

潘景芝, 朱双杰, 孟庆龙. 药食同源香辛料活性成分及功能特性研究进展 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(19): 499-511. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040146

PAN Jingzhi, ZHU Shuangjie, MENG Qinglong. Advances in Active Ingredients and Functional Characteristics from Medicine and Food Homology Spices[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(19): 499-511. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040146

· 专题综述 ·

药食同源香辛料活性成分及功能特性 研究进展

潘景芝^{1,2}, 朱双杰^{3,*}, 孟庆龙^{2,*}

(1. 滁州学院博士后工作站, 安徽滁州 239000;

2. 吉林工程技术师范学院经济与管理学院, 吉林长春 130052;

3. 滁州学院生物与食品工程学院, 安徽滁州 239000)

摘要: 小茴香、肉桂、花椒、生姜、姜黄和西红花作为食药两用品种和香辛料, 不仅能改善食品的食品品质, 还能发挥健康功效, 被广泛应用于食品、保健品和医药等领域。本文首先对这 6 种药食同源香辛料的主要活性成分 (如萜类、酚类、苷类等) 进行了概括, 进一步总结了其主要的功能特性 (如抗氧化活性、抗微生物、抗炎镇痛、抗癌、抗抑郁、减肥等), 同时重点分析了功能机制 (如调节抗氧化平衡系统、破坏微生物细胞完整性、抑制促炎因子水平、调节免疫细胞因子、调节相关信号通路、促进脂肪细胞分化等), 旨在为药食同源香辛料类功能性食品的开发利用提供参考。

关键词: 药食同源, 香辛料, 活性成分, 功能特性

中图分类号: TS202.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)19-0499-13

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040146



本文网刊:

Advances in Active Ingredients and Functional Characteristics from Medicine and Food Homology Spices

PAN Jingzhi^{1,2}, ZHU Shuangjie^{3,*}, MENG Qinglong^{2,*}

(1. Postdoctoral Workstation of Chuzhou University, Chuzhou 239000, China;

2. College of Economics and Management, Jilin Engineering Normal University, Changchun 130052, China;

3. College of Biological Science and Food Engineering, Chuzhou University, Chuzhou 239000, China)

Abstract: As medicine and food varieties and spices, *Foeniculum vulgare*, *Cinnamomum cassia*, *Zanthoxylum bungeanum*, *Zingiber officinale*, *Curcuma longa* and *Crocus sativus* not only improve the quality of food consumption, but also have health benefits. They are widely used in fields such as food, health products and medicine. The main active ingredients of these six kinds of spices, such as terpenoids, phenols and glycosides are reviewed in this paper. Their main functional characteristics, such as anti-oxidant, anti-microbial, anti-inflammatory and analgesic, anti-cancer, anti-depressant, anti-obesity are further summarized. At the same time, their functional mechanism, such as regulating antioxidant balance system, disrupting the integrity of microbial cells, inhibition of pro-inflammatory factor levels, regulating immune cytokines, regulating related signaling pathways, promoting adipocyte differentiation are emphatically analyzed, which provide reference for the development and application of medicine and food homology spices functional products.

Key words: medicine and food homology; spices; active ingredients; functional characteristics

收稿日期: 2023-04-17

基金项目: 滁州学院科研启动基金项目 (2022qd017); 安徽省博士后研究人员科研活动经费资助项目 (2022B616); 安徽省科技重大专项 (202003a06020029)。

作者简介: 潘景芝 (1980-), 女, 博士研究生, 讲师, 研究方向: 药食同源食品功能性开发, E-mail: 352347739@qq.com。

* 通信作者: 孟庆龙 (1985-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 食品营养与健康研究, E-mail: 24474524@qq.com。

朱双杰 (1975-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品加工及食品工艺研究, E-mail: zhushuangjie@163.com。

“药食同源”理论在我国中医药发展中历史悠久,《黄帝内经太素》中曾记载:“空腹食之为食物,患者食之为药物”,也就是说,有些天然物质既可以作为日常饮食食物,也可以成为某些疾病患者治疗的药物^[1-2]。香辛料作为天然食用香料植物的简称,主要来源于植物的种子、果实、茎叶、花蕾及树皮等部位,富含丰富的化学物质^[3-5],能使食品呈现出香、辛、辣、甜等典型风味,还具有多种生理功能^[6-8]。目前,关于药食同源香辛料的活性成分和功能特性鲜有系统性总结。

随着社会经济的高质量发展和老龄化,健康养生、食疗保健意识不断增强,因此,药食同源物质的活性成分、生物特性及其在食品、药品等相关领域的应用受到国内外学者的关注^[9-11]。我国香辛料使用历史悠久,资源十分丰富。根据 GB/T 21725-2017《天然香辛料分类》,我国使用的天然香辛料有 67 种,按照不同的呈味特征,可分为浓香型、辛辣型和淡香型三大类^[12],其中浓香型和辛辣型的呈味成分分别以芳香族化合物、含硫或酰胺类化合物为主,而淡香型无辛辣等刺激性气味。比如浓香型药食同源香辛料肉桂,其主要活性成分肉桂醛,对孔曲霉、黄曲霉、黑曲霉等常见真菌表现出较强的抗真菌活性^[13];辛辣型药食同源香辛料花椒,其主要活性成分羟基- α -山椒素,与辣椒素结合后,能够提高自由基清除作用^[14];淡香型药食同源香辛料西红花,其主要活性成分西红花苷 I,通过促进树突成熟和海马新生神经元的功能整合,从而发挥抗抑郁功能^[15]。

因此,为进一步综合开发利用药食同源香辛料,本文结合 2021 年国家卫生健康委员会、国家市场管

理监督总局颁布的“按照传统既是食品又是中药材的物质”目录名单,选择 6 种药食同源香辛料,即小茴香、肉桂、花椒、生姜、姜黄和西红花,概述了其活性成分,总结了其抗氧化、抗微生物、抗炎镇痛、抗癌、抗抑郁、减肥、杀虫等功能及作用机理,以期药食同源香辛料类功能性食品的深入开发提高参考。

1 药食同源香辛料的活性成分

药食同源香辛料中的活性成分主要包括萜类、酚类、苷类等,其不仅具有独特风味,还具有一定的生理功能和药理活性,在食品、香料、美容、医药等行业应用广泛。药食同源香辛料主要活性成分来源及结构特征见表 1。

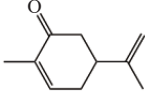
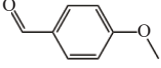
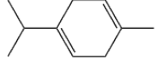
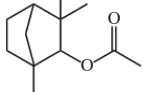
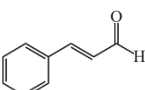
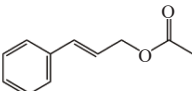
萜类活性成分主要是以异戊二烯为分子骨架的一类化合物,在自然界中广泛存在,按照其结构可分为单萜、倍半萜、二萜、三萜等,具有多种功能特性。萜品烯^[16]、月桂烯^[17]、姜烯^[18]等作为萜类化合物是某些药食同源香辛料的重要活性成分。

酚类活性成分主要是由单个或多个苯环相连,具有多羟基结构的一类化合物。酚类活性成分作为次生代谢产物,通常表现出较强的抗氧化活性。药食同源香辛料中主要存在酚酸类、黄酮类、香豆素类以及木脂素类等酚类化合物,如芦丁^[14]、姜酚^[19-20]等活性成分。

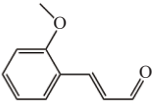
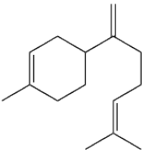
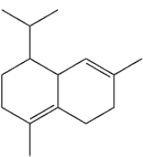
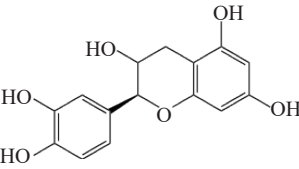
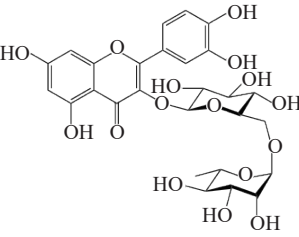
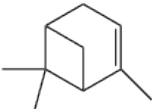
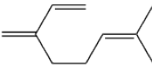
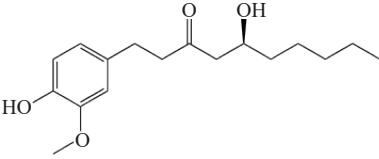
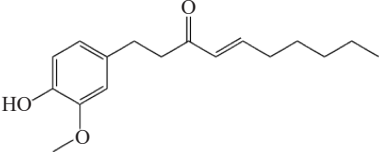
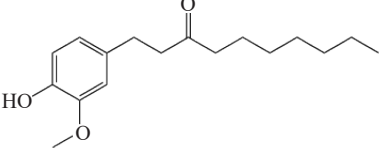
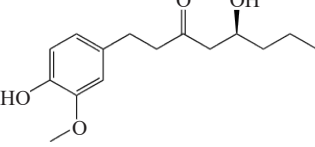
苷类活性成分主要是糖或糖衍生物的端基碳原子与非糖物质连接形成的一类化合物,如西红花苷 I^[21]和西红花苷 II^[22],是西红花酸与不同糖结合而成的酯苷类,作为西红花的主要活性成分,具有抗癌毒^[23]、抗肿瘤^[24]、抗抑郁^[15]等功效。

表 1 药食同源香辛料主要活性成分来源及其分子结构

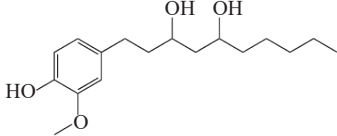
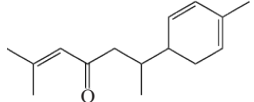
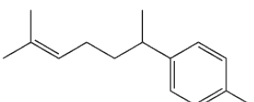
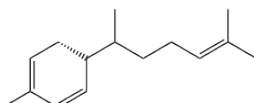
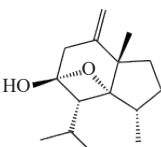
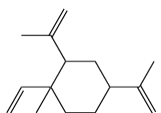
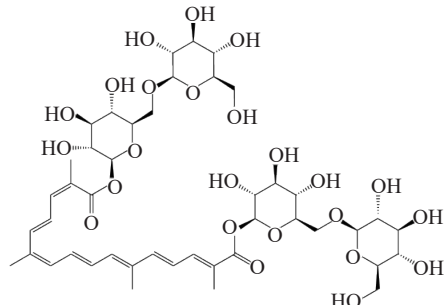
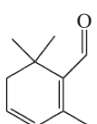
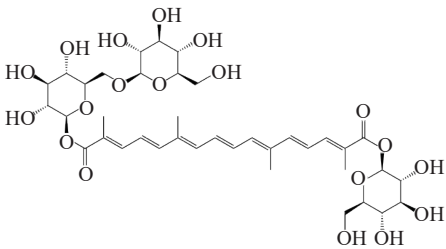
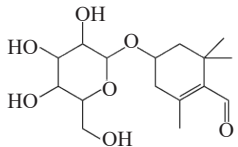
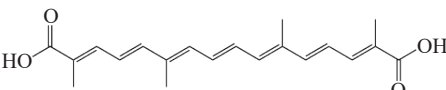
Table 1 Source and molecular structures of main active ingredients from medicine and food homology spices

香辛料分类	药食同源香辛料名称	活性成分	分子式	化学结构	参考文献
浓香型	小茴香	小茴香酮	$C_{10}H_{16}O$		[16]
		香芹酮	$C_{10}H_{14}O$		[16]
		茴香醛	$C_8H_8O_2$		[16]
		γ -萜品烯	$C_{10}H_{16}$		[16]
	肉桂	乙酸小茴香酯	$C_{12}H_{20}O_2$		[16]
		肉桂醛	C_9H_8O		[25]
		乙酸肉桂酯	$C_{11}H_{12}O_2$		[25]

续表 1

香辛料分类	药食同源香辛料名称	活性成分	分子式	化学结构	参考文献
辛辣型		邻甲氧基肉桂醛	$C_{10}H_{10}O_2$		[26]
		β -红没药烯	$C_{15}H_{14}$		[26]
		杜松烯	$C_{15}H_{24}$		[26]
	花椒	羟基- α -山椒素	$C_{16}H_{25}NO_2$		[14]
		儿茶素	$C_{15}H_{14}O_6$		[14]
		芦丁	$C_{27}H_{30}O_{16}$		[14]
		α -蒎烯	$C_{10}H_{16}$		[17]
		β -月桂烯	$C_{10}H_{16}$		[17]
	生姜	6-姜酚	$C_{17}H_{26}O_4$		[19]
		6-姜烯酚	$C_{17}H_{24}O_3$		[19]
		6-姜酮酚	$C_{17}H_{26}O_3$		[19]
		4-姜酚	$C_{15}H_{22}O_4$		[20]

续表 1

香辛料分类	药食同源香辛料名称	活性成分	分子式	化学结构	参考文献
姜黄		6-姜二醇	$C_{17}H_{28}O_4$		[20]
		姜黄酮	$C_{15}H_{22}O$		[18]
		芳姜黄烯	$C_{15}H_{22}$		[18]
		α -姜烯	$C_{15}H_{24}$		[18]
		姜黄醇	$C_{15}H_{24}O_2$		[18]
		榄香烯	$C_{15}H_{24}$		[18]
淡香型	西红花	西红花苷 I	$C_{44}H_{64}O_{24}$		[21]
		藏红花醛	$C_{10}H_{14}O$		[21]
		西红花苷 II	$C_{38}H_{54}O_{19}$		[22]
		藏红花苦素	$C_{16}H_{26}O_7$		[22]
		藏红花酸	$C_{20}H_{24}O_4$		[22]

2 药食同源香辛料的功能特性及其机制分析

药食同源香辛料具有多种功能特性,如抗氧化、

抗微生物、抗炎镇痛、抗癌、抗抑郁、减肥、杀虫等,已成为保健食品^[27]、日用品^[28]及农资产品^[29]等领域

开发研究的热点。

2.1 抗氧化功能

合成添加剂的滥用带来了许多食品安全隐患,开发和研制高效和安全的天然抗氧化剂已成为全球范围内的发展趋势^[30]。氧化应激反应是指体内氧化和抗氧化作用之间的失衡状态,它是由体内自由基引起的负面影响,被认为是衰老和疾病的重要因素^[31]。由表 2 可知,药食同源香辛料活性成分具有 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, DPPH)、2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS]^[14,32-35]和羟基等自由基^[33]的清除能力、Fe³⁺还原能力^[34-35],部分清除活性优于二丁基羟基甲苯(butylated hydroxytoluene, BHT)或维生素 C(vitamin C, V_C)^[33],与酚类和黄酮类活性成分正相关^[32],其机制可能与提高机体内超氧化物歧化酶(superoxidedismutase, SOD)水平、降低丙二醛(malondialdehyde, MDA)水平、调节抗氧化平衡系统、清除过量自由基、减轻氧化损伤^[36]有关。

2.2 抗微生物功能

2.2.1 抗细菌功能 细菌可通过分解营养物质快速进行繁殖,导致食物腐败变质,对人体健康构成威胁^[37]。此外,抗生素不合理使用而造成的细菌耐药性越来越严重,药食同源香辛料以其资源丰富、毒副作用小、安全性高等特点,为细菌耐药性问题的解决提供了新思路^[38]。由表 3 可知,药食同源香辛料活性成分表现出较好的细菌抑制活性^[39-40],诱导形成活性

氧,破坏受试细菌细胞完整性,导致细胞壁和细胞膜受损,致使细胞内成分泄露^[41]。同时,对于食源性致病细菌的抑制活性明显^[42],能够降低受试细菌生物被膜黏附性,促进细胞内蛋白质和核酸的泄露^[43]。此外,对于人类致口臭菌,也能够有效降低受试细菌生物膜活性^[44]。

2.2.2 抗真菌功能 随着免疫抑制剂、激素及抗生素的广泛应用,侵袭性真菌尤其是白色念珠菌,感染发病率和致死率逐年升高^[45],已严重威胁人类健康。另外水果、蔬菜及其它食品极易受到真菌病原体的污染而发霉腐烂^[46-47]。由表 4 可知,药食同源香辛料活性成分通过对白色念珠菌等病原真菌增殖活性的抑制,从而发挥抗真菌活性^[48];同时通过对耐药白色念珠菌生物膜的破坏,起到协同抗耐药的作用^[49]。另外,其通过控制菌丝生长,抑制孢子萌发,破坏细胞壁完整性,进而诱导病原菌死亡^[50-51],对匍枝根霉和细极链格孢等病原真菌起到较好的抗真菌活性^[52]。此外,对烟曲霉和黑曲霉等曲霉菌的抗真菌活性也十分显著^[13]。

2.2.3 抗病毒功能 病毒感染引发的疾病具有种类繁多、传染性较强、发病率高、死亡率高等特点^[53],例如新型冠状病毒(severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, SARS-CoV-2)、甲型流感病毒等传染性的大规模爆发,给人类生命健康带来严重危害^[54-55]。由表 5 可知,药食同源香辛料提取物及其活性成分能提高靶细胞对小 RNA 病毒^[56]、人类免疫缺陷病毒 I 型(human immunodeficiency virus-1,

表 2 药食同源香辛料的抗氧化功能
Table 2 Anti-oxidant functions from medicine and food homology spices

药食同源香辛料	研究模型	主要成分	效果/机制	参考文献
小茴香	体外(DPPH•, FRAP法还原能力, ABTS ⁺ •清除和β-胡萝卜素漂白)	小茴香提取物(总多酚和黄酮类)	具有DPPH•清除活性,与总多酚和黄酮含量正相关;具有Fe离子氧化还原能力,与黄酮含量正相关;具有ABTS ⁺ •清除能力;提高β-胡萝卜素氧化抑制率	[32]
肉桂	体外(ABTS ⁺ •清除和FRAP法还原能力)	肉桂精油和肉桂醛	16 g/L肉桂精油对ABTS ⁺ •清除率达到94.1%,是肉桂醛的3倍;肉桂精油总抗氧化能力随着质量浓度的增加而增大;FRAP值为1502 μmol/L,16 g/L肉桂精油总抗氧化能力是肉桂醛的5.8倍	[35]
花椒	体外(DPPH•清除和ABTS ⁺ •清除)	花椒提取物(主要成分为羟基-α-山椒素、儿茶素和芦丁)	儿茶素(和芦丁)与辣椒素结合后,具有明显的DPPH•、ABTS ⁺ •清除能力;羟基-α-山椒素本身不具备亚硝酸盐清除活性,与辣椒素结合后,具有明显的自由基清除能力	[14]
生姜	体外(DPPH•和ABTS ⁺ •清除能力,羟基自由基和超氧阴离子清除能力,还原能力)	生姜精油	具有明显的DPPH•、ABTS ⁺ •清除能力,优于BHT,呈浓度依赖性;具有羟基自由基清除能力(0.5 mg/mL),与BHT相当,优于V _C ;具有超氧阴离子清除能力(0.6 mg/mL),优于BHT;具有还原能力,呈浓度依赖性	[33]
姜黄	断奶杜大长仔猪	姜黄素(200 mg/kg+饲喂基础饲料)	提高空肠黏膜中SOD、CAT含量;降低空肠黏膜中MDA含量;提高空肠黏膜中总抗氧化能力	[36]
西红花	体外(DPPH•, ABTS ⁺ •清除和FRAP法还原能力)	西红花提取物(主要成分藏红花醛)	提高DPPH•清除率;提高ABTS ⁺ •清除率;具有FRAP法铁还原能力	[34]

注:铁离子还原/抗氧化能力(ferric ion reducing antioxidant power, FRAP);谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px);过氧化氢酶(catalase, CAT)。

表 3 药食同源香辛料的抗细菌功能

Table 3 Anti-bacterial functions from medicine and food homology spices

药食同源香辛料	研究菌株	主要成分	效果/机制	参考文献
小茴香	金黄色葡萄球菌、表皮葡萄球菌、大肠杆菌和铜绿假单胞菌	小茴香精油(主要成分为反式茴香脑和柠檬烯)	提高金黄色葡萄球菌、大肠杆菌的抑菌活性	[39]
肉桂	食源性肠炎沙门氏菌和单增李斯特菌	肉桂精油	对两种致病菌的抑菌活性呈浓度依赖性;促进两种致病菌电导率上升,蛋白质和核酸泄露与肉桂精油浓度呈正相关;减少两种致病菌的黏附和AI-2活性;降低两种致病菌的菌落数	[43]
花椒	致口臭菌(具核梭杆菌和牙龈卟啉单胞菌)	花椒精油(主要成分为芳樟醇)	提高两种受试菌的抑制效果,破坏受试菌的形态结构,对菌体造成不可逆损伤;降低两种受试菌生物膜活性;减少两种受试菌生物量	[44]
生姜	金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、鲍曼不动杆菌、肺炎克雷伯菌	新鲜生姜汁	提高所有受试菌抑菌活性,且与新鲜生姜汁含量呈正比	[40]
姜黄	金黄色葡萄球菌	姜黄素	促进受试菌细胞膜损伤,导致细胞内成分泄露;破坏受试菌细胞完整性、非特异性酯酶活性;提高细胞内ROS水平	[41]
西红花	四种食源性疾病致病菌	藏红花花瓣提取物(黄酮类化合物)	增强金黄色葡萄球菌、单核李斯特菌杀菌活性;增强大肠杆菌、鼠伤寒沙门氏菌抑菌活性	[42]

注: 活性氧(reactive oxygen species, ROS); 最小抑菌浓度(minimal inhibition concentration, MIC); 自诱导分子2(autoinducer-2, AI-2)。

表 4 药食同源香辛料的抗真菌功能

Table 4 Anti-fungal functions from medicine and food homology spices

药食同源香辛料	研究菌株	主要成分	效果/机制	参考文献
小茴香	细极链格孢	小茴香精油(主要成分为反式茴香脑和蒎烯)	抑制受试菌生物量、孢子萌发、菌丝生长;破坏受试菌细胞膜结构及其完整性;提高麦角固醇合成抑制率,影响细胞膜完整性;促进细胞内容物泄露,导致受试菌死亡	[51]
肉桂	七种饲料中常见真菌	肉桂精油及其主要组分(肉桂醛等)	肉桂醛对孔曲霉、黄曲霉、黑曲霉、烟曲霉、枝状枝孢菌、艾米斯托克篮状菌、轮状镰刀菌的抗真菌活性最佳	[13]
花椒	耐药白色念珠菌	花椒提取物(γ -山椒素等)	提高耐药白色念珠菌的抗真菌活性;提高真菌生物膜的破坏性;恢复耐药白色念珠菌对氟康唑的敏感性	[49]
生姜	菠菜叶斑相关的链格孢菌	生姜提取物(无水乙醇、水、乙酸乙酯和甲醇)	甲醇提取物抗真菌活性最高;降低菠菜叶斑病的严重程度	[52]
姜黄	白念珠菌、热带念珠菌、光滑念珠菌、近平滑念珠菌和克柔念珠菌	姜黄提取物(3 mg/mL)	提高受试真菌的抑菌活性	[48]
西红花	水果腐烂致病菌(匍枝根霉、指状青霉、灰霉病菌)	藏红花花瓣提取物(酚类和黄酮类化合物)	提高三种致病真菌的菌丝生长、孢子萌发抑制率,呈浓度依赖性;降低灰霉病和绿霉病严重程度	[50]

表 5 药食同源香辛料的抗病毒功能

Table 5 Anti-viral functions from medicine and food homology spices

药食同源香辛料	研究菌株	主要成分	效果/机制	参考文献
肉桂	禽流感H7N3	肉桂提取物银纳米颗粒	增强抗病毒活性,在病毒感染前和感染后均有效,500 $\mu\text{g/mL}$ 浓度下对Vero细胞无毒	[59]
花椒	小RNA病毒(人鼻病毒和肠道病毒)	花椒甲醇提取物	对小RNA病毒细胞表现出广谱抗病毒活性,利巴韦林对受试病毒未表现出抗病毒活性	[56]
生姜	基孔肯雅病毒	生姜提取物	提高Vero细胞活力,细胞存活率最大无毒剂量为62.5 $\mu\text{g/mL}$	[57]
姜黄	人巨细胞病毒	姜黄素(8、10、12、15 $\mu\text{mol/L}$)	减少靶细胞病变效应的产生,呈剂量依赖性;抑制病毒DNA复制,下调病毒蛋白表达水平,呈剂量依赖性	[58]
西红花	HIV-1和HSV-1	藏红花提取物(主要成分为西红花苷)	显示出抗HSV-1、抗HIV-1活性;病毒进入Vero细胞后抑制HSV复制,抑制HSV在靶细胞的渗透	[23]

HIV-1)和单纯疱疹病毒 I 型(herpes simplex virus-1, HSV-1)^[23] 的抗病毒活性,增强靶细胞对基孔肯雅病毒活力^[57],降低人巨细胞病毒对靶细胞的病变效应^[58]。

此外,对禽流感病毒也表现出较强的抗病毒活性^[59]。

2.3 抗炎镇痛功能

炎症作为机体对外部环境的自然反应,在许多

慢性疾病的发病机制中起着至关重要的作用^[60];当炎症诱发神经损伤后,会通过神经元将疼痛信号传递给大脑,同时炎症及其介质会从受损组织中释放导致疼痛发生^[61]。由表 6 可知,足趾肿胀^[62]和耳肿胀^[63-64]炎症动物模型及扭体法、甩尾法和热板法疼痛动物模型^[65]研究发现,药食同源香辛料活性成分能够起到较好的抑制炎症和延长痛觉潜伏期的效果。机制主要在于其抑制促炎因子水平^[66-67],降低相关蛋白^[68]及炎症小体核苷酸结合寡聚结构域样受体(nucleotide-binding oligomerization domain-like receptor 3, NLRP3)的表达^[69],可能与 Toll 样受体 4(Toll-like receptor 4, TLR4)/髓样分化因子(myeloid differentiation factor 88, MyD88)信号通路有关^[68]。

2.4 抗癌功能

已有研究证明,通过调节宿主的日常饮食,改变癌细胞生存的微环境,从而发挥抗癌功效^[70]。由表 7 可知,体外细胞试验研究表明,药食同源香辛料活性成分能够阻滞细胞周期^[71]、抑制糖酵解^[72]等,从而降低癌细胞分化、增殖和迁移^[71-73],诱导癌细胞凋亡或自噬^[74],达到抗癌效果。体内动物模型研究表明,药食同源香辛料活性成分通过诱导癌细胞线粒体毒性^[73],调节免疫细胞因子水平,如白细胞介素-2(interleukin-2, IL-2)、肿瘤坏死因子- α (tumour necro-

ting factor- α , TNFF- α)、干扰素- γ (interferon- γ , IFN- γ)等^[75],延迟生物损伤^[24],其机制可能与丝裂原活化蛋白激酶(mitogen-activated protein kinase, MAPK)/肿瘤蛋白 p53(recombinant tumor protein p53, p53)/TNF 信号通路^[71]有关。

2.5 抗抑郁功能

抑郁是常见的慢性精神障碍疾病,近年来全球发病率呈上升趋势^[76]。由表 8 可知,药食同源香辛料活性成分对抑郁症动物模型的多巴胺能系统^[77]具有调节作用,可通过改善下丘脑-垂体-肾上腺(hypothalamic pituitary adrenal axis, HPA)轴功能^[78],调节大脑多巴胺(dopamine, DA)、5-羟色胺(5-hydroxytryptamine, 5-HT)、去甲肾上腺素(Noradrenaline, NE)、皮质酮(corticosterone, CORT)等神经递质水平^[78-79],减少大脑海马区神经元凋亡^[80],增强海马新生神经元的功能整合^[15],促进炎症因子 IL-6 和 TNF- α 分泌^[81],最终改善实验动物的行为学^[15,78-81]和生化指标^[81],其机制可能与磷脂酰肌醇-3-激酶(phosphatidylinositol-3-kinase, PI3K)/RAC- α 丝氨酸/氨酸苏氨酸蛋白激酶(RAC- α serine/threonine-protein kinase, Akt)^[78]、miR-146a-5p/细胞外调解激酶(extracellular regulated kinase, ERK)^[80]或无翅型 MMTV 整合位点家族(wingless-type MMTV integ-

表 6 药食同源香辛料的抗炎镇痛功能
Table 6 Anti-inflammatory and analgesic functions from medicine and food homology spices

药食同源 香辛料	研究模型	实验成分/剂量	效果/机制	参考文献
肉桂	体外(脂多糖诱导人FLS炎症)	肉桂醛(10、20、50 $\mu\text{mol/L}$)	抑制脂多糖诱导的FLS炎症反应,对人骨关节炎FLS无潜在毒性 降低TLR4和MyD88表达(通过阻断TLR4/MyD88信号通路抑制脂多糖诱导的人OA-FLS中的炎症)	[68]
	C57BL/6J小鼠(脓毒症)	肉桂醇(2 g/kg)	减少脓毒症小鼠肝脏、心脏、肺脏和肾脏的炎症反应; 降低炎症细胞因子白细胞介素-1 β 、白细胞介素-18水平; 降低肝脏、心脏、肺和肾脏中凋亡相关斑点样蛋白的表达; 降低ASC、Caspase-1、NLRP3炎症小体的表达(通过NLRP3炎症小体途径减轻脓毒症综合征)	[69]
花椒	Wistar大鼠(扭体法、甩尾法和热板法)	花椒甲醇提取物(100、200、400 mg/kg)	扭体实验中,减少腹部收缩次数,提高腹部收缩抑制率; 甩尾实验中,延长痛觉潜伏期; 热板实验中,延长痛觉潜伏期	[65]
生姜	体外(脂多糖+IFN- γ 诱导RAW264.7细胞)	生姜+姜黄组合(5:2, w/w)	减少脂多糖诱导的一氧化氮生成; 降低促炎介质TNF、细胞因子白细胞介素-6水平; 上调核因子 κ B相关因子2蛋白活性、血红素加氧酶-1蛋白表达	[66]
	SD大鼠(足跖肿胀)+ICR小鼠(耳肿胀,扭体法和热板法)	生姜+天南星组合(3.25、6.5、13 g/kg)	抑制大鼠足跖肿胀; 抑制小鼠耳肿胀,效果呈剂量依赖性; 减少腹腔注射醋酸引起的小鼠扭体次数	[63]
姜黄	体外(脂多糖诱导水牛乳腺上皮细胞)	姜黄提取物(10、30、50、100 $\mu\text{g/mL}$)	下调促炎因子,如肿瘤坏死因子- α 、白细胞介素-6水平; 下调核因子 κ B表达; 上调核因子 κ B相关因子2 mRNA表达	[67]
	昆明小鼠(足趾肿胀、耳肿胀、扭体法和热板法)	姜黄精油(1.25、2.50、4.00 $\mu\text{L/g}$)	抑制耳肿胀度,呈剂量依赖性; 抑制足趾肿胀度; 降低炎症组织中前列腺素E2释放,呈剂量依赖性; 减少扭体次数,呈剂量依赖性; 延长舔足反应时间,痛阈提高呈时间依赖性	[64]
西红花	Albino小鼠(热板法和足趾肿胀)	藏红花乙醇提取物(800 mg/kg)	延长舔足反应时间; 降低足趾肿胀体积; 提高足趾肿胀抑制率	[62]

注:成纤维细胞样滑膜细胞(fibroblast-like synoviocytes of osteoarthritis, OA-FLS);C-末端半胱天冬酶募集结构域(c-terminal caspase recruitment domain, ASC);含半胱氨酸的天冬氨酸蛋白水解酶-1(cysteinyI aspartate specific proteinase-1, Caspase-1)。

表 7 药食同源香辛料的抗癌功能

Table 7 Anti-cancer functions from medicine and food homology spices

药食同源 香辛料	研究模型	实验成分/剂量	效果/机制	参考文献
小茴香	体外(QGY-7701和 Bel-7404人肝细胞癌细胞)	小茴香75%乙醇提取物(QGY-7701细胞为0.125、0.25、0.5 mg/mL; Bel-7404细胞为0.2、0.4、0.8 mg/mL)	降低癌细胞生存能力, 诱导凋亡; 抑制癌细胞迁移	[73]
	BALB/c裸鼠(Bel-7404人肝细胞癌)	小茴香75%乙醇提取物(200 mg/kg)	抑制癌细胞增长; 降低生存蛋白水平, 诱导线粒体毒性, 激活Caspase-3蛋白酶, 诱导癌细胞凋亡; 由于生存蛋白的抑制, 促使癌细胞对小茴香提取物诱导的凋亡敏感; 没有诱导正常肝细胞中生存蛋白或凋亡毒素的降低	
肉桂	体外(5637膀胱癌细胞)	肉桂酸水提取物(1.25、2.50、5 mg/mL)	下调ErbB2、热冲击因子1、乳酸脱氢酶A基因的表达; 降低热冲击因子1、乳酸脱氢酶A的蛋白水平、抑制LDH活性、葡萄糖消耗和乳酸生成, 呈剂量依赖性; 通过抑制糖酵解和诱导凋亡来抑制5637细胞的增殖	[72]
花椒	体外(A375黑色素瘤细胞)	花椒精油(主要为不饱和脂肪酸, 体积比0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.45%、0.5%)	抑制A375细胞的侵袭和增殖, 通过G1期阻滞和诱导凋亡; 影响MAPK/p53/TNF信号通路	[71]
生姜	体外(A549、HepG2、HeLa、MDA-MB-231和HCT116癌细胞)	生姜提取物(0.5 mg/mL)	显著的肿瘤细胞生长抑制作用; 下调HCT116、A549细胞系中ATR、CHK1的表达	[74]
姜黄	昆明小鼠(U14宫颈癌)	姜黄素(100 mg/mL)	肿瘤细胞明显皱缩, 细胞核固缩或碎裂, 病理性核分裂减少; 肿瘤体积、质量、IL-2、TNF- α 、IFN- γ 、骨桥蛋白、癌胚抗原、鳞状细胞癌抗原、CD8 ⁺ 水平显著低于模型组; 抑瘤率、CD3 ⁺ 、CD4 ⁺ 、自然杀伤性T细胞含量显著高于模型组	[75]
西红花	体外(U251、U87、U138和U373胶质母细胞癌细胞)	西红花苷 I (250、500 μ mol/L)	减少肿瘤活细胞数量, 细胞形态深层变化; 下调分化簇CD44、CD90、CXCR4细胞间质标记物表达; 上调 β III微管蛋白和神经丝神经元线性相关标记物表达; 下调U251、U87细胞中组蛋白脱乙酰酶、HDAC1、HDAC3表达; 下调U138、U373细胞中组蛋白去乙酰化酶1表达; 脂肪酸合成酶、CD44蛋白标志物被有效抑制	[24]
	CD1裸鼠(U251和U87胶质母细胞癌细胞)	西红花苷 I (100 mg/kg)	抑制皮下U251、U87细胞的生长; 提高实验动物生存率, 生物损伤延迟	

注: 人表皮生长因子受体2(human epidermal growth factor receptor 2, ErbB2); 急性移植排斥(acute transplant rejection, ATR); 细胞周期检测点激酶1(checkpoint kinase1, Chk1); 趋化因子C-X-C基元受体4(recombinant chemokine C-X-C-motif receptor 4, CXCR4)。

表 8 药食同源香辛料的抗抑郁功能

Table 8 Anti-depression functions from medicine and food homology spices

药食同源 香辛料	研究模型	实验成分/剂量	效果/机制	参考文献
小茴香	Albino小鼠(FST和OFT)	茴香精油(主要为 α -蒎烯和柠檬烯)(200 mg/kg)	增强舒必利和氟哌啶醇等多巴胺能系统协同作用; 增强利坦色林和P-氯苯丙氨酸等血清素能系统协同作用	[77]
肉桂	C57BL6J小鼠(SPT、FST、TST和OFT)	肉桂酸(100、200 mg/kg)	减弱TST、FST、SPT中的抑郁样行为; 上调促炎细胞因子IL-6、TNF- α 水平; 上调脑源性神经营养因子(BDNF) 改善脂多糖诱导的SOD、GHS、MDA等氧化应急参数;	[81]
花椒	ICR小鼠(SPT、FST、TST、OFT和EPM)	花椒精油(主要为D-柠檬烯和芳樟醇)(50、100、1500 mg/kg)	延长OFT实验中心区停留时间, EPM实验开放臂停留时间; 缩短FST、TST不动持续时间; 上调海马区5-HT、DA、NE水平; 下调HPA轴CRF、CORT水平; 提高PI3K和Akt mRNA表达; 改善CORT诱导的PC12细胞凋亡	[78]
生姜	C57BL/6小鼠(OFT、FST和TST)	去氢姜酮(100 mg/kg)	提高与单胺氧化酶结合能力; 缩短TST、FST不动持续时间; 提高脑内神经递质水平	[79]
姜黄	Wistar大鼠(SPT、FST和OFT)	姜黄素(40 mg/kg)	提高SPT实验蔗糖摄入量; 缩短FST不动持续时间; 减少海马CA1区神经元凋亡; 降低miR-146a-5p水平; 下调海马CA1区正常p-ERK信号表达	[80]
西红花	C57BL/6小鼠(SPT、TST、FST和OFT)	西红花苷 I (12.5、25 mg/kg)	缩短TST、FST不动持续时间; 促进祖细胞的增殖和分化, 树突成熟和海马新生神经元的功能整合; 促进Wnt/ β -catenin信号传导	[15]

注: 悬尾实验(tail suspension test, TST); 强迫游泳实验(forced swim test, FST); 糖水偏好实验(sucrose preference test, SPT); 旷场实验(open field test, OFT); 高空十字迷宫实验(elevated plus-maze test, EPM); 脑源性神经营养因子(brain-derived neurotrophic factor, BDNF)。

ration site family, Wnt) / β -连环蛋白 (recombinant beta catenin, β -catenin)^[15] 信号通路相关。

2.6 减肥功能

肥胖主要是由于高能量摄入和低能量消耗之间的不平衡而引起的健康问题^[82], 与高血压、高血脂、心脑血管疾病及 2 型糖尿病等多种疾病有关^[83-84]。由表 9 可知, 体外脂肪细胞抑制研究表明, 药食同源香辛料活性成分能够调节过氧化物酶体增殖物激活受体 γ (peroxisome proliferator-activated receptors γ , PPAR γ)、CAAT 区/增强子结合蛋白 (CCAAT/enhancer binding protein, C/EBP) 家族、胆固醇调节元件结合蛋白 (sterol-regulatory element binding proteins, SREBP) 等与细胞脂肪生成、脂质稳态和脂肪细胞分化相关的重要转录因子, 以及调节肉碱酰基转移酶 (carnitine palmityl transferase, CPT); 受体 γ 共激活因子 1 (peroxisome proliferator-activated receptor γ coactivator-1, PGC-1); 细胞死亡诱导 DFFA 样效应因子 A (cell death inducing DFFA-like effector A, CIDEA) mRNA 水平, 从而抑制油滴积累、减少油滴大小、促进脂肪细胞分化^[85-88]。肥胖动物模型研究

表明, 其能够降低高脂饮食喂养动物模型的体质量、脂肪组织质量、血清甘油三酯和总胆固醇水平, 但其效果取决于活性成分剂量和持续时间^[89-93]。另外, 研究发现, 小茴香膳食^[94] 和肉桂茶^[95] 分别对中年女性和青少年肥胖人群表现出较好的减肥效果。

2.7 杀虫功能

随着 society 对生态环境保护与药物安全的重视程度不断提升, 植物源杀虫剂以其天然、低毒、易降解、不易耐药等特性受到学者的广泛关注^[96]。药食同源香辛料及其活性成分具有较好的杀虫、防虫活性, 在新型绿色杀虫剂的开发应用中前景广阔。例如花椒精油对储藏仓库害虫表现出较好的杀虫性和驱虫性, 在食品工业中得到普遍应用^[97]。张敏等^[98] 研究了姜黄根 95% 乙醇粗提液及姜黄酮对苜蓿蚜无翅成蚜的触杀活性, 24 h 后 LC₅₀ 值分别达 3226.27、706 mg/L。

3 结语与展望

目前, 我国对香辛料的研究已逐步深入, 但对于药食同源香辛料的深入研究较少。药食同源香辛料含有丰富的活性成分, 主要包萜类、酚类和苷类等,

表 9 药食同源香辛料的减肥功能
Table 9 Anti-obesity functions from medicine and food homology spices

药食同源 香辛料	研究模型	实验成分/剂量	实验时间	效果/机制	参考 文献
小茴香	中年肥胖(女性)	低热量膳食(含有10%小茴香)	8周	改善受试者认知功能、代谢状况; 改善体质量; 降低血清A β 蛋白水平	[94]
	3T3-L1脂肪细胞	肉桂醛	48 h	促进脂质储存积累; 增加脂肪酸氧化; 上调CPT1、PGC1、PPAR γ 、CIDE的mRNA水平	[85]
	肉桂	肉桂醛(10 mg·kg ⁻¹ BW)	14周	防止HFD诱导的体重增加; 降低禁食诱导的高食欲、循环瘦素水平、瘦素/胃饥饿素比率; 降低甘油、游离脂肪酸水平; 增加下丘脑中厌食症基因表达、内脏中白色脂肪组织脂解基因表达; 下调C/EBP、血清IL-1 β 中炎症基因表达	[89]
			15 d	降低体质量、BMI、臀围	[95]
生姜	SD大鼠(雄性)	提取物(含有0.25%的HFD和0.5%生姜提取物)	14周	降低体质量、附睾脂肪组织质量, 而不影响能量摄入; 提升线粒体大小、线粒体DNA含量; 上调骨骼肌中PGC-1 α 、NRF-1、Tfam基因表达; 提高血清中高密度脂蛋白胆固醇; 上调肝脏中ABCA1、ApoA-1、LCAT mRNA表达	[90]
			18周	降低体质量 上调PPAR δ 基因在骨骼肌和肝脏中的表达	[91]
	3T3-L1脂肪细胞	姜黄素	2 d	延长p27蛋白半衰期 下调PPAR γ 、C/EBP α 基因表达 减弱脂肪蛋白酶活性	[87]
	C57BL6J小鼠(雄性)	姜黄素(40、80 mg·kg ⁻¹ BW)	12周	减少体质量增加、脂肪积累 提高血脂水平、胰岛素敏感性 下调SREBPs表达	[92]
姜黄	SD大鼠(雄性)	姜黄素(50、100、200 mg·kg ⁻¹ BW)	28 d	减少体质量增加、高甘油三酯血症 (姜黄素200 mg·kg ⁻¹ BW)	[93]
	原代大鼠脂肪细胞	西红花苷 I	—	下调TNF- α 、脂联素、瘦素的mRNA表达	[88]

注: 核呼吸因子-1(nuclear respiratory factor-1, NRF-1); 线粒体转录因子A(mitochondrial transcription factor A, Tfam); ATP结合盒转运子A1(ATP-binding cassette transporter A1, ABCA1); 载脂蛋白A-1(apolipoprotein A-1, ApoA-1); 卵磷脂胆固醇酰基转移酶(lecithin cholesterol acyltransferase, LCAT); “—”表示未提及。

赋予其多样性的功能特性,如抗氧化、抗微生物、抗炎镇痛、抗癌、抗抑郁、免疫调节、保护肝脏、减肥和杀虫。对其成分、活性及其量效关系的剖析,有利于拓宽药食同源香辛料在功能食品、保健品和药品制剂等领域开发利用。现有研究为药食同源香辛料潜在应用的开发奠定了良好基础,尽管如此,仍需要不断努力分析发挥功能特性的多组物质基础,提供明确的物质结构信息,进一步阐明构效关系、量效关系以及潜在的分子机制。同时拓宽药食同源香辛料的研究方向,扩大市场应用领域,推动产业化创新发展。

参考文献

- [1] 赵德刚. 关于药食同源植物研究[J]. 植物生理学, 2021, 57(7): 1383-1384. [ZHAO D G. Research on the medicine food homology plants[J]. Plant Physiology Journal, 2021, 57(7): 1383-1384.]
- [2] 刘超群, 任越, 张燕玲. 药食同源食品质量控制的研究现状及策略[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(14): 3963-3967. [LIU C Q, REN Y, ZHANG Y L. Research status and strategy on quality control of medicine and food homologous food[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2022, 47(14): 3963-3967.]
- [3] PAGES-REBULL J, PÉREZ-RÀFOLS C, SERRANO N, et al. Classification and authentication of spices and aromatic herbs by means of HPLC-UV and chemometrics[J]. Food Bioscience, 2023, 6: 102401.
- [4] GIORDANO M, PETROPOULOS S A, KYRIACOU M C, et al. Nutritive and phytochemical composition of aromatic microgreen herbs and spices belonging to the Apiaceae family[J]. Plants, 2022, 11(22): 3057.
- [5] 刘江, 朱大军, 李洪亮, 等. SPME/GC-MS 分析火锅中常见 6 种香辛料挥发性成分物质[J]. 中国调味品, 2022, 47(5): 178-782. [LIU J, ZHU D J, LI H L, et al. SPME/GC-MS analysis on volatile components of six common spices in hot pot[J]. China Condiment, 2022, 47(5): 178-782.]
- [6] LUCA S V, TRIFAN A, ZENGIN G, et al. Evaluating the phyto-complexity and poly-pharmacology of spices: The case of *Aframomum melegueta* K. Schum (Zingiberaceae)[J]. Food Bioscience, 2022, 49: 101929.
- [7] PRABHUJI S K, RAO G P, PANDE S, et al. *Cinnamomum* species: Spices of immense medicinal and pharmacological values[J]. Medicinal Plants-international Journal of Phytomedicines and Related Industries, 2021, 13(2): 202-220.
- [8] 刘丹, 贾娜, 杨磊, 等. 3 种不同香辛料提取物对猪肉肌原纤维蛋白功能特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 14-19. [LIU D, JIA N, YANG L, et al. Influence of three different spice extracts on functional characteristics of pork myofibrillar protein[J]. Food Science, 2017, 38(15): 14-19.]
- [9] LU Q, LI R, YANG Y, et al. Ingredients with anti-inflammatory effect from medicine food homology plants[J]. Food Chemistry, 2022, 368: 130610.
- [10] 禹晓婷, 苏伟, 齐琦, 等. 响应面优化药食同源基质制曲工艺及酒体成分分析[J]. 食品科学, 2019, 40(12): 123-130. [YU X T, SU W, QI Q, et al. Optimization of koji-making with culinary medicinal matrices by response surface methodology and component analysis of rice wine[J]. Food Science, 2019, 40(12): 123-130.]
- [11] 刘琦, 王玉美, 李静辉, 等. 基于 UPLC-MS 法探究药食同源金莲花的化学成分及其裂解规律[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(11): 51-61. [LIU Q, WANG Y M, LI J H, et al. Chemical components and pyrolysis regularity study of medicine and food homology *Trollius chinensis* Bge. by UPLC-MS[J]. China Food Additives, 2022, 33(11): 51-61.]
- [12] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T21725-2017 天然香辛料分类[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. [The State Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, Standardization Administration. GB/T21725-2017 Classification of Natural Spices [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.]
- [13] 闫红秀, 刘香萍, 任乃芃, 等. 肉桂精油及其主要组分对饲料中常见真菌的抑菌活性的研究[J]. 饲料工业, 2022, 43(17): 47-53. [YAN H X, LIU X P, REN N F, et al. Study on antibacterial activity of cinnamon essential oil and its main components against common fungi in feed[J]. Feed Industry, 2022, 43(17): 47-53.]
- [14] PENG Q, LU Y, MO R, et al. Antioxidant and nitrite-scavenging activities of *Zanthoxylum bungeanum* maxim. and *Capsicum annuum* L.: A synergistic, additive or antagonistic effect of the extracts?[J]. European Food Research and Technology, 2021, 247(11): 2877-2885.
- [15] TAO W, RUAN J, WU R, et al. A natural carotenoid crocin exerts antidepressant action by promoting adult hippocampal neurogenesis through Wnt/ β -catenin signaling[J]. Journal of Advanced Research, 2023, 43: 219-231.
- [16] AHMED A F, SHI M, LIU C, et al. Comparative analysis of antioxidant activities of essential oils and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seeds from Egypt and China[J]. Food Science and Human Wellness, 2019, 8(1): 67-72.
- [17] 向章敏, 刘恩刚. 基于全二维气相色谱-四级杆飞行时间质谱高通量检测青花椒挥发性香气成分[J]. 中国调味品, 2022, 47(11): 158-163. [XIANG Z M, LIU E G. High-throughput detection of volatile aroma components in *Zanthoxylum armatum* based on comprehensive two-dimensional gas chromatography-quadrupole time-of-flight mass spectrometry[J]. China Condiment, 2022, 47(11): 158-163.]
- [18] 强悦越, 韦航, 方灵, 等. 福建姜黄挥发油化学成分的 HS-SPME-GC-MS 分析[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(1): 147-153. [QIANG Y Y, WEI H, FANG L, et al. Analysis of chemical components of volatile oil in turmeric (*Curcuma longa* L.) from Fujian by HS-SPME-GC-MS[J]. China Food Additives, 2020, 31(1): 147-153.]
- [19] ZHANG X, HU G, XU C, et al. Inhibition of benzo [a] pyrene formation in charcoal-grilled pork sausages by ginger and its key compounds[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2023, 103(6): 2838-2847.
- [20] 顾如霞, 葛凤芹, 刘步云, 等. 生姜提取物抑制培根风干成熟过程中的亚硝化反应[J]. 现代食品科技, 2022, 38(9): 198-205. [GU R X, GE F Q, LIU B Y, et al. Inhibition of nitrosation in dry-cured bacon by ginger extract[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(9): 198-205.]
- [21] JAMEEL Q Y, MOHAMMED N K, AJEEL M A. Fabrication of nutraceutical beverage from saffron (*Crocus sativus* L.) extract and studying its health effects[J]. International Journal of Food Science, 2023: 10.
- [22] XIONG J, GRACE M H, KOBAYASHI H, et al. Evaluation of saffron extract bioactivities relevant to skin resilience[J]. Journal of Herbal Medicine, 2023, 27: 100629.
- [23] SOLEYMANI S, ZABIHOLLAHI R, SHAHBAZI S, et al. Antiviral effects of saffron and its major ingredients[J]. Current

Drug Delivery, 2018, 15(5): 698–704.

[24] COLAPIETRO A, MANCINI A, VITALE F, et al. Crocetin extracted from saffron shows antitumor effects in models of human glioblastoma[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2020, 21(2): 423.

[25] 张竿旻, 陈耿, 李伟光, 等. 贮存时间对不同规格肉桂的挥发油含量及主要成分含量的影响[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(5): 138–147. [ZHANG Z H, CHEN G, LI W G, et al. Effect of storage time on volatile oil content and main components in cinnamon by different cinnamon tree bark[J]. China Food Additives, 2022, 33(5): 138–147.]

[26] 于泓鹏, 邹金池, 吴克刚, 等. 肉桂精油香氛抗菌活性及成分分析[J]. 现代食品科技, 2022, 38(12): 239–246. [YU H P, ZOU J C, WU K G, et al. Antibacterial activity and compositional analysis of aromatic vapours from cinnamon essential oil[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(12): 239–246.]

[27] 贾福怀, 王彩霞, 袁媛, 等. 姜黄保健食品开发现状分析[J]. 农产品加工, 2020(13): 69–72. [JIA F H, WANG C X, YUAN Y, et al. Status analysis of *Curcuma longa* Linn related health foods[J]. Farm Products Processing, 2020(13): 69–72.]

[28] 余拓, 叶蔚娴, 王娟. 肉桂提取液的抗菌效果研究及肉桂洗洁精开发[J]. 日用化学工业, 2018, 48(1): 42–46. [YU T, YE W X, WANG J. Study on the antibacterial effect of the extract of cinnamon and the development of cinnamon cleanser essence[J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2018, 48(1): 42–46.]

[29] 张玮, 李会荣, 宫玲玲. 高效液相色谱法测定混合型饲料添加剂中肉桂醛、丁香酚、香芹酚和百里香酚含量[J]. 饲料研究, 2020, 43(2): 64–69. [ZHANG W, LI H R, GONG L L, et al. Study on the determination of cinnamaldehyde, eugenol, carvacrol and thymol in mixed feed additives by liquid chromatograph[J]. Feed Research, 2020, 43(2): 64–69.]

[30] FRANCO R, NAVARRO G, MARTÍNEZ-PINILLA E. Antioxidants versus food antioxidant additives and food preservatives[J]. Antioxidants, 2019, 8(11): 542.

[31] EBERT T, TRAN N, SCHURGERS L, et al. Ageing-oxidative stress, PTMs and disease[J]. Molecular Aspects of Medicine, 2022, 86: 101099.

[32] 郭佳, 魁永忠, 夏洪斌, 等. 不同品种小茴香果实挥发性成分、多酚、黄酮含量及抗氧化性比较分析[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(8): 215–224. [GUO J, KUI Y Z, XIA Y B, et al. Comparative analysis of volatile compounds, polyphenols, flavonoids and antioxidant capacities of different *Foeniculum vulgare* Mill cultivars[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(8): 215–224.]

[33] 段斌, 葛永红, 李灿婴, 等. 生姜精油的提取及体外抗氧化性研究[J]. 包装与食品机械, 2018, 6(6): 25–30. [DUAN B, GE Y H, LI C Y, et al. Extraction and antioxidant activity *in vitro* of ginger essential oil[J]. Packaging and Food Machinery, 2018, 6(6): 25–30.]

[34] KABIRI G, HSSAINI L, NAIM N, et al. Aromatic potential, quality and antioxidant activity of saffron grown in Morocco[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2023, 38(1): 13–26.

[35] 路露, 束成杰, 葛翎, 等. 肉桂精油和肉桂醛的抑菌、抗氧化和酪氨酸酶抑制活性研究[J]. 林产化学与工业, 2022, 42(3): 105–110. [LU L, SHU C J, GE L, et al. The antibacterial activity, antioxidant and antityrosinase activities of cinnamon essential oil and cinnamaldehyde[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2022, 42(3): 105–110.]

[36] 洪奇华, 李鑫, 徐求文, 等. 姜黄素对断奶仔猪肠道屏障、抗氧化和线粒体功能的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2022, 58(6):

251–255. [HONG Q H, LI X, XU Q W, et al. Effects of curcumin on intestinal barrier, oxidative stress and mitochondrial function in weaned piglets[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2022, 58(6): 251–255.]

[37] DAVARES A K L, ARSENE M M J, VIKTOROVNA P I, et al. Quorum-sensing inhibitors from probiotics as a strategy to combat bacterial cell-to-cell communication involved in food spoilage and food safety[J]. Fermentation, 2022, 8(12): 711.

[38] BIONDO C. Bacterial antibiotic resistance: The most critical pathogens[J]. Pathogens, 2023, 12(1): 116.

[39] GHASEMIAN A, AL-MARZOQI A H, MOSTAFAVI S K S, et al. Chemical composition and antimicrobial and cytotoxic activities of *Foeniculum vulgare* Mill essential oils[J]. Journal of gastro-intestinal cancer, 2020, 51: 260–266.

[40] KARDOĞAN Ö, GÜCEYÜ Ç, GONCAGÜL G, et al. What about the antibacterial activity of fresh ginger juice (*Zingiber officinale*)?[J]. Journal of Advances in Medicine and Medical Research, 2021, 33(19): 163–172.

[41] YUAN Y, LIU Q, HUANG Y, et al. Antibacterial efficacy and mechanisms of curcumin-based photodynamic treatment against *Staphylococcus aureus* and its application in juices[J]. Molecules, 2022, 27(20): 7136.

[42] NAIM N, BOUYMAJANE A, OULAD EL MAJDOUB Y, et al. Flavonoid composition and antibacterial properties of *Crocus sativus* L. petal extracts[J]. Molecules, 2022, 28(1): 186.

[43] 洪小利, 严媛, 林玲森, 等. 肉桂精油对食源性肠炎沙门氏菌和单增李斯特菌的抑菌作用[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(17): 54–60. [HONG X L, YAN Y, LIN L M, et al. Antibacterial activity of cinnamon essential oil against foodborne *Salmonella enteritidis* and *Listeria monocytogenes* [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(17): 54–60.]

[44] 易金枝, 程志敏, 陈彦荣, 等. 红花椒精油对致口臭菌的抗菌和抗生物膜活性研究[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(2): 166–175.

[YI J Z, CHEN Z M, CHEN Y R, et al. The antibacterial and antibiofilm activities of *Zanthoxylum bungeanum* essential oils (ZBEOs) against the halitosis-causing bacteria[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(2): 166–175.]

[45] ENOCH D A, YANG H, ALIYU S H, et al. The changing epidemiology of invasive fungal infections[J]. Human Fungal Pathogen Identification: Methods and Protocols, 2017, 1508: 17–65.

[46] YAN J, WU H, SHI F, et al. Antifungal activity screening for mint and thyme essential oils against *Rhizopus stolonifer* and their application in postharvest preservation of strawberry and peach fruits[J]. Journal of Applied Microbiology, 2021, 130(6): 1993–2007.

[47] MATIĆ S, GILARDI G, VARVERI M, et al. Molecular diversity of *Alternaria* spp. from leafy vegetable crops, and their sensitivity to azoxystrobin and boscalid[J]. Phytopathologia Mediterranea, 2019, 58(3): 519–534.

[48] MOHAMMAD ABU BAKR SIDDIQUE, LADKE VAIBHAV SUNIL, SHIROL PALLAVI D, et al. Anti-fungal activity of commercially available extracts of garlic (*Allium sativum*), turmeric (*Curcuma longa*), amla (*Embllica officinalis*): An *in vitro* study[J]. Journal of Pharmaceutical Research International, 2021, 33(45A): 437–447.

[49] MA D Y, WANG Z J, CHEN Y C, et al. Antifungal compounds of Chinese prickly ash against drug-resistant *Candida albicans* [J]. Food Chemistry: X, 2022, 15: 100400.

[50] NAIM N, FAUCONNIER M L, ENNAHLI N, et al. Chemi-

cal composition profiling and antifungal activity of saffron petal extract[J]. *Molecules*, 2022, 27(24): 8742.

[51] 马江锋, 曾红. 小茴香挥发油对红枣黑斑病菌的抑菌活性及其作用机制的初步研究[J]. 西北农业学报, 2016, 25(3): 450–457.

[MA J F, ZENG H. Antifungal activity and preliminary mechanism of essential oil from *Foeniculum vulgare* Mill on *Alternaria tenuissima*[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2016, 25(3): 450–457.]

[52] KIPKOGI K, KIPTUI K, KIPROP E. Antifungal potential of *Curcuma longa* (Turmeric) and *Zingiber officinale* (Ginger) against *Alternaria alternata* infecting spinach in Kenya[J]. *World Journal of Agricultural Research*, 2019, 7(4): 124–131.

[53] YAMAYA M, KIKUCHI A, SUGAWARA M, et al. Anti-inflammatory effects of medications used for viral infection-induced respiratory diseases[J]. *Respiratory Investigation*, 2023, 61(2): 270–283.

[54] HARRIS J D, PARK S W, DUSHOFF J, et al. How time-scale differences in asymptomatic and symptomatic transmission shape SARS-CoV-2 outbreak dynamics[J]. *Epidemics*, 2023: 100664.

[55] OSSEI P P S, TAYLOR J, AGYEMAN-DUAH E, et al. Outbreak of influenza a viral infection in Ghana: A consideration of autopsy findings and a mini-review of the literature[J]. *Forensic Science International: Reports*, 2019, 1: 100032.

[56] CHOI H J. Evaluation of antiviral activity of *Zanthoxylum* species against picornaviruses[J]. *Osong Public Health and Research Perspectives*, 2016, 7(6): 400–403.

[57] KAUSHIK S, JANGRA G, KUNDU V, et al. Anti-viral activity of *Zingiber officinale* (Ginger) ingredients against the Chikungunya virus[J]. *Virusdisease*, 2020, 31: 270–276.

[58] 丁香, 岳冀蓉, 董碧蓉, 等. 姜黄素抗人巨细胞病毒感染的体外实验研究[J]. 生物医学工程学杂志, 2022, 39(6): 1158–1164.

[DING X, YUE J R, DONG B R, et al. Activity of curcumin against human cytomegalovirus infection *in vitro*[J]. *Journal of Biomedical Engineering*, 2022, 39(6): 1158–1164.]

[59] FATIMA M, SADAF ZAIDI N S, AMRAIZ D, et al. In vitro antiviral activity of *Cinnamomum cassia* and its nanoparticles against H7N3 influenza a virus[J]. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2016, 26(1): 151–159.

[60] ZHONG J, SHI G. Regulation of inflammation in chronic disease[J]. *Frontiers in Immunology*, 2019, 10: 737.

[61] RONCHETTI S, MIGLIORATI G, DELFINO D V. Association of inflammatory mediators with pain perception[J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2017, 96: 1445–1452.

[62] KHAN A, MUHAMAD N A, ISMAIL H, et al. Potential nutraceutical benefits of *in vivo* grown saffron (*Crocus sativus* L.) as analgesic, anti-inflammatory, anticoagulant, and antidepressant in mice[J]. *Plants*, 2020, 9(11): 1414.

[63] 王泊宁, 樊碧发, 王延雷, 等. 天南星-生姜药对的抗炎镇痛活性研究[J]. 中国疼痛医学杂志, 2022, 28(9): 673–679. [WANG B N, FAN B F, WANG Y L, et al. Study on anti-inflammatory and analgesic effect of rhizoma arisaematis-zingiber drug pair[J]. *Chinese Journal of Pain Medicine*, 2022, 28(9): 673–679.]

[64] 卢彩会, 牟德华. 姜黄油的抗炎镇痛及体外抗氧化活性[J]. 食品科学, 2018, 39(1): 243–249. [LU C H, MU D H. Anti-inflammatory, analgesic and *in vitro* antioxidant activities of turmeric oil[J]. *Food Science*, 2018, 39(1): 243–249.]

[65] P PAVANI, R ASHWATHANARAYANA, NAIKA RAJA. Evaluation of the analgesic activity of the leaf methanolic extract of *Zanthoxylum ovalifolium* wight[J]. *International Research Journal*

of Pharmacy, 2019, 10(6): 33–36.

[66] ZHOU X, AFZAL S, WOHLMUTH H, et al. Synergistic anti-inflammatory activity of ginger and turmeric extracts in inhibiting lipopolysaccharide and interferon- γ -induced proinflammatory mediators[J]. *Molecules*, 2022, 27(12): 3877.

[67] AMIN I, RASHID S M, SHUBEENA S, et al. TLR4/NF κ B-mediated anti-inflammatory and antioxidative effect of hexanic and ethanolic extracts of *Curcuma longa* L. in buffalo mammary epithelial cells[J]. *Separations*, 2022, 9(12): 414.

[68] CHEN P, ZHOU J, RUAN A, et al. Cinnamic aldehyde, the main monomer component of Cinnamon, exhibits anti-inflammatory property in OA synovial fibroblasts via TLR4/MyD88 pathway[J]. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 2022, 26(3): 913–924.

[69] ZOU L, LI C, CHEN X, et al. The anti-inflammatory effects of cinnamyl alcohol on sepsis-induced mice via the NLRP3 inflammasome pathway[J]. *Annals of Translational Medicine*, 2022, 10(2): 48.

[70] MÉNDEZ-LUCAS A, YUNEVA M. Dinner is served, sir: Fighting cancer with the right diet[J]. *Cell*, 2021, 184(26): 6226–6228.

[71] PANG W, LIU S, HE F, et al. Anticancer activities of *Zanthoxylum bungeanum* seed oil on malignant melanoma[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2019, 229: 180–189.

[72] AMINZADEH Z, ZIAMAJIDI N, ABBASALIPOURK-ABIR R, et al. Antitumor activities of aqueous cinnamon extract on 5637 cell line of bladder cancer through glycolytic pathway[J]. *International Journal of Inflammation*, 2022, 2022: 3855368.

[73] KE W, WANG H, ZHAO X, et al. *Foeniculum vulgare* seed extract exerts anti-cancer effects on hepatocellular carcinoma[J]. *Food & Function*, 2021, 12(4): 1482–1497.

[74] LI T, PAN D, PANG Q, et al. Diarylheptanoid analogues from the rhizomes of *Zingiber officinale* and their anti-tumour activity[J]. *RS Advances*, 2021, 11(47): 29376–29384.

[75] 陈祥艳, 孙云, 陈舒, 等. 姜黄素对宫颈癌小鼠的抗肿瘤活性及免疫功能的影响[J]. 中国现代应用药学, 2019, 36(15): 1861–1864. [CHEN X Y, SUN Y, CHEN S, et al. Effect of curcumin on anti-tumor activity and immune function in cervical cancer mice[J]. *Chinese Journal of Modern Drug Application*, 2019, 36(15): 1861–1864.]

[76] 曾玉筱, 陈枫, 蔡向红, 等. 381例卒中恢复期抑郁障碍患者的中医证候特征分析[J]. 中国中医基础医学杂志, 2021, 27(9): 1420–1425. [ZENG Y X, CHEN F, CAI X H, et al. Analysis of TCM syndrome characteristics of 381 patients with depressive disorder in the convalescent stage of stroke[J]. *Journal of Basic Chinese Medicine*, 2021, 27(9): 1420–1425.]

[77] ABBASI-MALEKI S, MALEKI S G. Antidepressant-like effects of *Foeniculum vulgare* essential oil and potential involvement of dopaminergic and serotonergic systems on mice in the forced swim test[J]. *Pharma Nutrition*, 2021, 15: 100241.

[78] TANG D, LIANG Q, ZHANG M, et al. Anti-depression effectiveness of essential oil from the fruits of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. on chronic unpredictable mild stress-induced depression behavior in mice[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2022, 13: 999962.

[79] MOORKOTH S, PRATHYUSHA N S, MANANDHAR S, et al. Antidepressant-like effect of dehydrozingerone from *Zingiber officinale* by elevating monoamines in brain: *in silico* and *in vivo* studies[J]. *Pharmacological Reports*, 2021, 73(5): 1273–1286.

[80] FAN C, LI Y, LAN T, et al. Prophylactic treatment of cur-

- cumin in a rat model of depression by attenuating hippocampal synaptic loss[J]. *Food & Function*, 2021, 12(22): 11202–11213.
- [81] ZHUO R, CHENG X, LUO L, et al. Cinnamic acid improved lipopolysaccharide-induced depressive-like behaviors by inhibiting neuroinflammation and oxidative stress in mice[J]. *Pharmacology*, 2022, 107(5-6): 281–289.
- [82] BLÜHER M. Obesity: Global epidemiology and pathogenesis[J]. *Nature Reviews Endocrinology*, 2019, 15(5): 288–298.
- [83] PICHÉ M E, TCHERNOF A, DESPRÉS J P. Obesity phenotypes, diabetes, and cardiovascular diseases[J]. *Circulation Research*, 2020, 126(11): 1477–1500.
- [84] WUEHL E. Hypertension in childhood obesity[J]. *Acta Paediatrica*, 2019, 108(1): 37–43.
- [85] LEE S G, SIAW J A, KANG H W. Stimulatory effects of cinnamon extract (*Cinnamomum cassia*) during the initiation stage of 3T3-L1 adipocyte differentiation[J]. *Foods*, 2016, 5(4): 83.
- [86] TZENG T F, CHANG C J, LIU I M. 6-Gingerol inhibits rosiglitazone-induced adipogenesis in 3T3-L1 adipocytes[J]. *Phytotherapy Research*, 2013, 28(2): 187–192.
- [87] FERGUSON B S, NAM H, MORRISON R F. Curcumin inhibits 3T3-L1 preadipocyte proliferation by mechanisms involving post-transcriptional p27 regulation[J]. *Biochemistry and biophysics reports*, 2016, 5: 16–21.
- [88] MASHMOUL M, AZLAN A, KHAZA'AI H, et al. Saffron: a natural potent antioxidant as a promising anti-obesity drug[J]. *Antioxidants*, 2013, 2(4): 293–308.
- [89] KHARE P, JAGTAP S, JAIN Y, et al. Cinnamaldehyde supplementation prevents fasting-induced hyperphagia, lipid accumulation, and inflammation in high-fat diet-fed mice[J]. *Biofactors*, 2016, 42(2): 201–211.
- [90] OH S, LEE M S, JUNG S, et al. Ginger extract increases muscle mitochondrial biogenesis and serum HDL-cholesterol level in high-fat diet-fed rats[J]. *Journal of Functional Foods*, 2017, 29: 193–200.
- [91] MISAWA K, HASHIZUME K, YAMAMOTO M, et al. Ginger extract prevents high-fat diet-induced obesity in mice via activation of the peroxisome proliferator-activated receptor δ pathway[J]. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2015, 26(10): 1058–1067.
- [92] DING L, LI J, SONG B, et al. Curcumin rescues high fat diet-induced obesity and insulin sensitivity in mice through regulating SREBP pathway[J]. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2016, 304: 99–109.
- [93] PARASURAMAN S, ZHEN K M, BANIK U, et al. Ameliorative effect of curcumin on olanzapine-induced obesity in Sprague-Dawley rats[J]. *Pharmacognosy Research*, 2017, 9(3): 247–252.
- [94] EL SHEBINI S, MOATY M I, KAZEM Y M, et al. Relation between obesity, cognition and serum amyloid β protein level and potential role of *Foeniculum vulgare* in reducing weight and improving cognitive functions[J]. *Journal of Biological Sciences*, 2017, 17(5): 202–212.
- [95] MANGLA G P, MARY M T, THENMOZHI P, et al. Effectiveness of cinnamon tea in reducing weight among late obese adolescence[J]. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 2017, 10(4): 156–159.
- [96] ZHANG P, QIN D, CHEN J, et al. Plants in the *Genus tephrosia*: Valuable resources for botanical insecticides[J]. *Insects*, 2020, 11(10): 721.
- [97] WANG Y, ZHANG L T, FENG Y X, et al. Insecticidal and repellent efficacy against stored-product insects of oxygenated monoterpenes and 2-dodecanone of the essential oil from *Zanthoxylum planispinum* var. *dintanensis*[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, 26(24): 24988–24997.
- [98] 张敏, 刘佳, 傅伟杰, 等. 姜黄根提取物对苜蓿蚜成蚜有杀虫活性化合物的分离与鉴定[J]. *昆虫学报*, 2018, 61(6): 698–703.
- [ZHANG M, LIU J, FU W J, et al. Isolation and identification of insecticidal compounds from *Curcuma longa* roots against *Aphis craccivora* (Hemiptera: Aphididae) adults[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2018, 61(6): 698–703.]