪酸的生物合成,抑制了戊糖和葡萄糖醛酸的相互转化,最终调节肝脏代谢。

在临床治疗管理中,姜黄素还可用于自身免疫性疾病的治疗,姜黄素可以通过激活免疫成分细胞,如 T 淋巴细胞、巨噬细胞等,从而增强机体对免疫相关疾病的抵抗^[75]。姜黄素可以提高磷脂酶 A2、免疫球蛋白 (immunoglobulin, IgE)、IL-4、IFN- γ 等免疫调节介质比值^[76],降低 Th1/Th2/Th17 细胞因子产生 IFN- γ 、IL-4 和 IL-17A^[77],具有免疫调节作用。除此之外,也有研究发现姜黄素在预防阿尔兹海默病^[78]、记忆保护等方面具有显著效果。

综合而言,姜黄素具有降糖降脂、抗炎抗氧化、抑癌抗肿瘤等一系列生物活性,但由于姜黄素本身具有水溶性低、不稳定、易降解等不足导致其在食品和医药等领域的开发和应用受到限制,因此目前很多研究致力于用纳米颗粒^[79]、乳液^[80]等新兴技术进行包封以提高姜黄素的稳定性,并且封装的姜黄素表现出更高效的生物活性和更充分的生物利用度。姜黄素在食品中的应用主要集中于作为食品添加剂的使用,在保健品开发中致力解酒护肝、改善炎症等。在今后的研究中,应多关注其在疲劳缓解、免疫调节、减肥减脂等保健品的研发中,优化其性能和生物活性。

1.3 姜精油

姜精油是一种从生姜根茎中萃取而来的具有挥发性的浅黄色透明液体,有 100 多种组分,主要为倍半萜类化合物和氧化倍半萜烯,含有醛类、酚类、脂类、醚类、醇类和酮类等^[81],在食品行业中作为添加剂用在饮料、饼干、面包等中;在日化品中作为香精添加到洗发水、保湿霜、洗洁精等中,除此之外,姜精油的抑菌、抗氧化等生物活性也相当强大。

1.3.1 抑菌性

姜精油对于微生物的抑制作用主要于细胞膜,能够增加细胞膜通透性,导致胞内物质外泄,使其失去基本的结构功能,最终导致细菌细胞死亡。

LU 等^[82]的研究发现姜精油能造成细菌细胞膜的破损,延长枯草芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌等细菌的生长滞留期。同时,姜精油可以抑制细菌能量代谢、三羧酸循环、细胞膜相关蛋白和 DNA 代谢相关基因的表达,破坏细胞膜的成分^[83]。也有

研究比较了姜精油和迷迭香精油对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑制效果, 结果发现生姜精油的抑菌活性较好^[84]。而 ABDULLAHI 等^[85]研究了姜精油对水稻黄单胞菌的作用, 发现姜精油能抑制真菌病原体的菌丝生长。除此之外, 姜精油对于黑曲霉、蜡样芽孢杆菌、荧光假单胞菌、鼠伤寒沙门氏菌等食源性病原菌和腐败性微生物均有一定程度的抑制作用, 而革兰氏阳性菌受姜精油的抑菌效果强于阴性菌, 区别在于姜精油可以作用于阳性菌细胞膜上的磷脂, 增加细胞膜的通透性, 导致胞内物质泄漏; 而阴性菌细胞壁周围覆盖有脂多糖和蛋白质, 保护了细胞膜^[86]。

1.3.2 抗氧化

已有不少研究证明姜精油在抗氧化方面的显著效果。HERVE 等^[87]用姜精油喂养日本鹌鹑后, 体内血清总蛋白、球蛋白含量及抗氧化酶活性均有所提高, 血清转氨酶、MDA、甘油三酯和总胆固醇含量也相应降低。BUCUR 等^[88]采用气相色谱-质谱法分析了生姜挥发油中的成分, 发现姜精油含有茨烯、桉油醇、蒎烯和姜烯, 具有良好的抗氧化作用, 对于产品的品质以及贮藏方面具有可观的应用前景, 如对鲤鱼鱼片的总挥发性盐基氮和硫代巴比妥酸值均有正向影响^[89]。当然, 体外研究发现大鼠经姜精油处理后, 血清高密度脂蛋白显著升高, 谷丙转氨酶、血清碱性磷酸酶及 LDL 显著降低, 血清 GSH-Px 活性显著提高 75.06%, 可减轻大鼠二乙基亚硝胺细胞毒性, 提示其具有新的抗氧化作用^[90]。

姜精油有许多活性功能, 但由于其水溶性较差, 对光、氧、热等十分敏感, 极强的不稳定性造成较高的挥发性, 导致了姜精油在医药、生物及食品等领域的应用限制, 许多研究者致力于改善姜精油的提纯工艺, 如超临界 CO₂ 萃取法^[91]等。也有研究将其与乳液^[92]、壳聚糖^[93]等结合, 增加了姜精油的化学稳定性和溶解度, 减少了精油活性成分的快速蒸发和降解, 已经成为目前研究的热点, 不仅改善了生物缺点, 并且大大提高了姜精油的生物利用率。

1.4 生姜多糖

生姜多糖是从生姜中提取的植物多糖, 具有一般植物多糖的药理学作用, 在肿瘤治疗、免疫力增强等方面具有良好的表现。

1.4.1 抗肿瘤

生姜多糖的研究虽然较少, 但其抗肿瘤能力并不亚于其他活性成分, 同样可促进细胞凋亡, 并在 G0/G1 期阻滞细胞, 上调抗体基因(*Bax*、*Fas*、*FasL*)、胱天蛋白酶 3、细胞周期协调因子(p21、p53)的表达, 下调 B 细胞淋巴瘤/白血病-2 (*leukemia-2*, *Bcl-2*)癌基因的表达^[94]。除此之外, 不同形式的生姜也表现不一样的生物活性, 生姜的抗增殖能力分别比干姜和鲜姜高 1.5 倍和 2 倍左右^[95]。同时, YANG 等^[96]从生姜中分离得到的中性生姜多糖在体外对小鼠单核巨噬细胞白血病细胞也表现出明显的免疫活性, 在没有细胞毒性的条件下, 巨噬细胞的增殖会显著增强, 并且

免疫物质(TNF- α 、IL-1 β 、IL-6)的分泌也会随之增多。生姜多糖抗癌研究较少但有充分的数据可以证实其强大的抗肿瘤能力, 或许是一种潜在治疗和预防肿瘤的有效物质。

1.4.2 抗氧化

体外抗氧化研究的结果发现, 生姜多糖对羟基自由基、超氧阴离子自由基等有较强的清除作用, 并且在一定的浓度范围内具有正相关效应^[97], 而留皮生姜多糖无论是清除 DPPH 还是总还原能力均强于去皮生姜, 并且最大清除率可以达 65.32%^[98]。

目前对于生姜多糖的药理学特性研究较少, 多集中于优化提取工艺和提取率, 对于其功能特性集中于抗氧化和抗肿瘤, 当然, 也有部分研究者在探索其抗凝血作用^[99]等, 总的来说, 生姜多糖具有对人体有益的生物活性, 但已有的研究数据集中于体内和体外, 未来还需要更多的临床实验数据来支撑生姜多糖在人体疾病治疗和预防的有效作用。

2 总结与展望

生姜是一种广泛使用的药食两用植物原料, 以其独特的芳香气味而闻名, 其作为中草药的功效已有大量研究数据可以证实, 包括炎症改善、免疫力调节、降低血脂、止痛等, 并用于治疗感冒、头痛等, 近年来越来越多的科学实验用数据证明了其在抗癌、降脂降糖、抗炎抗氧化、抑菌抗病毒等方面的显著效果, 但生姜各个成分之间的药理学特性不尽相同, 姜辣素和姜黄素的抗癌抗肿瘤效果十分显著, 在降脂降糖、抗炎抗氧化方面的表现也很优良, 但相对于姜黄素而言, 姜辣素的抑菌抗病毒研究较少, 具体原因还需要更多的实验数据来说明。相对而言, 姜精油和生姜多糖的现代药理学特性研究较少, 一方面是其提取困难、稳定性差, 另一方面是其含量相对其他成分较少, 但并不影响其药理学特性。姜精油的抗氧化和抑菌能力是极其显著的, 因其具有良好的抑菌能力, 目前已将其应用在洗洁精、肥皂、洗衣粉等日化用品中, 在面霜、爽肤水、精华液、面膜等护肤品中也有添加, 原因在于其优良的抗氧化能力。生姜多糖的研究相对而言更少, 但其抗癌抗肿瘤的效果是显著的, 具有癌症治疗和预防的巨大潜力, 此外, 也还需要更多的实验来挖掘生姜多糖的其他潜在药理学特性。

生姜具有丰富的对健康有益的生物活性物质, 但是还缺乏研究的深度, 建议从以下几个方面突破:

(1) 深化机制研究

在目前的研究中, 对于已经分离纯化的物质多是基于体外以及动物模型而进行的, 为了使所得的研究数据更加具有可信度, 还需要更多的临床实验来支撑前人所得的实验结果, 另外对于部分疾病的作用机制尚不完善, 还应深入研究, 以得到明确的作用机制, 对于姜精油、生姜多糖及生姜蛋白的更多可能的药理学特性也要深度挖掘, 为临床应用奠定牢固的基础。

(2)加强生物利用度

生姜化学成分的提取与纯化一直以来是科研工作者面临的困难之一,许多研究在致力于姜辣素与姜精油的提纯,也有研究者关注于提高姜黄素和姜精油的稳定性,只有解决好生物利用度及成分纯度的问题才能更充分地了其药理学特性。

(3)加速产品开发

近年来,保健品越来越受人们的欢迎,在我国保健品拥有良好的消费市场,具有强大的发展潜力,而国家的扶持政策也为保健品的发展提供了发展的平台,生姜作为一种天然的活性物质,无毒无害绿色安全,已有研究表明其在免疫调节、心血管疾病治疗甚至记忆力保护等方面的作用,未来应加快生姜保健品的开发,为人们带来有益的功能食品和保健产品。

参考文献

- 胡炜彦, 张荣平, 唐丽萍, 等. 生姜化学和药理研究进展[J]. 中国民族民间医药, 2008, (9): 10-14.
HU WY, ZHANG RP, TANG LP, *et al.* Advances in *Zingiber officinale* Rosc chemistry and pharmacology research [J]. Chin Folk Med, 2008, (9): 10-14.
- 张卉, 何诗意, 张晓军, 等. 生姜的营养价值及其产品研发进展[J]. 广东化工, 2016, 43(7): 89-90.
ZHANG H, HE SY, ZHANG XJ, *et al.* Nutritional value of *Zingiber officinale* Rosc and its product development [J]. Guangdong Chem Ind, 2016, 43(7): 89-90.
- 孙昕. 生姜提取物抗氧化及清除亚硝酸盐的活性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
SUN X. Study of antioxidant activity and nitrite scavenging capacity of *Zingiber officinale* Rosc extract [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018.
- 张英锋, 马子川, 姜的成分及应用[J]. 化学教学, 2012, (8): 73-74, 80.
ZHANG YF, MA ZC. Composition and application of *Zingiber officinale* Roscoe [J]. Edu Chem, 2012, (8): 73-74, 80.
- LIU Y, LIU JC, ZHANG YQ. Research progress on chemical constituents of *Zingiber officinale* Roscoe [J]. Biomed Res Int, 2019, 2019: 5370823.
- 王少鹏, 杨光. 姜酚生物活性研究进展[J]. 中国公共卫生, 2013, 29(10): 1549-1552.
WANG SP, YANG G. Research progress on bioactivity of gingerol [J]. Chin J Pub Health, 2013, 29(10): 1549-1552.
- WU Z, GAO RP, LI H, *et al.* New insight into the joint significance of dietary jujube polysaccharides and 6-gingerol in antioxidant and antitumor activities [J]. Rsc Adv, 2021, 11(53): 33219-33234.
- SP N, KANG DY, JO ES, *et al.* Pivotal role of iron homeostasis in the induction of mitochondrial apoptosis by 6-gingerol through PTEN regulated PD-L1 expression in embryonic cancer cells [J]. Front Oncol, 2021, 11: 781720.
- TSAI Y, XIA CB, SUN ZW. The inhibitory effect of 6-gingerol on ubiquitin-specific peptidase 14 enhances autophagy-dependent ferroptosis and anti-tumor *in vivo* and *in vitro* [J]. Front Pharmacol, 2020, 11: 598555.
- ZHANG HB, KIM E, YI J, *et al.* 6-gingerol suppresses oral cancer cell growth by inducing the activation of AMPK and suppressing the AKT/mTOR signaling pathway [J]. In Vivo, 2021, 35(6): 3193-3201.
- LUO YJ, ZHA L, LUO LM, *et al.* 6-gingerol enhances the cisplatin sensitivity of gastric cancer cells through inhibition of proliferation and invasion via PI3K/AKT signaling pathway [J]. Phyt Res, 2019, 33(5): 1353-1362.
- ZHAO XY, ZHANG M, ZHU ZH, *et al.* Effect and mechanism of 6-gingerol on invasion and migration of HPV-positive and negative cervical cancer cells [J]. Med J Chin People Liberat Army, 2020, 45(7): 691-696.
- HU SM, YAO XH, HAO YH, *et al.* 8-gingerol regulates colorectal cancer cell proliferation and migration through the EGFR/STAT/ERK pathway [J]. Int J Oncol, 2020, 56(1): 390-397.
- RASMUSSEN A, MURPHY K, HOSKIN DW. 10-Gingerol inhibits ovarian cancer cell growth by inducing G2 arrest [J]. Adv Pharm Bull, 2019, 9(4): 685-689.
- MARTIN ACBM, FUZER AM, BECCENERI AB, *et al.* 10-gingerol induces apoptosis and inhibits metastatic dissemination of triple negative breast cancer *in vivo* [J]. Oncotarget, 2017, 8(42): 72260-72271.
- LIU CM, KAO CL, TSENG YT, *et al.* Ginger phytochemicals inhibit cell growth and modulate drug resistance factors in docetaxel resistant prostate cancer cell [J]. Molecules, 2017, 22(9): 1477.
- 李娅雯, 李旭升, 袁洋冰, 等. 姜酚减肥脂机制研究进展[J]. 食品科学, 2021, 3: 1-10.
LI YW, LI XS, YUAN YB, *et al.* Research progress in the mechanism of weight-loss and lipid-lowering effect of gingerol [J]. Food Sci, 2021, 3: 1-10.
- CHENG Z, XIONG XY, ZHOU Y, *et al.* 6-gingerol ameliorates metabolic disorders by inhibiting hypertrophy and hyperplasia of adipocytes in high-fat-diet induced obese mice [J]. Biomed Pharm, 2021, 146: 112491.
- HASHEM RM, RASHED LA, AHMED AO, *et al.* Effect of 6-gingerol on AMPK- NF-kappa B axis in high fat diet fed rats [J]. Biomed Pharm, 2017, 88: 293-301.
- SAMPATH C, RASHID MR, AHMEDNA M, *et al.* Specific bioactive compounds in ginger and apple alleviate hyperglycemia in mice with high fat diet-induced obesity via Nrf2 mediated pathway [J]. Food Chem, 2017, 226: 79-88.
- CHOI J, KIM KJ, KIM B, *et al.* 6-gingerol suppresses adipocyte-derived mediators of inflammation *in vitro* and in high-fat diet-induced obese zebra fish [J]. Planta Med, 2017, 83(3-4): 245-253.
- LIU Y, DENG SJ, ZHANG Z, *et al.* 6-gingerol attenuates microglia-mediated neuroinflammation and ischemic brain injuries through Akt-mTOR-STAT3 signaling pathway [J]. Eur J Pharmacol, 2020, 883: 173294.
- KIM YG, KIM MO, LEE Y, *et al.* 6-shogaol, an active ingredient of ginger, inhibits osteoclastogenesis and alveolar bone resorption in ligature-induced periodontitis in mice [J]. J Periodontol, 2020, 91(6): 809-818.
- WEI H, XIANG ZF, HAN KT, *et al.* 6-gingerol attenuates ventilator-induced lung injury via anti-inflammation and antioxidative stress by modulating the PPAR gamma/NF-kappa B signalling pathway in rats [J]. Int Immunopharmacol, 2021, 92: 107367.
- 杨鹏, 于博, 汤尚文, 等. 姜酚及其应用研究进展[J]. 现代食品, 2017, (4): 78-81.
YANG P, YU B, TANG SW, *et al.* Research progress on the application of gingerol [J]. Mod Food, 2017, (4): 78-81.
- HUR J, LEE Y, CHOI SY, *et al.* 6-shogaol suppresses oxidative damage in L6 muscle cells [J]. Appl Biol Chem, 2020, 63(1): 57.
- ABOLAJI AO, OJO M, FAROMBI EO, *et al.* Protective properties of 6-gingerol-rich fraction from *Zingiber officinale* (Ginger) on chlorpyrifos-induced oxidative damage and inflammation in the brain, ovary and uterus of rats [J]. Chem Biol Interact, 2017, 270: 15-23.
- SUBBAIAH GV, REDDY KS, NARASIMHA G, *et al.* 6-gingerol prevents free transition metal ion Fe (II) induced free radicals mediated alterations by *in vitro* and *in vivo* growth in chicken eggs by *in vivo* [J]. Pharm Mag, 2018, 14(55): 167-174.
- FAN QL, LI H, JIANG SQ, *et al.* Effects of gingerol, allicin and their combination on growth performance, antioxidant and immune function of 817 broilers [J]. Chin J Anim Nutr, 2020, 32(9): 4132-4139.
- JU SA, NGUYEN QT, NGUYEN TH, *et al.* Pretreatment with 6-gingerol ameliorates sepsis-induced immune dysfunction by regulating the cytokine balance and reducing lymphocyte apoptosis [Z]. 2021.
- CHIARAMONTE M, BONAVENTURA R, COSTA C, *et al.* 6-gingerol dose-dependent toxicity, its role against lipopolysaccharide insult in sea urchin (*Paracentrotus lividus* Lamarck), and antimicrobial activity [J]. Food Biosci, 2021, 39: 100833.
- SHARMA S, YADAV A. Gingerol derivatives as 14 alpha-demethylase

- inhibitors: Design and development of natural, safe antifungals for immune-compromised patients [J]. *Lett Drug Des Discov*, 2020, 17(7): 918–928.
- [33] LEE JH, KIM YG, CHOI P, *et al.* Antibiofilm and antivirulence activities of 6-gingerol and 6-shogaol against candida albicans due to hyphal inhibition [J]. *Front Cell Infect Mi*, 2018, 1: 8.
- [34] KO MJ, NAM HH, CHUNG MS. Conversion of 6-gingerol to 6-shogaol in ginger (*Zingiber officinale*) pulp and peel during subcritical water extraction [J]. *Food Chem*, 2019, 270: 149–155.
- [35] TENG H, SEUSEU KT, LEE WY, *et al.* Comparing the effects of microwave radiation on 6-gingerol and 6-shogaol from ginger rhizomes (*Zingiber officinale* Roscoe) [J]. *PLoS One*, 2019, 14(6): 1–5.
- [36] WANG QL, WEI QY, YANG QX, *et al.* A novel formulation of 6-gingerol: Proliposomes with enhanced oral bioavailability and antitumor effect [J]. *Int J Pharm*, 2018, 535(1–2): 308–315.
- [37] UDDIN MDI, SRIKAR PVR, PREETHI KY, *et al.* Synthesis and characterization of chitosan nanoparticles loaded with 6-gingerol isolated from *Zingiber officinale* Roscoe [J]. *Ann Phytomed*, 2020, 9(2): 164–171.
- [38] 华正昌, 童雨翠, 程强, 等. 姜黄素的生理活性及其在畜禽领域的研究进展[J]. *饲料工业*, 2022, 43(3): 35–40.
- HUANG ZC, TONG YC, CHENG Q, *et al.* Physiological activity of curcumin and its research progress in livestock and poultry [J]. *Feed Ind*, 2022, 43(3): 35–40.
- [39] BALDI A, LUCA A, GIORDANO A, *et al.* Curcumin as an anticancer agent in malignant mesothelioma: A review [J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(5): 1839.
- [40] XU XQ, ZHANG XY, ZHANG Y, *et al.* Curcumin suppresses the malignancy of non-small cell lung cancer by modulating the circ-PRKCA/miR-384/ITGB1 pathway [J]. *Biomed Pharm*, 2021, 138: 111439.
- [41] 冉亨勇, 陈环, 蒲军, 等. 姜黄素基于下调 miR210 与 TLR4/NF- κ B 信号通路表达对前列腺癌 PC3 细胞株凋亡的影响[J]. *中药药理与临床*, 2021, 37(1): 64–68.
- RAN HY, CHEN H, PU J, *et al.* Effect of curcumin on apoptosis of PC3 cell line via down-regulating the expressions of MiR210 and TLR4/NF- κ B signaling pathway [J]. *Pharmacol Clin Chin Mater Med*, 2021, 37(1): 64–68.
- [42] MOHAMED M, PIWONI A, FILIPCZAK N, *et al.* Correction: Long-circulating curcumin-loaded liposome formulations with high incorporation efficiency, stability and anticancer activity towards pancreatic adenocarcinoma cell lines *in vitro* [J]. *PLoS One*, 2017, 12(3): 1–5.
- [43] KHAN MN, HAGGAG YA, TAMB UWALA MM, *et al.* Polymeric nano-encapsulation of curcumin enhances its anti-cancer activity in breast (MDA-MB231) and lung (A549) cancer cells through reduction in expression of HIF-1 α and nuclear p65 (Rel A) [J]. *Curr Drug Deliv*, 2018, 15(2): 286–295.
- [44] BALAKRISHNA A, KUMAR MH. Evaluation of synergetic anticancer activity of berberine and curcumin on different models of A549, Hep-G2, MCF-7, Jurkat, and K562 cell lines [J]. *Biomed Res Int*, 2015, 1: 354614.
- [45] YUE YR, HAO GX, CHO J, *et al.* Curcumin reduced fat accumulation in *Caenorhabditis elegans* [J]. *Current Res Food Sci*, 2021, 4: 551–556.
- [46] ZHENG JJ, LI Y. Regulation of adipogenesis in animals by curcumin [J]. *Chin J Cell Biol*, 2019, 41(7): 1401–1411.
- [47] FAN XY, ZHANG FG, HUANG TL, *et al.* Effects of curcumin on growth performance, abdominal fat deposition, antioxidant capacity, liver enzyme activities and gene expression related to lipid metabolism of medium speed yellow-feathered broilers [J]. *Chin J Anim Nutr*, 2021, 33(10): 5581–5590.
- [48] LI LY, TANG CY, HAN Y, *et al.* Effect of curcumin analogue H8 on visceral fat metabolism in db/db mice [J]. *Chin J Pub Health*, 2019, 35(2): 183–187.
- [49] SONG ZF, WANG H, ZHU L, *et al.* Curcumin improves high glucose-induced INS-1 cell insulin resistance via activation of insulin signaling [J]. *Food Funct*, 2015, 6(2): 461–469.
- [50] PANZHINSKIY E, BASHIR R, NAIR S, *et al.* Effect of curcumin and alpha-lipoic acid in attenuating weight gain and adiposity [J]. *J Am Coll Nutr*, 2019, 38(6): 493–498.
- [51] ROXO DF, ARCARO CA, BAVIERA AM, *et al.* Curcumin combined with metformin decreases glycemia and dyslipidemia, and increases paraoxonase activity in diabetic rats [J]. *Diabetol Metab Syndr*, 2019, 11: 33.
- [52] LI HY, YANG M, LI Z, *et al.* Curcumin inhibits angiotensin II-induced inflammation and proliferation of rat vascular smooth muscle cells by elevating PPAR- γ activity and reducing oxidative stress [J]. *Int J Mol Med*, 2017, 39(5): 1307–1316.
- [53] ZHANG YL, LIU ZG, WU JZ, *et al.* New MD2 inhibitors derived from curcumin with improved anti-inflammatory activity [J]. *Eur J Med Chem*, 2018, 148: 291–305.
- [54] DENG Y, VERRON E, ROHANIZADEH R. Molecular mechanisms of anti-metastatic activity of curcumin [J]. *Anticancer Res*, 2016, 36(11): 5639–5647.
- [55] JIN ML, PARK SY, SHEN Q, *et al.* Anti-neuroinflammatory effect of curcumin on Pam3CSK4-stimulated microglial cells [J]. *Int J Mol Med*, 2018, 41(1): 521–530.
- [56] SUN YF, LIU W, ZHANG H, *et al.* Curcumin prevents osteoarthritis by inhibiting the activation of inflammasome NLRP3 [J]. *J Interf Cytok Res*, 2017, 37(10): 449–455.
- [57] BUCOLO C, DRAGO F, MAISTO R, *et al.* Curcumin prevents high glucose damage in retinal pigment epithelial cells through ERK1/2-mediated activation of the Nrf2/HO-1 pathway [J]. *J Cell Physiol*, 2019, 234(10): 17295–17304.
- [58] WANG J, WANG HY, ZHU RR, *et al.* Anti-inflammatory activity of curcumin-loaded solid lipid nanoparticles in IL-1 β transgenic mice subjected to the lipopolysaccharide-induced sepsis [J]. *Biomaterials*, 2015, 53: 475–483.
- [59] CHENG F, CHEN YH, ZHAN Z, *et al.* Curc-mPEG454, a PEGylated curcumin derivative, improves anti-inflammatory and antioxidant activities: A comparative study [J]. *Inflammation*, 2018, 41(2): 579–594.
- [60] TAPIA E, SANCHEZ-LOZADA LG, GARCIA-NINO WR, *et al.* Curcumin prevents maleate-induced nephrotoxicity: Relation to hemodynamic alterations, oxidative stress, mitochondrial oxygen consumption and activity of respiratory complex I [J]. *Free Radical Res*, 2014, 48(11): 1342–1354.
- [61] EL-BAHR SM. Effect of curcumin on hepatic antioxidant enzymes activities and gene expressions in rats intoxicated with aflatoxin B₁ [J]. *Phytother Res*, 2015, 29(1): 134–140.
- [62] HUNG SJ, HONG YA, LIN KY, *et al.* Efficient photodynamic killing of gram-positive bacteria by synthetic curcuminoids [J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(23): 9024.
- [63] 李晓鹏. 姜黄素的提取、分离及抑菌、抗肿瘤活性研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2010.
- LI XP. Researches on the extraction, isolation and antibacterial, anti-tumor activity of Curcumin [D]. Jinan: Shandong Normal University, 2010.
- [64] 刘伟, 顾秀竹, 吴筱霓, 等. 姜黄素药理作用的研究进展[J]. *华西药学杂志*, 2021, 36(3): 336–340.
- LIU W, GU XZ, WU XN, *et al.* Research on the pharmacological actions of curcumin [J]. *West Chin J Pharm Sci*, 2021, 36(3): 336–340.
- [65] HESARI A, GHASEMI F, SALARINIA R, *et al.* Effects of curcumin on NF- κ B, AP-1, and Wnt/ β -catenin signaling pathway in hepatitis B virus infection [J]. *J Cell Biochem*, 2018, 119(10): 7898–7904.
- [66] LAI YN, YAN YW, LIAO SH, *et al.* 3D-quantitative structure-activity relationship and antiviral effects of curcumin derivatives as potent inhibitors of influenza H1N1 neuraminidase [J]. *Arch Pharm Res*, 2020, 43(5): 489–502.
- [67] NABILA N, SUADA NK, RACHMAWATI H, *et al.* Antiviral action of curcumin encapsulated in nanoemulsion against four serotypes of dengue virus [J]. *Pharm Nanotechnol*, 2020, 8(1): 54–62.
- [68] RICHART SM, LI YL, MIZUSHINA Y, *et al.* Synergic effect of curcumin and its structural analogue (*Monoaocetyl curcumin*) on anti-influenza virus infection [J]. *J Food Drug Anal*, 2018, 26(3): 1015–1023.
- [69] THIMMULAPPA RK, MUDNAKUDU-NAGARAJU KK, KUPPUSAMY G, *et al.* Antiviral and immunomodulatory activity of curcumin: A case for prophylactic therapy for COVID-19 [J]. *Heliyon*, 2021, 7(2): e06350.

- [70] SABER-MOGHADDAM N, SALARI S, ELYASI S, *et al.* Oral nano-curcumin formulation efficacy in management of mild to moderate hospitalized coronavirus disease-19 patients: An open label nonrandomized clinical trial [J]. *Phytother Res*, 2021, 35(5): 2616–2623.
- [71] CAO Q, ZHANG JX, GAO L, *et al.* Dickkopf-3 upregulation mediates the cardioprotective effects of curcumin on chronic heart failure [J]. *Mol Med Rep*, 2018, 17(5): 7249–7257.
- [72] HADI A, POURMASOUMI M, SAHEBKAR A, *et al.* The effect of curcumin/turmeric on blood pressure modulation: A systematic review and meta-analysis [J]. *Pharmacol Res*, 2019, 150: 104505.
- [73] PENG XY, DAI CS, LIU QW, *et al.* Curcumin attenuates on carbon tetrachloride-induced acute liver injury in mice via modulation of the Nrf2/HO-1 and TGF- β 1/Smad3 pathway [J]. *Molecules*, 2018, 23(1): 215.
- [74] GUO C, MA JF, ZHONG QH, *et al.* Curcumin improves alcoholic fatty liver by inhibiting fatty acid biosynthesis [J]. *Toxicol Appl Pharmacol*, 2017, 328: 1–9.
- [75] ABDOLLAHI E, MOMTAZI AA, SAHEBKAR A, *et al.* Therapeutic effects of curcumin in inflammatory and immune-mediated diseases: A nature-made jack-of-all-trades [J]. *J Cell Physiol*, 2018, 233(2): 830–848.
- [76] SHAKERI F, BOSKABADY MH. Anti-inflammatory, antioxidant, and immunomodulatory effects of curcumin in ovalbumin-sensitized rat [J]. *BioFactors*, 2017, 43(4): 567–576.
- [77] LEE G, CHUNG HS, BAE H, *et al.* Curcumin attenuates the scurfy-induced immune disorder, a model of IPEX syndrome, with inhibiting Th1/Th2/Th17 responses in mice [J]. *Phytomedicine*, 2017, 33: 1–6.
- [78] HUANG HC, ZHENG BW, GUO Y, *et al.* Antioxidative and neuroprotective effects of curcumin in an Alzheimer's disease rat model co-treated with intracerebroventricular streptozotocin and subcutaneous D-galactose [J]. *J Alzheimers Dis*, 2016, 52(3): 899–911.
- [79] BILIA AR, BERGONZI MC, CAPRONI M, *et al.* Curcumin nanoparticles potentiate therapeutic effectiveness of acitretin in moderate-to-severe psoriasis patients and control serum cholesterol levels [J]. *J Pharm Pharmacol*, 2018, 70(7): 919–928.
- [80] KHARAT M, ABERG J, MCCLEMENTS DJ, *et al.* Comparison of emulsion and nanoemulsion delivery systems: The chemical stability of curcumin decreases as oil droplet size decreases [J]. *J Agric Food Chem*, 2020, 68(34): 9205–9212.
- [81] TEERARAK M, LAOSINWATTANA C. Essential oil from ginger as a novel agent in delaying senescence of cut fronds of the fern [*Davallia solida* (G. Forst.) Sw.] [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2019, 156: 110927.
- [82] LU MM, LI WR, ZHOU SL, *et al.* Chemical component and antibacterial activity of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) essential oil [J]. *Microbiol China*, 2021, 48(4): 1121–1129.
- [83] WANG X, SHEN Y, THAKUR K, *et al.* Antibacterial activity and mechanism of ginger essential oil against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* [J]. *Molecules*, 2020, 25(17): 3955.
- [84] CUTRIM EM, TELES AM, MOUCHREK AN, *et al.* Evaluation of antimicrobial and antioxidant activity of essential oils and hydroalcoholic extracts of *Zingiber officinale* (Ginger) and *Rosmarinus officinalis* (Rosemary) [J]. *Revist Virt De Quimica*, 2019, 11(1): 60–81.
- [85] ABDOLLAHI A, KHAIRULMAZMI A, ISMAIL MR, *et al.* Phytochemical profiling and antimicrobial activity of ginger (*Zingiber officinale*) essential oils against important phytopathogens [J]. *Arab J Chem*, 2020, 13(11): 8012–8025.
- [86] 张晶琳, KOWALEGUET M G Gloire Martha, 班兆军, 等. 生姜精油抗菌性能及在食品中的应用研究进展[J]. *食品工业*, 2020, 41(1): 273–276.
- ZHANG JL, KOWALEGUET MGGM, BAN ZJ, *et al.* Research progress on antimicrobial activity of *Zingiber officinale* Rosc essential oil and its application in food [J]. *Food Ind*, 2020, 41(1): 273–276.
- [87] HERVE T, RAPHAEL KJ, WILLY M, *et al.* Growth performance, serum biochemical profile, oxidative status, and fertility traits in male Japanese quail fed on ginger (*Zingiber officinale*, Roscoe) essential oil [J]. *Vet Med Int*, 2018, 1: 7682060.
- [88] BUCUR L, IONUS E, SCHRODER V, *et al.* GC-MS analysis and bioactive properties of *zingiberis rhizoma* essential oil [J]. *Farmacia*, 2020, 68(2): 280–287.
- [89] SONMEZ PE, KUZGUN NK, KIRBAG S. Quality changes and storage life of common carp (*Cyprinus carpio*) with the use of ginger (*Zingiber officinale*) essential oil [J]. *Prog Nutr*, 2020, 22(4): 1–5.
- [90] FAHMI A, HASSANEN N, SHAMS-ELDIN E, *et al.* Phytochemicals, antioxidant activity and hepatoprotective effect of ginger (*Zingiber officinale*) on diethylnitrosamine toxicity in rats [J]. *Biomarkers*, 2019, 24(5): 436–447.
- [91] 朱艺佳, 唐泽群, 陈可可. 不同提取工艺对生姜提取物及化学组成的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 1: 1–9.
- ZHU YJ, TANG ZQ, CHEN KK. Effects of different extraction techniques on the extracts of *Zingiber officinale* Roscoe and their chemical compositions [J]. *Food Ferment Ind*, 2022, 1: 1–9.
- [92] ADAMU A, AHMAD K, SIDDIQUI Y, *et al.* Ginger essential oils-loaded nanoemulsions: Potential strategy to manage bacterial leaf blight disease and enhanced rice yield [J]. *Molecules*, 2021, 26(13): 3902.
- [93] FATHI M, SAMADI M, ROSTAMI H, *et al.* Encapsulation of ginger essential oil in chitosan-based microparticles with improved biological activity and controlled release properties [J]. *J Food Proc Pres*, 2021, 45(4): 15373.
- [94] WANG Y, WANG SX, SONG RZ, *et al.* Ginger polysaccharides induced cell cycle arrest and apoptosis in human hepatocellular carcinoma HepG2 cells [J]. *Int J Biol Macromol*, 2019, 123: 81–90.
- [95] CHENG XL, LIU Q, PENG YB, *et al.* Steamed ginger (*Zingiber officinale*): Changed chemical profile and increased anticancer potential [J]. *Food Chem*, 2011, 129(4): 1785–1792.
- [96] YANG XL, WEI SQ, LU XM, *et al.* A neutral polysaccharide with a triple helix structure from ginger: Characterization and immunomodulatory activity [J]. *Food Chem*, 2021, 350: 129261.
- [97] 夏宇. 生姜皮多糖的分离纯化、结构分析及其抗氧化活性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2016.
- XIA Y. Research on extraction, purification, structural analysis and antioxidant activity of polysaccharides from the *Zingiber officinale* Rosc skin [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016.
- [98] 杨晓杰, 王世佳, 王世聪. 姜多糖提取率及抗氧化活性研究[J]. *中国调味品*, 2018, 43(5): 30–33.
- YANG XJ, WANG SJ, WANG SC. Study on extraction rate and antioxidant activity of *Zingiber officinale* Rosc polysaccharide [J]. *China Cond*, 2018, 43(5): 30–33.
- [99] WANG CF, HE YX, TANG XZ, *et al.* Sulfation, structural analysis, and anticoagulant bioactivity of ginger polysaccharides [J]. *J Food Sci*, 2020, 85(8): 2427–2434.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



谭玉梅, 硕士研究生, 主要研究方向为食品微生物及其产品开发。

E-mail: 3030253139@qq.com

江洪波, 副教授, 主要研究方向为农产品贮藏与加工。

E-mail: jhb99991977@163.com