

姜科药食同源资源功能性评价与产业化研究进展

梁立娟, 檀业维, 冯春梅*, 荣涛, 张美华, 黎新荣

广西壮族自治区亚热带作物研究所, 广西南宁 530001

摘要: 姜科植物作为重要的药食同源资源, 在传统饮食与医药中应用广泛, 兼具营养与多种生理调节功能, 具有广阔的应用前景。以纳入国家卫生健康委按照传统既是食品又是中药材的物质目录管理的姜(包括生姜和干姜)、益智、草果、姜黄、砂仁、山柰和高良姜 7 种姜科植物为研究对象, 通过系统文献综述与产业分析, 对其核心功能性成分、药理活性、产业化现状进行梳理。结果表明, 该类植物普遍富含挥发油、姜辣素、姜黄素、黄酮及多糖等成分, 表现出抗炎、抗氧化、调节代谢、神经保护及潜在抗肿瘤等生物活性。同时构建了完善的功能性成分提取鉴定方法与生物活性评价体系。产业链环节分析显示, 当前姜科资源开发程度不均, 面临种植分散、加工粗放、标准缺失、品牌薄弱及产学研协作深度不足等共性问题。据此提出推行全产业链标准化、加强精深加工与高值产品开发、构建产学研协同创新体系、实施品牌化与国际化战略等建议。未来研究需融合多组学等前沿技术开展作用机制探索, 并通过高质量临床研究提供循证支持, 以技术创新推动高值产品的研发与布局, 使姜科资源从“资源优势”向“产业优势”转化, 服务于大健康产业与区域经济发展。

关键词: 姜科; 药食同源; 生物活性成分; 姜辣素; 姜黄素; 抗炎; 抗氧化; 产业化

中图分类号: R284 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2026)09-3656-14

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.09.033

Functional evaluation and industrialization of Medicinal and Edible Zingiberaceae Resources

LIANG Lijuan, TAN Yewei, FENG Chunmei, RONG Tao, ZHANG Meihua, LI Xinrong

Guangxi Zhuang Autonomous Region Subtropical Crops Research Institute, Nanning 530001, China

Abstract: Zingiberaceae plants are important medicinal and edible resources, widely used in traditional diets and medicine. They combine nutritional value with diverse physiological regulatory functions, holding significant potential for future applications. This study focused on seven Zingiberaceae species listed in the National Health Commission's inventory of traditional food and medicinal materials: *Zingiber officinale* (ginger, including fresh and dried forms), *Alpinia oxyphylla*, *Amomum tsaoko*, *Curcuma longa*, *A. villosum*, *Kaempferia galanga*, and *Alpinia officinarum*. A systematic literature review and industrial analysis were conducted to summarize their core functional components, pharmacological activities, and industrialization status. The results showed that these plants are generally rich in volatile oils, gingerols, curcumin, flavonoids, and polysaccharides, exhibiting bioactivities such as anti-inflammatory, antioxidant, metabolic regulatory, neuroprotective, and potential antitumor effects. Furthermore, a comprehensive system for extracting and identifying these functional components and evaluating their bioactivities has been established. Analysis of the industrial chain revealed uneven development of Zingiberaceae resources, with common challenges including fragmented cultivation, extensive processing, lack of standardization, weak branding, and insufficient industry-academia-research collaboration. Corresponding recommendations were proposed: promoting whole-chain standardization, advancing deep processing and high-value product development, building collaborative innovation systems, and implementing branding and internationalization strategies. Future research should integrate advanced technologies like multi-omics to elucidate mechanisms of action and provide evidence-based support through high-quality clinical studies. Technological innovation will drive the development and layout of high-value products, facilitating the transformation of Zingiberaceae resources from a “resource advantage” into an “industrial advantage”, thereby contributing to the health industry and regional economic development.

收稿日期: 2025-10-11

基金项目: 广西农业科学院基本科研业务专项(桂农科 2025YP140, 桂农科 2026YT019)

作者简介: 梁立娟, 女, 高级农艺师, 研究方向为农产品加工与质量安全。E-mail: 1091643976@qq.com

*通信作者: 冯春梅, 女, 教授级高级工程师, 研究方向为果蔬贮运保鲜与品质评价。E-mail: 516249910@qq.com

Key words: Zingiberaceae; medicinal and edible homology; bioactive components; gingerols; curcumin; anti-inflammation; antioxidant; industrialization

随着公众健康意识的提升,兼具营养和保健双重功能的药食同源资源迎来了前所未有的发展机遇。依据世界卫生组织的统计资料,全球约65%的消费者偏好含有天然成分的健康产品^[1]。药食同源物质随着“寓养于膳、食药同功”的理念逐渐深入人心,对全球健康产业的发展格局产生了影响。我国拥有世界上最丰富的药食同源植物资源,其中姜科植物是重要的类别之一。在我国自然分布的姜科植物有21属,231种(含变种),如生姜、姜黄、砂仁、高良姜、草果等,因具备独特的风味及富含生物活性显著的功能性成分,在我国及东南亚的饮食文化和传统医药体系中发挥着不可替代的作用^[2-3]。现代药理学研究表明,姜科植物普遍富含挥发性精油、姜辣素、姜黄素类化合物、黄酮及多糖等具备抗炎、抗氧化、调节代谢、保护神经、调节肠道菌群及潜在抗肿瘤等多重生理调节功能^[4-6],是开发用于预防和辅助治疗慢性疾病的天然功能性食品、保健食品或药品的理想原料。同时,姜科植物资源因含有某些特殊成分,还可应用于食品保鲜或日化产品的研发^[7-11],市场前景极为广阔。

近年来,姜科植物作为药食同源植物中的重要类别,愈发受到消费者的广泛青睐,新产品不断涌现,其产业呈现出快速发展态势,市场规模持续扩大。然而,该领域依然面临一些挑战,诸如资源评价标准不统一、精深加工技术不足、现有产品附加值不高等问题。与此同时,尽管已有大量研究报道了姜科植物的有效成分及其潜在的药理作用,但多数研究聚焦于单一物种或单一功能。根据药用植物亲缘学理论,亲缘相近的植物含有相似的化学或生物活性成分、具有相似的疗效,龙小琴等^[4]的研究结果证实姜科植物中药也具备很多共性,有必要进行归类分析。因此,系统总结姜科植物资源功能性成分评价及产业化研究的进展,对于推动该领域科研水平和产业发展具有重要意义。

我国在药食资源的开发利用方面,有着严格的管理和规范要求,需要遵循《中华人民共和国食品安全法》《中华人民共和国药品管理法》等国家法规以及相关管理规定,按用途不同,还需遵照不同的标准和要求,例如药材需符合《中国药典》及药材相关管理规范要求;食品按食品管理规范(涵盖食

品原料、新食品原料、食品添加剂和食品安全卫生等标准要求);同时,还需要满足原料标准要求的种植规范等。国家卫生健康委会同市场监管总局根据《中华人民共和国食品安全法》及其实施条例,为规范按照传统既是食品又是中药材的物质目录管理,制定了《按照传统既是食品又是中药材的物质目录管理规定》(该目录简称食药物质目录),将具有30年以上食用历史且列入《中国药典》中的物质,经评估审查后纳入目录进行动态管理。本综述拟被纳入食药物质目录管理的7种姜科植物资源为重点,全面梳理该类姜科植物的功能性成分、药理作用以及产业化开发状况,分析当前面临的问题和挑战,并展望未来的发展方向,为相关研究和产业实践提供参考。

1 姜科药食同源资源概况

姜科(Zingiberaceae)植物为单子叶植物纲姜目的一科,广泛分布于全球热带和亚热带地区,尤以东南亚地区最为丰富。我国姜科植物资源丰富,自然分布有21属231种(含变种),主要分布在华南、西南和华东地区;国内植物园迁地栽培有32属400余种(含9变种)^[3]。姜科植物大多为多年生草本,普遍具有辛辣特性,并富含芳香性挥发油,多数种类展现出驱风健胃、舒筋活络的药理作用,具有重要的经济价值和药用价值。在中国及东南亚的饮食文化历史中,姜科植物的根茎、嫩叶、花、果实均被用作食材。因其花序、苞片、花、果和叶通常形态各异,色彩丰富,也可作为观赏植物应用^[2-3]。

根据国家卫生健康委发布的食药物质目录相关公告及文献资料整理,目前入选的姜科植物资源主要包括:姜(生姜、干姜)、益智、草果、姜黄、高良姜、砂仁和山柰7种,鉴于生姜与干姜在功效上的差异,它们在《中国药典》中被列为2种不同的药材,因此分别叙述,见表1。这7种姜科食药物质除草果、姜黄、山柰作为香辛料和调味品被纳入管理目录外,其余5种未规定特殊用途。在传统饮食文化中,这些姜科植物资源大多作为调味使用;在传统医学中,因大多具有温中散寒、行气止痛、化湿开胃等功效,常用于治疗消化系统疾病、风湿痹痛、妇科疾病等。

现代研究表明,这些姜科植物资源的功效与其

表1 被纳入食药物质目录的姜科植物资源基本信息

Table 1 Essential information on medicinal and edible Zingiberaceae resources incorporated into Food and Drug substances

物质	植物源	传统功效	备注
生姜	姜科植物姜 <i>Zingiber officinale</i> Rosc.的新鲜根茎	解表散寒、温中止呕、化痰止咳、解鱼蟹毒	2002年纳入目录，在目录中生姜和干姜同归为姜物质；但在《中国药典》中列为2种单独药材，且功效有差异，生姜一般用于风寒感冒，干姜药性强
干姜	姜科植物姜 <i>Z. officinale</i> Rosc.的干燥根茎	温中散寒、回阳通脉、温肺化饮	于生姜，多用于虚寒重症
益智仁	姜科植物益智 <i>Alpinia oxyphylla</i> Miq.的成熟果实去壳之果仁	温脾止泻摄唾、暖肾固精缩尿	2002年纳入目录；食用为去壳之果仁，传统作香辛料和调料时用全果
草果	姜科植物草果 <i>Amomum tsao-ko</i> Crevost et Lemaire的成熟果实	燥湿温中、截疟除痰	2019年纳入目录，规定用途为香辛料和调味品；调配五香粉
姜黄	姜科植物姜黄 <i>Curcuma longa</i> L.的根茎	破血行气、通经止痛	2019年纳入目录，规定用途为香辛料和调味品；咖喱主要原料，天然染色剂
砂仁	姜科植物阳春砂 <i>Amomum villosum</i> Lour、绿壳砂 <i>A. villosum</i> Lour. var. <i>xanthioides</i> T. L. Wuet Senjen 或海南砂 <i>A. longiligulare</i> T. L. Wu 的成熟果实	温脾止泻、化湿开胃、理气安胎	2002年纳入目录，治疗妊娠呕吐，改善消化不良；五香粉和十三香的原料之一
山柰	姜科植物山柰 <i>Kaempferia galanga</i> L.的根茎	行气温中、消食止痛	2019年纳入目录，规定用途为香辛料和调味品；华南地区俗称沙姜，作盐焗鸡的核心香料
高良姜	姜科植物高良姜 <i>Alpinia officinarum</i> Hance 的根茎	散寒止痛、温中止呕	2002年纳入目录；加入各种食物中，可去腥增香解腻，驱寒暖胃

所含的多种功能性成分密切相关^[12-40]，见表2。由表2可见，这些植物在化学成分谱上具有明显的相似性，均含有挥发油类、黄酮类、二苯基庚烷类（含二苯基庚烷类）等若干共性成分，并普遍表现出抗氧化、抗炎、抗菌等基础生物活性，这与其传统药用和食用功能相吻合。然而，也有研究表明不同物质作用强度可能存在差异^[41-42]，这与各物种在功能性成分的组成、质量分数及结构类型上存在显著差异相关，进而影响其生物活性的强度与特异性。如姜中富含的姜辣素类成分（如6-姜酚），可减少8-羟基脱氧鸟苷及活性氧水平，同时升高谷胱甘肽的质量分数，具有较强清除自由基的作用^[12]；而姜黄则以姜黄素类二苯基庚烷为核心，具有较强的抗肿瘤、神经保护及抗幽门螺杆菌活性；益智在挥发油和萜类成分上种类丰富，并含有独特的益智酮类成分，表现出较好的神经保护与改善记忆功能；草果则含有较高质量分数的黄酮类化合物（水提取物中质量分数高达46.34%）^[23]，在抗肿瘤、降血糖、润肠通便方面具有潜力；砂仁中乙酸龙脑酯等挥发油成分质量分

数较高，赋予其显著的胃肠动力促进与镇痛作用；山柰中对甲氧基肉桂酸乙酯等苯丙素类成分为其特征物质，表现出明显的抗微生物与抗肿瘤活性；高良姜则以高良姜素等黄酮类成分为主，兼具抗溃疡与神经保护功能。这些成分与功能上的共性与差异，反映了姜科植物的化学多样性及其对应的生理调节多样性，为姜科植物可作为天然抗氧化、抗炎的普遍资源进行开发，也为其差异化应用（如益智用于认知功能支持、姜黄用于抗肿瘤辅助、砂仁用于胃肠功能调理等）提供了科学依据。

2 功能性成分解析与评价体系

姜科植物功能性成分的研究已从单一成分分析发展到系统评价体系构建。现代研究不仅关注特定成分的分离鉴定，更注重多组分协同效应及整体生物活性的综合评价。传统对于某种姜科植物的整体功能评价和适用范围界定，源于数千年的中医理论与实践，侧重于对物质性状和人体整体反应的观察，根据性味归经、功效应用、配伍进行总结，经过历代积累，汇成了历代中医本草典籍（如《神农

表2 7种药食同源姜科植物主要功能性成分及功效

Table 2 Primary functional components and effects of seven medicinal and edible Zingiberaceae plant resources

植物来源	成分类别	核心成分	主要活性功效	参考文献
姜	挥发油类	生姜中质量分数 $\geq 0.12\%$ *,干姜中质量分数 $\geq 0.8\%$ *; 主要有 α -姜烯、单萜烯、倍半萜烯等53种	抗炎、抗氧化、抗(抑)菌、解热、健胃	12-14
	姜辣素类	6-姜酚(生姜中质量分数 $\geq 0.050\%$ *,干姜中质量分数 $\geq 0.60\%$ *)、8-姜酚+10-姜酚(生姜中两者质量分数 $\geq 0.040\%$ *)、姜烯酚、姜酮等50余种	抗炎、抗氧化、止呕、抗血小板聚集、抗胃溃疡、抗菌、调节免疫、改善心脑血管	12,14-15
	二苯基庚烷类	姜黄素等40多种	抗氧化、抗癌、抗肿瘤、抗炎、降血糖、调血脂、调节免疫	12,14-15
	黄酮类	芦丁、桔皮素、牡荆素、异黄酮等13种	抗氧化、保护细胞、调节免疫	12-13
	其他(有机酸、多糖类)	有机酸(酒石酸、棕榈酸等), 生姜多糖	抗氧化、抗疲劳、降血糖	12-13
益智	挥发油类	质量分数 $\geq 1.0\%$ *, 香橙烯、诺卡酮、芳樟醇、伞花烃等194种	改善记忆、抗炎、抗氧化、镇静、抗菌	16-17
	萜类	以倍半萜类(诺卡酮、oxyphyllol A、香橙烯等111种)为主, 另有单萜类7种、二倍萜类3种	神经保护、抗氧化、抗炎、抗肿瘤、改善学习记忆	16,18
	二苯基庚烷类	益智酮甲(yakuchinone A)、益智酮乙(yakuchinone B)、益智醇、姜烯酮C等19种	抗炎、抗氧化、抗肿瘤、神经保护、抑制血管生成	16,19
	黄酮类	杨芽黄素(tectochrysin)、白杨素(chrysin)、良姜素、山柰素等10种	抗氧化、抗炎、神经保护、抗肿瘤、抗过敏	16,19
	多糖类	杂多糖 AOP70-2-1、AOPPI-3、PAOF	免疫调节、抗病毒、神经保护、抗利尿	17,19
	其他(有机酸类、碱基与核苷类、甾体类、糖苷类)	有机酸类(包括原儿茶酸等13种)、碱基与核苷类(11种)、甾体类(4种)、糖苷类(8种)	除原儿茶酸有实验验证具有抗氧化、神经保护、抗糖尿病、改善肠胃功能外, 其他成分活性功能未见报道	16,19
	草果	挥发油类	质量分数 $\geq 1.4\%$ *, 1,8-桉油素、柠檬醛、香叶醇、 α -蒎烯、 β -蒎烯、2-癸烯醛等133种	调节胃肠功能、抗菌、抗氧化、抗肿瘤、祛痰、抗炎
酚类		邻苯三酚、对羟基苯甲酸、原儿茶酸、原花青素B ₂ 等37种	抗氧化、抗炎、抗菌、清除自由基、润肠通便	20,22-23
黄酮类		槲皮素、槲皮素苷、金丝桃苷、木犀草苷、芦丁等27种, 黄酮类化合物在草果水提取物中占46.34%	抗氧化、抗菌、抗肿瘤、降血糖、润肠通便	20,22-23
二苯基庚烷类		中-汉诺酚、(+)-汉诺酚、草果酮等6种	抗炎、抗氧化、抗菌、抗肿瘤	20,22
双环壬烷类		草果素、异草果素等4种	抗真菌、抗炎、抗菌	20,22
	甾醇类	β -谷甾醇、胡萝卜苷等	抗氧化、抗炎	20,22
姜黄	挥发油类	质量分数 $\geq 7.0\%$ *, 主要含姜黄酮、 α -姜黄酮、 β -姜黄酮、吉马酮、桉叶油精、姜烯等至少39种	抗肿瘤、抗氧化、抗病毒、抗菌、促进消化、驱风解寒	24-25
	二苯基庚烷类	主要为姜黄素类, 包括姜黄素(质量分数 $\geq 1.0\%$ *)、脱甲氧基姜黄素、双脱甲氧基姜黄素等30多种	抗菌、抗氧化、抗肿瘤、抗炎、抗幽门螺杆菌、保护胃黏膜、神经保护	24-26
	多糖类	酸性多糖(如CKAP-2)、中性多糖(如TP-0、TPs-0)、果胶多糖等	抗氧化、抗肝纤维化、抗肿瘤、抗溃疡、降血糖、增强免疫、抗凝血	27

表2 (续)

植物来源	成分类别	核心成分	主要活性功效	参考文献
	黄酮类	黄酮、黄酮醇, 及其糖苷配基杨梅素、山柰酚等至少 8 种	抗氧化、抗炎、抗肿瘤	24-25
砂仁	有机酸类	阿魏酸、绿原酸、丁香酸等 10 多种	抗氧化、抗炎、抗菌	24-25
	酚酸类	水杨酸、间羟基苯甲酸、对羟基苯甲酸、异香草酸、阿魏酸等 9 种	抗氧化、抗炎、抑菌、保护胃黏膜	28,30
	萜类	半日花烷型二萜、龙脑-2,6-二醇葡萄糖苷等至少 7 种	抗炎、降血糖、神经保护	29-30
	黄酮类	槲皮苷、异槲皮苷、槲皮素、儿茶素等 4 种	抗氧化、抗炎、抗菌、降血糖	28-30
	多糖类	至少 2 种, 水解单糖组分为阿拉伯糖、甘露糖、葡萄糖、半乳糖等 4 种, 阿拉伯糖质量分数最高	抗氧化、免疫调节、抗肿瘤、胃肠保护	28-29
山柰 (沙姜)	有机酸类	香草酸、硬脂酸、棕榈酸、苹果酸、乳酸等 9 种	抑菌、消炎、降糖降脂	28,30
	挥发油	质量分数 $\geq 4.5\%$, 桉叶醇、冰片醇、香烯、乙基肉桂酸等 200 多种	抗炎、抗氧化、抗微生物	31-33
	苯丙素类	对甲氧基肉桂酸乙酯 (质量分数 $\geq 3.0\%$)、kaemgalangin F 等至少 7 种	抗肿瘤、抗氧化、抗炎、抗微生物	31,33-35
	萜类	10 余种异戊烷二萜	抗炎、抗菌	36
	酚酸类	对羟基苯甲酸、对甲氧基苯甲酸等 15 种	抗氧化、抗炎、抗肿瘤	31,34-35
	二芳基庚烷类	kaempulfonic acids A、hedycoropyrans A 等 8 种	抗肿瘤、抗炎、抗氧化、抗微生物	32,34-35
	黄酮类	山柰酚、山柰素、木犀草素等 10 余种	抗氧化、抗肿瘤、抗炎、保护心血管	31-33,35
高良姜	挥发油	1,8-桉叶素、桂皮酸甲酯、丁香油酚、樟脑等 170 余种	抗氧化、抗炎、抗菌、抗肿瘤、抗溃疡、镇痛	37-39
	黄酮类	高良姜素 (质量分数 $\geq 0.70\%$)、山柰素、槲皮素、山柰酚等 16 种	抗炎、抗氧化、抗菌、抗肿瘤、神经保护、抗溃疡、抗过敏、镇痛	37-39
	二苯基庚烷类	5-羟基-1,7-二苯基-3-庚酮等不少于 55 种	抗炎、抗氧化、抗菌、神经保护、	37-39
	苯丙素类	对羟基苯丙烯醇、(4E)-1,5-二-(4-羟基苯基)-2-(甲氧基甲基)-4-戊烯-1-醇等 13 种	抗氧化、抗菌 (作为外排泵抑制剂)	37-38
	糖类	包括苯甲酸- β -D-吡喃葡萄糖苷等 11 种小分子糖苷类和大分子多糖类	多糖具有抗氧化、酪氨酸酶抑制及抗菌活性, 糖苷类功能活性未见提及	37,40

*数据来源于《中国药典》2025 年版一部。

Data marked with an asterisk *are derived from *Pharmacopoeia of the People's Republic of China* (2025 edition, volume I).

本草经》《本草纲目》《证类本草》等) 以及地方民族药志, 也存在于民间中医或饮食文化中得到传承。对于成分功能的具体分析和评价, 需要借助现代科技手段, 即从物质基础到生物学效应进行定量和定性分析的方法体系来开展。一个完整的评价路径通常包括: 化学成分分析 \rightarrow 体外实验筛选 \rightarrow 体内动物实验验证 \rightarrow 作用机制研究 \rightarrow 安全性评价 \rightarrow 人体临床试验证实。

2.1 成分提取、分离及鉴定

活性成分的提取、分离和鉴定是功能性评价的基础。姜科植物功能性成分的提取、分离与鉴定技术日益完善, 形成了针对挥发性与非挥发性成分的不同技术体系。

挥发性成分一般通过水蒸气蒸馏法^[43-44]或同时蒸馏萃取法 (simultaneous distillation extraction,

SDE)^[45]提取, 后用气相色谱-质谱联用法 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 结合计算机检索, 将 GC-MS 分离的化合物与数据库中的标准谱图进行比对, 可以实现对挥发性成分的结构鉴定^[43], 需要注意的是不同提取方法, 获取的成分会有差异^[44]; 顶空-固相微萃取法 (headspace solid-phase microextraction, HS-SPME) 是更简便且无溶剂的提取方法, 结合 GC-MS, 可以更快速提取并分析姜科植物中的挥发性成分^[46-47]; 也有傅里叶变换-近红外光谱 (fourier transform near-infrared spectroscopy, FT-NIR) 技术被结合用于快速预测挥发性成分的质量分数, 并辅助产地鉴别^[48]。

非挥发性成分的提取主要依赖于溶剂提取法、酶辅助法和超临界 CO₂ 萃取法等技术, 传统采用色谱技术, 包括硅胶柱色谱、凝胶柱色谱和高效液相

色谱 (high performance liquid chromatography, HPLC) 进行分离纯化, 通过光谱分析技术进行鉴定, 包括核磁共振 (nuclear magnetic resonance, NMR)、质谱 (mass spectrometry, MS)、GC-MS、HPLC-MS 联用技术和红外光谱 (infrared spectroscopy, IR) 等^[49-52]。姜科非挥发性成分的提取、分离及鉴定方法多样, 各有优缺点: 溶剂提取法和酶辅助法适用于初步提取, 而超临界 CO₂ 萃取法则提供更高的效率和选择性; 在分离方面, 硅胶柱色谱、凝胶柱色谱和 HPLC 各有适用场景, HPLC 因其高分辨率而更具优势, 而分子印迹分离纯化法^[53-54]能对目标活性分子进行特异性识别和结合, 因此选择专一性更强, 可用于满足高纯度需求; 鉴定方法中, GC-MS 和 HPLC-MS 适用于复杂混合物的分析, 而 NMR 和 MS 能提供详细的结构信息。

2.2 生物活性评价体系

植物的生物活性及功效需要通过实验手段, 构建评价模型来确认。对于姜科植物有效成分的一个完整、典型的研究流程包括: 体外初筛→机制探究→体内验证→深入应用潜力探究→安全性评价→临床验证。目前对姜科药食同源资源的功能性评价与验证大多尚处于实验室阶段, 甚至有的只通过了体外实验的初步筛选评价, 缺乏后续的验证支持。

2.2.1 体外评价模型 体外评价模型是研究姜科植物功能性成分生物活性的重要手段, 用于各种功能活性的快速筛选, 通常在化学或细胞模型水平进行, 具有快速、低成本的特点。

(1) 抗氧化活性评价: 很多学者用 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) 法、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] 法评价姜科植物有效成分清除自由基的能力, 同时考察铁离子还原抗氧化能力 (ferric reducing antioxidant power, FRAP), 从而对姜科样品的抗氧化潜力有一个初步了解^[41-42,49]; 再结合氧自由基吸收能力 (oxygen radical absorbance capacity, ORAC) 和金属螯合能力实验^[55], 从不同机制角度全面评价, 完成机制探究^[56]; 如果化学法结果显示良好, 则可能会进一步通过细胞模型 (如 H₂O₂ 诱导 H9c2 细胞氧化应激模型^[57]) 验证其在生物体系内的有效性^[58]。

(2) 抗炎活性评价: 研究大多从细胞模型开始, 采用脂多糖 (lipopolysaccharide, LPS) 诱导的巨噬

细胞炎症模型, 检测一氧化氮 (NO)、肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α)、白细胞介素-6 (interleukin-6, IL-6)、白细胞介素-1 β (interleukin-1 β , IL-1 β) 等炎症因子的表达降低水平来评估效果。一般以 LPS 诱导的小鼠巨噬细胞 (RAW 264.7) 细胞模型为首选, 检验提取物抑制体系生成 NO 及 TNF- α 、IL-6、IL-1 β 的抑制能力^[59], 也有学者^[60]将人源细胞系人单核细胞白血病细胞 (THP-1) 型巨噬细胞用于高良姜有效组分抗炎活性的研究; 当筛选结果显示有效, 则通过蛋白免疫印迹检测关键炎症蛋白, 如诱导型一氧化氮合酶 (inducible nitric oxide synthase, iNOS)、环氧酶-2 (cyclooxygenase-2, COX-2) 的表达是否被抑制, 进一步, 会研究其对核因子 κ B (nuclear factor kappa-light-chain-enhancer of activated B cells, NF- κ B) 通路 (如 I κ B- α 的降解、p65 的核转位) 和丝裂原活化蛋白激酶 (mitogen-activated protein kinase, MAPK) 通路, 如 p38 丝裂原活化蛋白激酶 (p38 mitogen-activated protein kinase)、c-Jun 氨基末端激酶 (c-Jun N-terminal kinase, JNK)、细胞外信号调节激酶 (extracellular signal-regulated kinase, ERK) 的磷酸化的抑制作用, 通过实时定量 PCR (quantitative polymerase chain reaction, qPCR) 深入研究目标成分对 NF- κ B 和 MAPK 信号通路的抑制作用^[61]。

(3) 抗肿瘤活性评价: 抗肿瘤活性需要通过观测成分在抑制肿瘤细胞增殖、促进肿瘤细胞凋亡和抑制肿瘤细胞迁移等方面的效果进行评价。文献报道较常见的是通过四甲基偶氮唑盐 [3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide, MTT] 法、细胞计数试剂盒-8 (cell counting kit-8, CCK-8) 法等检测对多种肿瘤细胞增殖的抑制作用。核心原理是利用活细胞线粒体内的琥珀酸脱氢酶的活性来间接反映活细胞的数量和代谢活性, 过程为染料+活细胞→线粒体酶还原染料→生成有色的、可检测的产物; 生成的有色产物量与活细胞的数量成正比, 细胞越多 (或代谢越活跃), 颜色越深。MTT 法是经典法, 在姜科植物成分的评价中应用较多^[42,62-63], 而 CCK-8 法有商品试剂盒供应, 具有操作简便、灵敏度高的优势, 近些年研究也有较多选择^[40,64]。此外, 活细胞成像技术等新技术也被应用于姜科植物成分的抗肿瘤活性评价, 如高妍等^[65]在考察姜黄素等 5 种中药单体的抗肿瘤活性时采用

IncuCyte 活细胞成像技术检测肿瘤细胞的增殖, 采用流式细胞术检测肿瘤细胞凋亡。

(4) 抗菌活性评价: 扩散法和微量对倍稀释法常见用于姜科植物成分对致病菌或目标病菌的抑制作用, 通过测定姜科植物精油或提取物的抑菌圈直径来评估对特定细菌的抑制能力, 也可观察不同稀释倍数提取物的抑制效果, 确定最低抑菌浓度和最低杀菌浓度, 进而评估对特定病菌的抗菌活性。人体致病菌(如大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌^[49]、志贺氏菌^[66]和单核细胞增生李斯特氏菌^[67])和动物致病菌^[68]均有涉及, 结果显示姜科植物成分对多种病菌具有抑制作用。此外, 也有学者^[69]将生姜精油用于抗植物病原菌活性的评价中, 为拓展姜科植物的开发应用途径提供了新思路。

2.2.2 体内评价模型 体内评价模型能够更全面地反映功能性成分的综合生物效应。一般通过外施因素构建动物炎症或疾病模型, 然后给予相应成分, 通过观测动物的细胞、组织或机体反应结果进行评估, 如角叉菜胶诱导的大鼠足爪肿胀模型、LPS诱导的小鼠急性肺损伤模型用于抗炎评估; 移植瘤模型、化学诱导肿瘤模型用于抗肿瘤评价; 高脂饮食诱导的肥胖小鼠模型、链脲佐菌素诱导的糖尿病模型用于代谢性疾病干涉效果评估。何福林等^[70]总结了生姜主要活性成分抗炎特性及作用机制研究所涉及的各种实验模型, 大鼠和小鼠是常用的实验动物。也有学者将斑马鱼模型用于生姜抗肿瘤活性的筛选^[71]。

2.2.3 作用机制研究 随着分子生物学技术的发展, 姜科植物功能性成分的作用机制研究不断深入。网络药理学、分子对接等新兴技术被广泛应用于药物作用机制研究中。经网络药理学分析可知, 生姜的主要活性成分涵盖姜酚、姜烯等, 涉及前列腺素内过氧化物合酶 2 (prostaglandin-endoperoxide synthase 2, PTGS2)、肿瘤蛋白 p53 (tumor protein p53, TP53)、热休克蛋白 90 α 家族 A 类成员 1 (heat shock protein 90 alpha family class A member 1, HSP90AA1) 等 74 个靶点, 其通过对乙型肝炎、癌症通路、Ca²⁺ 信号通路等的调节发挥治疗功效, 尤其在肿瘤和免疫调节领域展现出显著优势^[72-73]。分子对接结果显示, 姜酮和 6-姜烯酚与基质金属蛋白酶 3 (matrix metalloproteinase 3, MMP3) 靶点结合效果良好, 进一步证实其抗炎和免疫调节作用^[74]。网络药理学研究及分子对接分析表明, 姜黄的活性

成分如姜黄素、豆甾醇等, 通过作用于表皮生长因子受体 (epidermal growth factor receptor, EGFR)、信号转导和转录激活因子 3 (signal transducer and activator of transcription 3, STAT3) 等关键靶点, 对细胞增殖、凋亡和炎症反应进行调节, 具备抗肿瘤和抗炎作用。其关键在于活性成分与关键靶点(如 EGFR、STAT3) 具有良好的结合能力, 结合能小于 0, 这表明其与靶点蛋白结合具有稳定性^[75]。

此外, 天然产物结构修饰改性也已成为深入探究姜科成分构效关系、优化性质并创制新化学实体的关键研究方向。例如, 为解决姜黄素可溶性差、生物利用度低的问题, 研究者通过对其苯环、烯酮结构进行化学修饰, 合成了一系列姜黄素类似物、衍生物及纳米复合物, 以提高其稳定性、水溶性和靶向性, 从而更精准地揭示其药效基团并增强体内活性^[76-79]。类似地, 对姜辣素的结构改造也致力于获得活性更高或不良反应更小的新型化合物, 计算机模拟方法也在这些研究中被用于帮助新化合物的发现与优化^[80-82]。这些研究不仅深化了对姜科成分作用机制的理解, 也为创新产品的开发奠定了坚实的化学与生物学基础。

尽管类器官芯片技术目前在姜科植物研究中尚无相关报道, 但其在模拟人体复杂生理环境、评估药物疗效和毒性方面蕴含巨大潜力^[83-85], 未来有望成为评价姜科植物功能的重要工具。

2.2.4 安全性评价与风险评估 虽然姜科植物作为传统食材具有长期食用历史, 但仍需进行系统的安全性评价和风险评估。急性毒性、亚慢性毒性、遗传毒性、生殖毒性等毒理学研究, 以及过敏原、药物相互作用等特殊安全性问题的评估, 然后制定合理的使用范围或用量建议, 如对姜黄及其主要成分姜黄素的健康危害评估及安全性毒理学评价^[86-87]。

2.2.5 临床应用 近年来, 关于姜科植物功能性成分的临床研究逐渐增多。研究表明, 姜提取物对妊娠期恶心呕吐^[88]、化疗引起的恶心呕吐^[89]、骨关节炎^[90]等具有一定的改善作用; 姜黄素在代谢综合征^[91-92]、炎症性疾病^[93]、抑郁症^[94]等的辅助治疗中显示出潜在的应用价值。然而, 当前姜科植物临床研究面临诸多挑战: 大多数研究的样本量较小, 研究设计不够严谨, 缺乏多中心大样本随机双盲对照试验; 研究人群异质性大, 纳入排除标准不统一; 干预措施标准化不足, 如姜科植物提取物成分、剂量、疗程差异大; 结局指标选择不一致, 缺乏统一

的疗效评价标准；长期安全性和耐受性数据缺乏。需要更多高质量、大样本、多中心、随机双盲对照试验等严谨统计学方法来验证其有效性和安全性，已有学者开展了相关研究工作^[95-96]。未来需要在临床试验设计标准化、人群分层、长期随访等方面进行改进，以提供更高质量的临床证据。

3 药食同源姜科资源产业化现状与发展建议

3.1 产业化现状

目前，姜科药食同源植物的开发利用已形成一定规模，但不同品种资源产业化程度差异较大，有的产业发展相对成熟，有的尚处于前期发展阶段。对于姜科资源产业化的研究产出并不多，分别以7种已纳入国家食药物质目录的姜科植物名称+产业为关键词组合在中国知网搜索，只能获取少量文献，与成分及药理研究的大量文献相比，说明对姜科植物资源的产业化研究关注与投入还不多，大部分尚处于起步阶段。从产业链各环节对主要姜科资源的产业化现状进行分析，发现该领域的产业化发展呈现出明显的品种差异与区域特性，亦面临亟待解决的共性问题。

3.1.1 种植环节 姜科药食同源植物的种植规模存在分散与区域集中并存现状，种业与标准化是短板，种质资源保护与系统化选育相对滞后，大部分品类标准化栽培管理体系尚未健全。除了姜^[97-99]和高良姜^[100]外，普遍呈现“小、散、弱”的特征，不同品类间差异显著。多数品类，如益智^[101-104]、草果^[105-106]、姜黄^[107]、砂仁^[108-112]及山柰，仍以传统农户分散种植为主导模式。这种模式导致管理粗放，标准化技术推广困难，产量与品质波动较大。例如，益智产业除海南五指山核心区外，其他产区多为分散种植，良种繁育体系缺失，种源混杂^[101-103]。草果在云南主产区虽已筛选出“德草1号”等良种，但整体上品种混杂、良种匮乏问题依然突出，平均鲜果产量偏低^[105]，影响了产业的标准化与高产化发展。四川犍为是姜黄著名的道地产区，种植历史悠久，种质资源丰富，但品种选育和标准化繁育体系也尚未完善，影响产量和品质稳定性^[107]。砂仁产业除阳春市传统产区外，在云南新兴产区普遍存在单产低下问题，如西双版纳州干果平均单产仅为30~45 kg/hm²^[108]。另一方面，部分品类却展现出规模化、组织化发展的积极态势。姜产业是国内产业化程度最高的代表，全国种植规模超30万hm²，在山东、云南、湖南等地形成了产业集群，组织化程度

相对较高，全国14个省（市）拥有39个国家地理标志或农产品地理标志产品，为产业奠定了丰富的品种资源与原料基础^[97-98]。更为突出的例子是高良姜产业，其在广东湛江徐闻县实现了高度的区域集中与现代化转型。徐闻县高良姜种植面积占全国90%以上，在省级龙头企业（如广东丰晒良姜有限公司）的带动下，产业呈现出机械化程度高、规模化种植管理的特点，突破了传统小农模式的局限^[100]。这表明，龙头带动与区域聚焦是提升种植环节组织化与标准化水平的关键路径。

3.1.2 加工环节 加工环节是决定姜科资源附加值的关键，目前呈现出“以初加工为主、精深加工待突破”的局面。绝大多数品类，如姜、益智、草果、姜黄、砂仁的产品形式仍以干品、切片、腌渍品等初级产品为主。例如，草果加工多以传统的烘干、烟熏为主，怒江州80%的加工线仍采用传统熏烤方式，产品质量不稳定且附加值低^[105-106,113]。姜黄产业虽然国际市场对姜黄素需求旺盛，但国内仍以传统初加工为主，缺乏统一技术标准，产品质量参差不齐^[107]。这种以初加工为主的模式因门槛较低，导致产品同质化严重，竞争激烈，产业效益受限。个别地区和品类在精深加工方面取得显著突破的案例，为产业升级提供了范本。徐闻高良姜产业是一个典范，通过龙头企业联合中国热带农业科学院建立“高良姜科技创新中心”，系统研发并推广了固形护色、节能加工、功能组分高效提取等三大技术体系，建立了标准化无硫加工生产线和系列食品加工生产线，成功开发出20余款食品、日化等深加工产品，极大提升了产业附加值和竞争力^[100]。砂仁产业中，广东阳春市也通过开发砂仁蜜、砂仁醋、砂仁酒等系列产品，在2023年实现了13.41亿元产值，展示了精深加工对产值提升的巨大潜力^[109]。相比之下，云南砂仁产区仍以出售初级干果为主，精深加工能力明显不足^[108]。这种加工水平的区域差异，显现了技术投入与产业链延伸的重要性。

3.1.3 市场与品牌建设环节 市场与品牌建设是姜科产业价值实现的最终环节，当前姜科产品品牌价值分化显著，国际市场拓展潜力有待挖掘。在品牌建设方面，多数品类品牌建设滞后，市场认可度不高，例如，“五指山益智”的品牌建设刚起步，影响力与市场认可度远不如“春砂仁”等其他地理标志产品^[104]。草果消费市场虽已拓展至全国18个省市，但缺乏具有影响力的区域公用品牌或地理标志

产品支撑, 品牌认知度低^[105-106,113]。姜黄产业中, “健为姜黄”已获地理标志认证, 但其品牌管理和市场溢价能力仍有待加强^[107]。在砂仁产业中, 品牌价值分化极为明显。广东阳春市依托“金花坑”等核心品牌, 实现了极高的产品溢价, 品牌价值达 92.8 亿元, 其砂仁价格可达 3 000 元/kg; 而云南西双版纳的砂仁, 尽管产量大, 但 2023 年价格仅为 140~150 元/kg, 品牌附加值差距悬殊^[108-109], 可见品牌效应对产业发展的影响。此外, 姜科产品在国际市场存在稳定需求, 如国际市场对姜黄素需求旺盛, 全球市场超 1.3 亿美元, 我国姜黄出口至日、韩及东南亚等国, 但深加工产品和国际品牌影响力不足。我国是生姜生产大国和出口大国, 近些年出口贸易额波动较大, 曾于 2019 年达到 53.80 万 t, 而后逐年降低, 于 2022 年降为 40.37 万 t, 这与我国生姜生产的不稳定、企业的无序竞争及贸易壁垒有关^[114]。因此, 提高我国姜科产品的国际品牌影响力和标准符合性对拓展国际市场很有必要。

3.1.4 科技创新与组织协同 科技创新与产业组织是产业升级的驱动引擎, 当前姜科产业在此环节面临产学研结合不够紧密, 科技成果转化率低等共性问题, 但也涌现出不少协同创新的亮点。尽管对姜科植物的药理学研究较为深入, 相关专利数量可观, 但多数停留在实验室阶段, 与企业实际生产和市场需求对接不畅^[98-99,115-116]。一些构建有效产学研协同创新模式获得成功的案例值得借鉴。如徐闻高良姜产业的“龙头企业+顶级科研机构”模式, 直接面向产业痛点进行技术研发与转化, 效果显著^[100]。砂仁产业中, 云南西双版纳、红河等地与云南白药合作推进 GAP 基地认证, 并尝试构建“种业创新+标准化种植+精深加工+智慧交易”的全产业链数字化生态; 阳春市也与广州中医药大学合作攻关授粉技术难题^[108-110]。这些案例表明, 建立以企业为主体、市场为导向、产学研深度融合的创新联合体, 是破解科技成果转化难题的有效途径。值得注意的是, 当前多数产区的科技创新仍集中于栽培技术、初加工工艺及粗提物应用, 而在代表产业核心竞争力的高附加值创新产品研发, 尤其是基于天然产物结构修饰、递送系统构建等生物活性导向的深度开发方面, 投入和成果明显不足。例如, 针对姜黄素生物利用度低的问题, 将纳米乳、脂质体、环糊精包合物及固体分散体等递送系统用于提升其稳定性和功效, 及通过结构修饰开发其衍生物作为抗炎、抗

肿瘤等候选药物等方向已成为研究热点^[76-79], 并开始应用于功能性饮料与膳食补充剂及医药等领域。姜辣素、砂仁挥发油等功能成分也可通过微胶囊化、纳米粒封装等技术实现靶向递送与控释, 为开发高端保健食品、特医食品及功能性化妆品提供技术支撑。未来应加强从活性机制到产品形态的全链条设计, 推动姜科资源从原料供应向高价值终端产品转型。

综上所述, 我国药食同源姜科植物产业化发展呈现以下鲜明特征: 其一, 发展水平呈梯度分布。姜产业基础雄厚, 规模化与组织化优势凸显, 高良姜、阳春砂仁等在特定区域实现了突破, 而多数品类仍处于产业化初级阶段。其二, 成功模式具有共性要素, 无论是徐闻高良姜还是阳春砂仁, 其相对成功均离不开“龙头企业引领、科技创新驱动、全链标准构建、品牌价值提升”等关键要素的组合。其三, 瓶颈问题具有普遍性, 如种业落后、加工粗放、品牌薄弱、产学研脱节等是制约大多数姜科产业做优做强的共性障碍。其四, 区域公用品牌价值凸显, 地理标志与区域品牌已成为提升产品溢价、提高市场竞争力的核心工具。

3.2 发展建议

为推动姜科植物产业高质量发展, 基于以上分析, 提出以下建议。

第一, 实行全产业链标准化管理。借鉴云南砂仁“GAP 管理+数智云药”模式^[108,117]和徐闻高良姜标准化加工经验^[100], 制定覆盖种植、采收、加工、储运的全链条标准操作规程。利用区块链、物联网技术建立质量安全追溯体系, 从源头保障产品质量稳定与可控, 解决产品质量参差不齐的根本问题^[118]。

第二, 聚焦精深加工与价值链提升, 加强功效导向的高值产品与递送系统创新。鼓励基于姜科植物已明确生物活性成分研究开发高纯度、高活性且应用广泛的高附加值产品, 尤其是结合各种纯化技术、修饰手段和递送技术(如纳米包埋、微乳化、脂质体、分子印迹等)用以解决活性成分稳定性差、溶解性低、靶向性弱等瓶颈问题的新产品研发, 重点支持开发基于递送系统的高端功能食品(如姜黄素纳米乳液饮料、砂仁挥发油缓释软胶囊)、特医食品、天然防腐剂及功效性护肤品, 提升产品科技附加值和市场竞争力。鼓励企业加大投入, 研究建设智能化、连续化精深加工生产线, 推动产业由出售原料向提供高价值解决方案转型。

第三, 构建深度融合的产学研创新体系。倡导

成立产业技术创新联盟,鼓励企业、高校、科研院所共建研发中心和中试孵化基地。将市场需求直接嵌入研发立项环节,完善成果转化收益分配机制,激发各方创新活力,加速实验室成果向现实生产力转化。

第四,强力推进品牌化与国际化战略。支持主产区系统规划与培育区域公用品牌,加强地理标志产品的规范管理与宣传推广。深入研究美国FDA、欧盟EFSA等国际法规,推动优质姜科产品获得国际认证,借助跨境电商、国际展会等渠道积极拓展海外市场,打造具有国际影响力的中国姜科品牌。

4 结语与展望

姜科药食同源植物资源种类丰富、功能性成分多样、药理活性广泛,是中医药宝库与现代大健康产业深度融合的天然载体,具备极高的开发价值与广阔的市场前景。本文系统梳理了入选我国食药物质目录的姜科植物资源,详述了其核心功能性成分(如挥发油、姜辣素、姜黄素、黄酮等)及其在抗炎、抗氧化、调节代谢、神经保护等多方面的药理活性,并构建了从化学成分析到体内外生物活性评价的研究体系。同时,对各具体资源的产业化现状、面临的共性问题(如质量标准不统一、精深加工滞后、产业链协同不足、科技成果转化率低等)进行了深入剖析,并提出了相应的发展建议。

展望未来,姜科植物资源的开发研究与产业化建议在以下几个方面着力推进,以实现从“资源优势”向“产业胜势”的转化。

第一,深化基础研究,构建一体化研究体系。未来应突破单一成分或单一物种的研究局限,充分利用单细胞转录组学、代谢组学、蛋白组学等多组学技术,结合AI虚拟筛选、SPR分子垂钓、CRISPR-Cas9基因编辑等前沿手段,系统解析姜科植物的活性成分谱、生物合成通路及其特异性作用靶点。通过器官芯片、类器官芯片等先进生理模型,模拟人体复杂微环境,在更高仿生层次上阐释其多成分、多靶点、多通路的协同作用机制与构效关系,为功能产品的精准开发、功效标志物发现及质量控制提供坚实的理论支撑。

第二,加强临床循证,推动研究成果向人体验证转化。当前研究的薄弱环节在于临床证据不足,需设立专项研究基金,鼓励开展多中心、大样本、随机双盲对照的临床试验,重点围绕姜科植物在抗炎、抗肿瘤、代谢调节、神经保护及胃肠道健康等

核心功效上进行严谨的人体功效学与安全性验证。建立姜科药食同源物质的循证医学评价数据库,为在特医食品、保健食品及药品等高附加值领域的应用提供权威依据。

第三,强化科技赋能,驱动全产业链标准化与智能化升级。一是要构建覆盖“种植-采收-加工-成品”的全产业链质量追溯与标准体系,利用区块链、物联网等技术实现透明化管理。二是要大力推动精深加工技术与装备的迭代升级,重点发展超临界CO₂萃取、膜分离、分子印迹等高效纯化技术,以及纳米包埋、微胶囊化等提高生物利用度的制剂技术,建设智能化、连续化生产线,彻底改变以初级产品为主的产业面貌。

第四,促进产业融合,构建协同高效的现代化产业生态。通过政策引导,鼓励形成“产学研用”紧密结合的创新联盟与利益共同体。支持主产区培育具有强大带动能力的龙头企业和特色鲜明的区域公用品牌,实现规模化、标准化、品牌化发展。深度融合“健康中国”战略与乡村振兴,将姜科资源开发与地方经济发展有机结合,并积极对标国际法规与市场需求,推动姜科产品“走出去”,提升其在国际大健康市场中的竞争力与影响力。

第五,明确产品开发方向与布局,打通“从实验室到市场”的转化路径。未来建议聚焦以下方向:(1)高纯度活性成分产品及通过结构修饰与递送系统构建的创新产品(如高纯度姜辣素磷脂复合物、砂仁挥发油微胶囊、姜黄素纳米制剂及衍生物等),提升活性成分的生物利用度、稳定性和靶向性,拓展应用范围,以满足医药和高端保健品原料的需求。(2)按“食药卫健”不同需求开发产品,重点关注结合递送技术的功能性食品与特医食品,针对特定健康需求开发产品,如辅助调节血糖的姜黄素缓释颗粒、改善胃肠功能的砂仁益生元微球、抗疲劳的姜多糖脂质体能量饮等。(3)日化与化妆品,利用姜科植物的抗氧化、抗炎特性,开发天然防腐剂,结合透皮递送技术开发天然功效型护肤品及个人护理产品。(4)跨界融合产品,探索姜科资源在动物保健、植物保护等领域的应用。为实现上述产品布局,需加强产业链中各方的连接,尤其是企业与研发机构的协作,从而缩短创新周期。

总之,姜科药食同源资源是大自然赋予的宝贵财富。通过科技赋能、标准引领、产业链整合与品牌驱动等多维并举的策略,必将能够充分释放其巨

大潜力, 为保障人民健康、促进区域经济发展, 以及推动资源产业现代化与国际化作出的重要贡献。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 吴超, 刘俊凯, 程思敏, 等. 广西药食同源植物资源及利用研究进展 [J]. 广西植物, 2025, 45(3): 450-465.
- [2] 吴德邻. 中国姜科植物资源 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2016: 2-9
- [3] 叶育石, 邹璞, 黄建平. 中国迁地栽培植物志: 姜科 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2021: 39-41
- [4] 龙小琴, 秦华珍, 黄燕琼, 等. 姜科五属中药性效与亲缘关系相关性研究进展 [J]. 中国药房, 2016, 27(23): 3301-3304.
- [5] 余凌英, 李星, 蔡平君, 等. 干姜和炮姜对脾胃虚寒型胃溃疡大鼠药效学指标及肠道菌群的影响 [J]. 中国药房, 2022, 33(20): 2460-2465.
- [6] 王怡文, 王思维, 卫博文, 等. 基于“肠-关节”轴探究肠道菌群与类风湿关节炎的因果关系及潜在干预中药预测 [J]. 中草药, 2025, 56(2): 585-597.
- [7] Zhou Z L, Li P Z, Chen R X, *et al.* A review of curcumin-mediated photodynamic bactericidal technology for food preservation: Limitations and improvement strategies [J]. *Food Microbiol*, 2025, 131: 104802.
- [8] Chen Q, Li B W, Huang S X, *et al.* Composite lemon/ginger essential oil emulsion based on pectin and sodium caseinate: Preparation, properties, and application in fresh-cut carrots preservation [J]. *Food Chem*, 2025, 491: 145236.
- [9] 邹颖, 寸金玉, 彭芍丹, 等. 高良姜精油可食膜的制备及其在鲜切菠萝保鲜中的应用 [J]. 热带作物学报, 2025, 46(5): 1249-1258.
- [10] 吴莉娴. 7种山姜属生物活性及其果实保鲜剂应用开发研究 [D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2023.
- [11] 陈庆生, 何敬愉, 孟潇, 等. 3种姜科植物活性提取物的防脱发及去屑作用研究 [J]. 广东化工, 2021, 48(22): 70-72.
- [12] 李申澳, 余卫东, 许寅, 等. 生姜与干姜的化学成分、药理作用、处方应用研究进展及其质量标志物预测分析 [J]. 中国中药杂志, 2025, 50(20): 5641-5657.
- [13] 龚弟鸿, 冷建春, 杨友均. 生姜应用技术及调节和降低血糖的活性功能 [J]. 中国调味品, 2020, 45(9): 190-193.
- [14] 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.
- [15] 董艳, 姚魁武, 王阶. 辨姜及其炮制品药理和临床运用特点 [J]. 中国中药杂志, 2018, 43(10): 2020-2024.
- [16] 李海波, 周汨, 董洁, 等. 益智化学成分及药理作用研究进展 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2024, 26(7): 1870-1887.
- [17] 王宝艳, 井子杨, 任喜康, 等. 近5年益智化学成分与药理作用研究进展 [J]. 广东药科大学学报, 2023, 39(4): 120-127.
- [18] 邱成省, 王吉, 穆利萍, 等. 益智的化学成分及其神经保护作用 [J]. 药学学报, 2023, 58(9): 2746-2753.
- [19] 随家宁, 李芳婵, 郭勇秀, 等. 益智仁化学成分、药理作用及质量标志物研究进展 [J]. 药物评价研究, 2020, 43(10): 2120-2126.
- [20] 谢子锐, 于月兰, 蒲忠慧, 等. 草果化学成分的研究进展 [J]. 成都中医药大学学报, 2020, 43(2): 75-80.
- [21] 张雪研, 舒娟, 范江平, 等. 草果挥发油的化学成分、生物活性及应用研究进展 [J]. 食品与发酵科技, 2023, 59(5): 81-86.
- [22] 尚明越, 王嘉乐, 代国娜, 等. 草果化学成分、药理作用、临床应用研究进展及质量标志物预测分析 [J]. 中草药, 2022, 53(10): 3251-3268.
- [23] 胡一凡, 高晓余, 苏俊宇, 等. 多酚、黄酮功能性成分导向的草果种质资源评价 [J]. 热带作物学报, 2024, 45(5): 915-927.
- [24] 郭芳, 顾哲, 贾训利, 等. 药用植物姜黄的研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2022, 50(16): 14-19.
- [25] 孙林林, 乔利, 田振华, 等. 姜黄化学成分及药理作用研究进展 [J]. 山东中医药大学学报, 2019, 43(2): 207-212.
- [26] 聂思垚, 聂会军, 程兰, 等. 姜黄素的化学成分分析及药理作用研究进展 [J]. 特产研究, 2023, 45(2): 169-174.
- [27] 赵芃钰, 任虹, 徐李缘, 等. 姜黄属中药多糖的药理活性及其作用机制研究进展 [J]. 中草药, 2025, 56(14): 5276-5287.
- [28] 薛山, 曾荣玲. 砂仁提取物的研究现状及开发应用趋势展望 [J]. 保鲜与加工, 2022, 22(3): 91-96.
- [29] 古远聪, 谭志豪, 吕帮玉, 等. 砂仁的化学成分、药理活性及鉴别的研究进展 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2024, 30(22): 270-278.
- [30] 谢海生, 张媛鑫, 王连睿, 等. 砂仁的化学成分、药理作用、质量控制现状及其质量标志物的预测分析 [J]. 世界中医药, 2025, 20(2): 336-343.
- [31] 高巧. 山柰脂溶性化学成分的研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2025.
- [32] 张淑贤. 山柰乙酸乙酯萃取部位化学成分及生物活性研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2024.
- [33] 周奕姝, 吴以禄, 陈忻, 等. 山柰中功能成份的研究进展 [J]. 化学工程与装备, 2022(9): 246-247.

- [34] 乔蕊, 刘俊豪, 皮慧芳, 等. 山柰根茎化学成分的研究 [J]. 中国民族民间医药, 2022, 31(16): 53-56.
- [35] 张岩, 徐玉娟, 王萍. 沙姜类黄酮物质的功能研究进展 [J]. 广东农业科学, 2009, 36(1): 73-74.
- [36] 项昭保, 平雪丽, 屠大伟. 山柰的活性成分及在食品工业中应用的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(17): 448-458.
- [37] 穆利萍. 高良姜化学成分及其神经保护作用研究 [D]. 昆明: 云南中医药大学, 2023.
- [38] 熊远果, 沈瑶, 张洪. 高良姜药理活性研究新进展 [J]. 中南药学, 2017, 15(10): 1418-1421.
- [39] 李洪福, 李永辉, 王勇, 等. 高良姜化学成分及药理活性的研究 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(7): 236-244.
- [40] 黎鹏辉, 陈婷婷, 黄雪娴, 等. 高良姜多糖的提取及其活性研究 [J]. 惠州学院学报, 2024, 44(3): 43-48.
- [41] 邢海军. 沙姜和生姜抗氧化能力及营养成分比较研究 [J]. 中国调味品, 2025, 50(2): 205-208.
- [42] 卢传礼. 几种典型姜科品种的化学成分及其活性研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [43] 周欣, 李章万, 王道平, 等. 姜科姜黄属植物有效成分的研究 [J]. 分析测试学报, 2004, 23(6): 53-56.
- [44] 张蓓, 王亦若, 黄珂, 等. 不同提取方法对生姜挥发性成分的影响研究 [J]. 中国调味品, 2022, 47(6): 151-154.
- [45] 张玲玲, 黄幼霞, 蔡聪艺, 等. 不同方法提取姜黄油挥发性化学成分 GC-MS 分析 [J]. 中国食品添加剂, 2024, 35(5): 302-311.
- [46] 张映萍, 何江斌, 黄梅, 等. HS-SPEM-GC-MS 结合 PLS-DA 分析三种姜科植物果实挥发性香气成分 [J]. 天然产物研究与开发, 2024, 36(8): 1368-1377.
- [47] 刘金敏, 江汉美, 田宇. HS-SPME-GC-MS 分析五种姜科香辛料的挥发性成分 [J]. 中国调味品, 2021, 46(4): 141-147.
- [48] 余代鑫, 尹梦廷, 郭盛, 等. 基于 GC-MS 和 FT-NIR 结合化学计量学的干姜产地鉴别及挥发性成分含量快速预测 [J]. 中国现代中药, 2025, 27(5): 831-841.
- [49] 王泽霖. 姜科植物活性成分的提取、鉴定及性能研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2022.
- [50] 穆利萍. 高良姜化学成分及其神经保护作用研究 [D]. 昆明: 云南中医药大学, 2023.
- [51] 张皓然, 张琴, 文丽琼, 等. 利用 ^1H NMR 测定姜中姜辣素与姜黄素 [J]. 中国调味品, 2025, 50(1): 193-200.
- [52] 崔语涵, 王海峰, 李建, 等. 姜黄化学成分分离与鉴定 [J]. 沈阳药科大学学报, 2016, 33(3): 198-201.
- [53] Wulandari M, Urraca J L, Descalzo A B, *et al.* Molecularly imprinted polymers for cleanup and selective extraction of curcuminoids in medicinal herbal extracts [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2015, 407(3): 803-812.
- [54] Suwanwong Y, Kulkeratiyut S, Prachayasittikul V, *et al.* Effects of polymerization methods and functional monomers on curcumin imprinted polymer properties [J]. *Sep Sci Technol*, 2014, 49(7): 1086-1095.
- [55] 王向东, 王永存, 马艳芝, 等. 不同生姜品种抗氧化活性的比较 [J]. 中国果菜, 2018, 38(5): 14-18.
- [56] 崔冬月, 李媛媛, 肖宝平, 等. 姜黄素抗氧化的初步机理研究 [J]. 食品安全导刊, 2019(20): 68-72.
- [57] 李田田. 益智仁化学成分及相关活性研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2021.
- [58] 张婧菲, 韩红丽, 沈明明, 等. 姜黄素类化合物的体外抗氧化活性及其对鸡红细胞氧化损伤的保护作用 [J]. 食品科学, 2020, 41(13): 96-105.
- [59] 欧虹雅, 屈慧娟, 周小妹, 等. 高良姜二芳基庚烷有效组分单体化合物体外抗炎活性研究 [J]. 热带农业科学, 2023, 43(7): 90-97.
- [60] 钟毅, 谢发江, 冯健, 等. 姜黄素通过 NF- κ B/miR33a 通路对 ox-LDL 刺激 THP-1 巨噬细胞分泌的影响及机制 [J]. 天然产物研究与开发, 2019, 31(12): 2032-2038.
- [61] 孙晨皓. 10-姜酚通过 Keap1-Nrf2-ARE 信号通路延缓骨关节炎进展的研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2023.
- [62] 田民义. 姜科挥发油及其萜类成分抗肿瘤活性及相关机制研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2021.
- [63] 陈靖, 柴玲, 谭敏. 干姜化学成分分离及抗肿瘤活性成分筛选 [J]. 广州化工, 2021, 49(12): 111-113.
- [64] 陈建平, 庞艺萌, 刘颖, 等. 姜黄素超分子包合物的体外抗肿瘤活性评价 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(12): 6-10.
- [65] 高妍, 尚诚彰, 沈月雷. 不同中药单体的急性毒性及抗肿瘤活性评价研究 [J]. 河南中医, 2024, 44(9): 1361-1372.
- [66] 孙盟盟, 吴聪驰. 生姜挥发油的抑菌活性测定 [J]. 食品安全导刊, 2023(29): 57-59.
- [67] 胡璇, 黄英, 王凯, 等. 益智精油化学成分分析及其对单核细胞增生李斯特氏菌的抑菌机理 [J]. 食品科学, 2024, 45(16): 140-150.
- [68] 周璐丽, 周汉林, 王定发. 3 种姜科植物提取物的体外抗菌活性 [J]. 热带农业科学, 2016, 36(5): 90-92.
- [69] Pereira G C S, Fernandes C C, Pereira J L, *et al.* Antibacterial activity of essential oil from *Zingiber officinale* Roscoe against *Xanthomonas* strains: Chemical composition and docking study of α -zingiberene [J]. *J Toxicol Environ Health Part A*, 2025, 88(22): 893-905.
- [70] 何福林, 孙心雨, 唐盛梅, 等. 生姜的抗炎活性成分、作用机制及其应用研究进展 [J/OL]. 食品与发酵工业, 1-16. (2025-06-23) [2025-07-18]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.043257>.

- [71] 冯悦. 生姜活性成分的抗肿瘤作用研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2022.
- [72] 李娜. 基于系统药理学对中药材姜的活性成分和作用机制的研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [73] 雷丹, 洪滔, 伍庆华, 等. 基于网络药理学对生姜药用活性成分的和作用机制分析 [J]. 江西中医药大学学报, 2021, 33(4): 83-89.
- [74] 韩春雯, 李雨琪, 杨秀娟. 生姜、干姜、炮姜治疗胃寒型疾病的作用机制研究 [J]. 黑龙江医药科学, 2025, 48(6): 4-10.
- [75] 杨显娟, 赵雪, 王丽丹, 等. 基于网络药理学技术研究姜黄治疗心肌梗死的分子机制 [J]. 广东化工, 2025, 52(8): 47-49.
- [76] 陈煜淳, 林勇, 刘勇, 等. 姜黄素的应用、制备及改性研究进展 [J]. 现代食品科技, 2024, 40(6): 327-335.
- [77] Racz L Z, Racz C P, Pop L C, *et al.* Strategies for improving bioavailability, bioactivity, and physical-chemical behavior of curcumin [J]. *Molecules*, 2022, 27(20): 6854.
- [78] Jamil S N H, Ali A H, Feroz S R, *et al.* Curcumin and its derivatives as potential antimalarial and anti-inflammatory agents: A review on structure-activity relationship and mechanism of action [J]. *Pharmaceuticals*, 2023, 16(4): 609.
- [79] Li J F, Wang X D, Zhang H H, *et al.* Fenamates: Forgotten treasure for cancer treatment and prevention: Mechanisms of action, structural modification, and bright future [J]. *Med Res Rev*, 2025, 45(1): 164-213.
- [80] Sharma S, Yadav A. Gingerol derivatives as 14 α -demethylase inhibitors: Design and development of natural, safe antifungals for immune-compromised patients [J]. *Lett Drug Des Discov*, 2020, 17(7): 918-928.
- [81] Zhong L, Wang R, Wen Q H, *et al.* The interaction between bovine serum albumin and [6]-, [8]- and [10]-gingerol: An effective strategy to improve the solubility and stability of gingerol [J]. *Food Chem*, 2022, 372: 131280.
- [82] Ahmed S H H, Gonda T, Agbadua O G, *et al.* Preparation and evaluation of 6-gingerol derivatives as novel antioxidants and antiplatelet agents [J]. *Antioxidants*, 2023, 12(3): 744.
- [83] Skardal A, Shupe T, Atala A. Organoid-on-a-chip and body-on-a-chip systems for drug screening and disease modeling [J]. *Drug Discov Today*, 2016, 21(9): 1399-1411.
- [84] Ingber D E. Human organs-on-chips for disease modelling, drug development and personalized medicine [J]. *Nat Rev Genet*, 2022, 23(8): 467-491.
- [85] Wang H, Zhu W, Xu C, *et al.* Engineering organoids-on-chips for drug testing and evaluation [J]. *Metabolism*, 2025, 162: 156065.
- [86] 梁国欣, 魏洪鑫, 宁钧宇, 等. 药食同源物质姜黄的健康危害评估 [J]. 毒理学杂志, 2021, 35(4): 280-284.
- [87] 李然, 刘晓红, 孔天, 等. 姜黄素的安全性毒理学评价 [J]. 卫生研究, 2011, 40(6): 747-749.
- [88] 王庭敏, 赵蒙, 李平. 姜干预孕期恶心呕吐的研究进展 [J]. 护理学报, 2016, 23(15): 19-21.
- [89] 龚瑶, 康磊, 陈蓉蓉. 生姜对防治癌症患者化疗相关性恶心呕吐的荟萃分析 [J]. 中国医药指南, 2025, 23(3): 29-33.
- [90] Broeckel J, Estes L, Leonard M, *et al.* Effects of ginger supplementation on markers of inflammation and functional capacity in individuals with mild to moderate joint pain [J]. *Nutrients*, 2025, 17(14): 2365.
- [91] Saberi-Karimian M, Parizadeh S M R, Ghayour-Mobarhan M, *et al.* Evaluation of the effects of curcumin in patients with metabolic syndrome [J]. *Comp Clin Pathol*, 2018, 27(3): 555-563.
- [92] Zeng Y J, Luo Y T, Wang L J, *et al.* Therapeutic effect of curcumin on metabolic diseases: Evidence from clinical studies [J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(4): 3323.
- [93] 田韦韦, 唐碧华, 刘俐, 等. 姜黄素改善慢性低度炎症及其相关疾病研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2024, 49(10): 2607-2618.
- [94] Yuan J Y, Pi C, Shen H P, *et al.* Potential therapeutic benefits of curcumin in depression or anxiety induced by chronic diseases: A systematic review of mechanistic and clinical evidence [J]. *Front Pharmacol*, 2025, 16: 1638645.
- [95] Rondanelli M, Fossari F, Vecchio V, *et al.* Clinical trials on pain lowering effect of ginger: A narrative review [J]. *Phytother Res*, 2020, 34(11): 2843-2856.
- [96] Baek H I, Shen L, Ha K C, *et al.* Effectiveness and safety of steamed ginger extract on mild osteoarthritis: A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial [J]. *Food Funct*, 2024, 15(18): 9512-9523.
- [97] 严辉, 郭盛, 张振宇, 等. 药食两用资源姜的产业发展现状与提质增效策略 [J]. 中国中药杂志, 2024, 49(11): 2853-2862.
- [98] 邹冬倩, 严辉, 周桂生, 等. 姜资源的国内专利和产业化发展趋势分析 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(15): 418-427.
- [99] 任清盛, 李承永. 我国生姜产业现状及发展分析 [J]. 中国蔬菜, 2021(8): 8-11.
- [100] 陈欢. 发力百亿集群 剑指“良姜之都”[N/OL]. 南方日报, (2025-05-14) [2025-11-20]. https://epaper.nfnews.com/nfdaily/html/202505/14/content_10135236.html.
- [101] 孙慧. 海南启动“五指山益智遗传资源挖掘利用与动能

- 性产品创制”项目 [N/OL]. 海南日报, (2025-05-12) [2025-10-26]. <https://www.hinews.cn/page?m=1&n=2700909&s=1044>.
- [102] 晏小霞, 任保兰, 王茂媛, 等. 益智产业现状及发展对策 [J]. 中国中药杂志, 2019, 44(9): 1960-1964.
- [103] 张婵, 吴友根, 杨华庚, 等. 海南省益智种植现状及产业发展对策 [J]. 现代园艺, 2021, 44(23): 63-67.
- [104] 晏小霞, 王茂媛, 王清隆, 等. 海南省益智产业发展优势、存在问题与对策 [J]. 农学学报, 2020, 10(7): 97-100.
- [105] 高燕, 匡钰, 白燕冰, 等. 德宏草果产业调查分析及建议 [J]. 热带农业科技, 2025, 48(2): 55-59.
- [106] 董文林, 崔庆江, 李娅. 怒江州草果产业高质量发展对策研究 [J]. 南方农机, 2025, 56(3): 192-195.
- [107] 曾亮, 刘玲利, 奉玉蓉. 姜黄产业标准化建设思路研究: 以犍为姜黄为例 [J]. 中国标准化, 2024(13): 147-151.
- [108] 陈昌莉, 张兵团. 打造“版纳砂仁”品牌, 促进西双版纳州生物医药产业发展 [J]. 热带农业科技, 2024, 47(3): 53-57.
- [109] 马华明, 林漫婷, 方伟. 阳春市春砂仁产业发展现状问题及对策浅析 [J]. 南方农业, 2024, 18(23): 187-190.
- [110] 高正杰, 宋倩. 红河州阳春砂仁产业可持续发展对策与建议 [J]. 云南农业科技, 2024(1): 62-64.
- [111] 胡爱群, 邓权清, 梅瑜, 等. 广宁县砂仁产业发展现状及对策 [J]. 农业研究与应用, 2024, 37(1): 61-65.
- [112] 赖慧, 殷文贤, 梁刚, 等. 砂仁的炮制历史沿革考据 [J]. 世界中医药, 2024, 19(19): 3028-3031.
- [113] 刘恩平, 陈诗高, 沈绍斌, 等. 我国草果市场与产业调查分析报告 [J]. 农产品市场, 2021(13): 54-55.
- [114] 赵小琴, 蔡小东, 刘奕清, 等. 我国生姜产业近10年的产销状况及发展策略 [J]. 中国瓜菜, 2024, 37(2): 150-155.
- [115] 陈振夏, 吴莲张, 李彦, 等. 基于 Baiten 专利数据库的草果食品专利格局分析 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(18): 434-440.
- [116] 张楠, 肇楠, 李敏, 等. 姜黄素专利信息布局分析 [J]. 中国科技信息, 2023(7): 22-24.
- [117] 尹翠云, 牟燕, 唐德英, 等. 砂仁产业标准化现状及标准体系构建 [J]. 中药材, 2024, 47(1): 1-6.
- [118] 严辉, 李鹏辉, 周桂生, 等. 不同产地、规格姜类药材及饮片质量评价 [J]. 中药材, 2020, 43(4): 817-823.

[责任编辑 王文倩]