

生姜提取物种类、生物学活性及其在食品包装上的应用研究进展

郝芮青^{1,2}, 张程程², 牛海月², 忻晓庭², 刘大群^{2,*}, 章检明^{2,*}

(1.中国计量大学生命科学学院, 浙江 杭州 310000; 2.浙江省农业科学院, 农业农村部蔬菜采后保鲜与加工重点实验室(部省共建), 浙江省果蔬保鲜与加工技术研究重点实验室, 食品科学研究所, 浙江 杭州 310000)

摘要: 生姜作为一种生活中常见并且广泛使用的“药食同源”植物, 含有丰富的多糖、萜烯类化合物、酚类化合物等多种活性物质, 这些化合物使生姜具有抗氧化、抗炎、抗菌、抗癌、神经保护、抗糖尿病等药理特性。本文综述目前对生姜提取物种类和生物学活性的认识, 并讨论生姜在食品包装上的应用研究进展, 对生姜的未来发展方向进行展望, 希望引起人们对生姜及其进一步应用的关注, 以促进生姜资源的综合利用。

关键词: 生姜; 提取物; 生物学活性; 食品包装; 应用

Research Progress on the Composition, Biological Activity and Application in Food Packaging of Ginger Extract

HAO Ruiqing^{1,2}, ZHANG Chengcheng², NIU Haiyue², XIN Xiaoting², LIU Daqun^{2,*}, ZHANG Jianming^{2,*}

(1. College of Life Sciences, China Jiliang University, Hangzhou 310000, China;

2. Key Laboratory of Postharvest Preservation and Processing of Vegetables (Co-construction by Ministry and Province), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Fruits and Vegetables Postharvest and Processing Technology Research of Zhejiang Province, Institute of Food Science, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310000, China)

Abstract: As a common plant that is widely used for both medicinal and culinary purposes, ginger is rich in polysaccharides, terpenes, phenols and other active substances, imparting it with antioxidant, anti-inflammatory, antibacterial, anticancer, neuroprotective and antidiabetic properties. In this paper, we review the current understanding on the composition and biological activities of ginger extract, discusses the application of ginger in food packaging, and propose future directions for ginger extract research, hoping to arouse people's attention on ginger and its further application so as to promote the comprehensive utilization of ginger resources.

Keywords: ginger; extract; biological activity; food packaging; application

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20230922-211

中图分类号: TS255; TS206.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2024) 14-0341-11

引文格式:

郝芮青, 张程程, 牛海月, 等. 生姜提取物种类、生物学活性及其在食品包装上的应用研究进展[J]. 食品科学, 2024, 45(14): 341-351. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20230922-211. <http://www.spkx.net.cn>

HAO Ruiqing, ZHANG Chengcheng, NIU Haiyue, et al. Research progress on the composition, biological activity and application in food packaging of ginger extract[J]. Food Science, 2024, 45(14): 341-351. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20230922-211. <http://www.spkx.net.cn>

生姜 (*Zingiber officinale* Roscoe), 姜科类多年生草本植物, 主要在一些东南亚国家种植和使用, 味道芳

香并且含有辛辣味, 可作为调味品、香料、膳食补充剂以及传统药物等。目前, 根据联合国粮食及农业组织统

收稿日期: 2023-09-22

基金项目: 浙江省团队科技特派员项目 (2020R15A58C01)

第一作者简介: 郝芮青 (1999—) (ORCID: 0009-0001-7293-6049), 女, 硕士研究生, 研究方向为药食同源产品开发。

E-mail: hrq0306@163.com

*通信作者简介: 刘大群 (1979—) (ORCID: 0000-0002-4232-1916), 男, 特聘研究员, 博士, 研究方向为食品加工。

E-mail: daqun.liu@hotmail.com

章检明 (1990—) (ORCID: 0000-0002-7974-5720), 男, 特聘副研究员, 博士, 研究方向为生物活性物质开发与利用。E-mail: zjm1990523@163.com

计数据库2022年的数据显示,中国是生姜的主要生产国之一^[1]。在生姜悠久的应用和消费历史中,其不仅可作美味佳肴享用,还具有多种药理特性并且已在食品和医药中应用。例如,生姜可用作茶或保健饮料,有预防感冒、呕吐和缓解疲劳等作用^[2]。此外,生姜是阿育伏陀制剂“Trikatu”的重要组成部分。“Trikatu”可与其他药物联合用于治疗哮喘、支气管炎、痢疾、发热和肠道感染^[3]。在中国,生姜还被广泛用作民间的恢复性补充剂、药用食品或在中医中被当作中药材使用^[4]。在《中华人民共和国药典(2020年版)》中提及到了包括生姜的3种产品:鲜姜、干姜和炒姜。综上所述,生姜作为一种具有经济、观赏乃至食用药用价值的重要农作物,其营养和价值得到了广泛的认可,并且深受人们的喜爱,满足了消费者对健康饮食、营养摄入和饮食治疗的需求,同时已经发展成为生活中必不可少的香辛料及保健蔬菜之一,具备了很大的利用价值和发展前景,这不仅引起了多个科学领域的关注,同时也是过去十几年来研究最多的天然来源之一,图1显示了在Web of Science数据库搜索的2013—2022年有关生姜研究的文章发表数量,可以发现逐年递增。这种天然产品近年来得到了大力探索,这可能与冠状病毒流行导致的膳食补充剂和营养品市场增长有关。

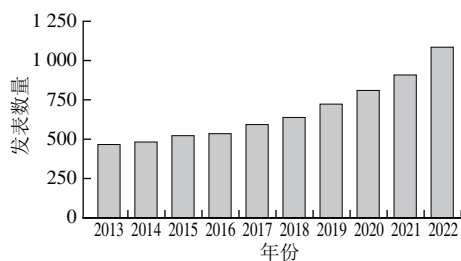


图1 在Web of Science数据库搜索的2013—2022年与生姜研究相关的发表数量(关键词“Ginger”)

Fig. 1 Number of publications regarding the keyword “Ginger” retrieved from the Web of Science database from 2013 to 2022

随着生姜产业和科学技术的快速发展,人们深入研究了生姜的营养成分及其功能价值,进一步证实生姜具有较高的药用价值和保健功能,并通过多种方法提取生姜中的有效成分,发掘其更多的生物学活性,以促进对生姜更好的综合利用和精深加工。迄今为止,已经从生姜中提取到了多种重要的生物活性成分,例如多糖、萜烯类化合物、酚类化合物等^[1,5],并且发现这些化合物具有抗氧化^[6]、抗菌^[7]、抗炎^[8]、抗癌^[9]、降血糖^[10]等功效,图2总结了生姜中重要的活性物质及其生物学活性。许多技术如超声波辅助提取技术、有机溶剂分离技术、高效液相色谱检测技术等均已被应用于提取、加工、分离和分析这些生姜活性成分,以深入了解其活性,并根据这

些活性开发了许多生姜产品,这些产品涉及食品、制药或化妆品等领域。



图2 生姜中重要的活性物质及其生物学活性

Fig. 2 Important active substances and their biological activities in ginger

近几年来,为了减少农业废弃物和不可降解合成材料的产生和积累,利用植物资源制造可持续、绿色、无毒的天然聚合物引起了极大的关注。目前,许多植物活性物质已被广泛用作在食品包装材料中,这些活性物质一般具有抗氧化、抗菌等功效,可提高包装食品的安全性并延长保质期^[11]。而生姜作为一种天然农作物,可作为可持续和环保的材料,其提取物与其他天然高聚物结合可以提升包装的机械和氧阻隔性能^[12],并且卓越的抗菌和抗氧化性能使其成为食品包装应用的良好候选者之一。本文主要总结和讨论了生姜提取物的种类、生物学活性以及生姜活性物质在食品包装上的应用研究进展,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,为生姜的综合利用和精深加工提供指导和理论支持,以期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,提高其生物利用率。

1 生姜提取物种类及生物学活性

1.1 生姜提取物种类

1.1.1 多糖

植物来源多糖由于具有多种健康益处,如抗氧化^[13]、抗肿瘤^[14]、抗流感^[15]、降血糖^[16]和免疫调节^[17]等作用,在食品、医药、化妆品等行业中享有广泛的吸引力。其中,生姜多糖因其丰富的生物学特性和药理作用,近年来在生物和医学领域受到广泛关注。

生姜多糖的结构非常复杂,其结构特征主要包括单糖组成和序列、分子质量、糖苷键的位置和构型。多糖是通过糖苷键连接的单糖聚合物,大多数多糖由半乳糖、葡萄糖、甘露糖、阿拉伯糖、鼠李糖和木糖组成。

除此之外, 在一些多糖中检测到糖醛酸, 包括葡萄糖醛酸和半乳糖醛酸。这些多糖中单糖组成和物质的量之比受到许多因素的影响, 如原料、提取方法、分离纯化方法等^[18-19]。多糖结构的分析方法有很多, 不仅包括仪器分析方法, 如高效液相色谱、红外光谱、核磁共振、气相色谱、质谱、气相色谱-质谱等, 还包括化学方法, 如甲基化分析、酸水解、高碘酸盐氧化等, 以及生物学方法, 如特异性糖苷酶消化、免疫方法等。

多糖的化学结构是生物活性的基础。许多研究表明, 多糖的分子质量与多种生物活性密切相关, 适当的分子质量是多糖显示药理活性的必要条件之一。Chen Guitang等^[19]使用两种不同方法提取姜渣多糖, 测定出它们具有不同的分子质量, 从而表现出不同的抗氧化活性。另外, 植物多糖的单糖组成是影响其生物活性的重要因素。Wang Yun等^[20]采用相同的提取方法, 从同一原料中提取两种多糖GP1和GP2, 它们的单糖组成不同, GP1可能具有抗肿瘤活性, 而GP2表现出抗氧化活性。当单糖组成不同时, 即使具有相同的药理作用, 其强度也不同。Jing Yongshuai等^[13]的研究表明, 两种生姜多糖ZOP和ZOP-1具有显著的抗氧化作用, 但ZOP-1的抗氧化活性显著高于ZOP的抗氧化活性。当单糖的组成相同时, 物质的量之比不同也会影响多糖的生物活性。Chen Xuhui等^[18]证实使用热水提取和碱溶液提取两种方法分离得到的生姜多糖, 其单糖组成的物质的量之比不同, 表现出不同的抗氧化活性。

有效分离纯化生姜多糖是研究生姜多糖结构和生物活性的主要前提。为了最大限度地提高生姜中生物活性大分子多糖的提取效率, 研究人员已经对纯化策略进行了一系列研究。目前生姜多糖分离纯化方法有很多种, 主要有热水提取、酶辅助萃取、微波辅助萃取、超声波辅助萃取等, 每种方法都有自己的优缺点^[18]。随着科学技术的发展和多学科的融合, 研发更高提取率和保证多糖生物活性尽可能不被破坏的提取方法是目前研究的热点和重点。虽然对生姜多糖的研究一直没有中断, 但对其纯化方法、结构和生物活性的研究仍需进一步探索。未来, 可以对生姜多糖的结构进行修饰, 提高其固有的生物活性或产生新的生物活性。此外, 加强对改性生姜多糖构效关系的研究, 明确改性位点结构表征、数量和活性之间的相关性至关重要。

1.1.2 萜烯类

生姜的气味主要取决于其含有的挥发油成分, 也称萜烯类化合物, 由单萜烯和倍半萜烯组成, 产率在1%到3%不等^[21], 是宜人气味、辛辣味和许多药理活性的来源。

单萜烯具有两个异戊二烯单元的碳骨架(C_{10} 骨架), 有些具有一个或两个环烷烃单元, 例如环丙烷、环丁烷和环己烷。目前发现, 单萜烯主要包括桉叶醇、

柠檬醛、柠檬烯、芳樟醇、蒎烯等活性成分。桉叶醇是一种环醚, 是蓝桉精油的主要成分, 已知其具有抗炎、抗菌、抗高血压、缓解痉挛、镇痛以及抗焦虑的作用^[22-23]。柠檬醛是双键异构体, 为香茅醛和丁香醛的混合物, 在生姜精油中含量最高^[24], 具有强烈的柠檬香气。因此, 柠檬醛已被用作一种安全的香料和食品添加剂, 同时它也具有保肝和抗炎作用^[25]。柠檬烯是一种环状单萜, 它是柑橘果皮油的主要成分, 用于抗癌、抗病毒、抗炎和抗菌^[26], 也具有溶解胆结石、缓解胃食管反流的作用^[27]。芳樟醇是一种以两种对映异构体的形式存在于植物中的萜烯醇, 已知具有抗炎、抗癌、抗菌、镇痛、抗焦虑、抗抑郁和神经保护作用^[28]。蒎烯是一种双环单萜, 以两种异构体(α -和 β -)形式存在, 用作风味来源, 具有胃保护、抗焦虑、抗惊厥、神经保护、抗氧化、抗胰腺炎等作用^[29]。倍半萜的特征在于具有3个异戊二烯单元(C_{15} 骨架), 并在自然界中作为香精香料的主要成分。 β -榄香烯是榄香烯组中的立体异构体之一, 在自然界中被发现作为花卉香气和昆虫信息素的成分。据报道, β -榄香烯具有抗癌作用^[30]。法呢烯以6种异构体的形式存在, 在自然界中作为精油和信息素的成分存在, 在工业上可用作溶剂、润肤剂、维生素和生物燃料^[31]。玉米黄酮是一种具有3个双键的环倍半萜, 具有强大的反应性, 可用作抗癌剂^[32]、抗菌剂和香料^[33]。

综上所述, 这些挥发性化合物使生姜精油具有独特的风味和香气以及抗菌和抗氧化活性。其生物活性与其化学成分直接相关, 而这些成分的含量和组成可能因品种而异, 并受到提取方法、来源、生长条件、收获时间和其他因素的影响。近年来, 人们关注到生姜精油在食品保鲜中的应用, 了解到其作为天然有效的食品防腐剂的潜力。

1.1.3 酚类化合物

酚类化合物属于非挥发性成分, 是生姜中的主要生物活性成分, 包括姜辣素、姜烯酚、Paradol和姜酮, 它们之间的转换如图3所示。姜辣素以辛辣的黄色液体形式存在于生姜根茎中, 但也可能形成低熔点的结晶固体, 有助于舌头上香料受体的激活。姜辣素存在6种同系物, 通过支链烷基侧链的长度区分。6-姜辣素是最丰富的化合物, 而4-、7-、8-、10-和12-姜辣素的含量较少^[34]。已知, 姜辣素具有抗癌、抗炎和抗氧化作用等^[35]。姜辣素可通过加热引起脱水反应从而转化成姜烯酚, 因此在热处理的生姜中可以检测到大量的姜烯酚, 其中6-姜烯酚是干姜中最丰富的同系物。姜烯酚在热转化过程中对姜辣素的转化受加热条件和加热温度的影响较大, Jung等^[36]发现湿热条件下产生的6-姜烯酚含量显著高于干热条件下产生的6-姜烯酚, 并且高温可以通过缩短热处理的时间增加姜烯酚的转化率。姜烯酚比姜辣素具有更

好的药理学特性，尤其是它们的神经保护、抗氧化和抗炎作用^[37]。有研究显示，6-姜烯酚中的 α,β -不饱和酮可能是其较6-姜辣素具有较强生物活性的分子基础^[38]。Paradols是姜烯酚非刺激性生物转化的代谢物^[39]，已知具有抗癌作用、抗炎、心脏保护和神经保护作用^[40]。姜酮，也称为香草基丙酮，是姜辣素在干燥或热处理时经历反醛醇反应时形成的产物^[40]。据报道，姜酮具有多种作用和活性，如抗炎、降糖、止泻、抗痉挛、抗癌、止吐、抗焦虑、抗血栓、辐射防护和抗菌等^[41]。

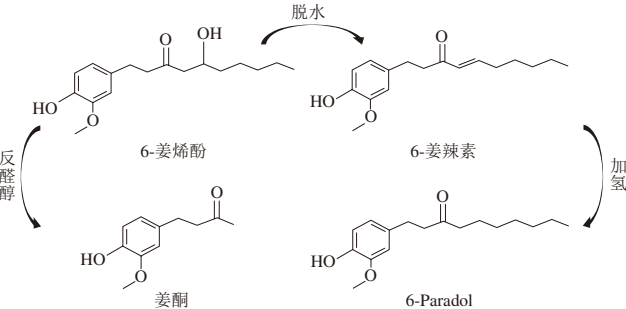


图3 生姜中酚类化合物之间的转换
Fig. 3 Conversion of phenolic compounds in ginger

近年来，对含有姜辣素和姜烯酚等酚类化合物并且具有健康益处的高质量姜油树脂提取物的需求急剧增加。较低的温度和较短的曝光时间，如超声辅助和酶辅助提取，可以获得高质量的6-姜辣素提取物^[42-43]。高热处理，如微波辅助和加压液体萃取，将产生更高含量的6-姜烯酚^[44-45]。同时，超临界流体萃取采用无毒的CO₂，提高了萃取物的质量和安全性^[46]。尽管这些绿色提取技术在环境、经济和社会方面具有许多好处，但未来仍有许多挑战需要解决。进一步开发生姜油树脂提取物中的生物活性化合物，使其成为食品、制药或药妆的功能性成分，是另一个值得探索的重要领域。

1.1.4 二芳基庚烷类化合物

生姜除上述活性成分外，还含有二芳基庚烷类化合物，它由两个芳基组成，由一个庚烷链连接，分为线性（姜黄素）和环基。姜黄素是生姜的主要成分，最初是从姜科中的姜黄分离出来的，但它也作为主要成分存在于生姜中。据报道，姜黄素具有抗氧化、抗溃疡、抗癌、心脏保护、抗糖尿病、抗疟、抗菌和神经保护等药理作用^[47-49]。

1.1.5 其他活性成分

生姜中含有多种化学物质，包括生姜精油和一些非挥发性组分。这些组分可以通过溶剂提取（如使用乙醇和水）或通过新鲜或干燥的姜根进行粉末化处理或浸渍制备。这些提取物除了具有神经保护、心脏保护和降糖作用外，还具有抗癌作用^[50-51]。此外，为了提高生姜成分和其他化学物质混合物的治疗效果，已经开发或提出

了基于纳米胶囊的药物递送系统，如脂质体、固体脂质纳米颗粒、纳米结构脂质颗粒、纳米乳液和环糊精包合物等^[52]，帮助生姜在体内更好地发挥生物活性，增加其口服生物利用度。

综上所述，生姜中含有许多化学成分，包括多糖、萜烯类化合物、酚类化合物等，这些化合物使生姜具有多种生物学活性，例如抗氧化、抗炎、抗菌和抗癌以及其他保护作用，有助于身体健康。然而，这些生物活性化合物的数量和质量在很大程度上取决于提取技术，这不仅促进了未来技术的发展，以更有效地提取生姜中的活性成分，同时最大限度地发挥生姜的生物学活性。生姜中具体的活性成分及其生物学活性总结见表1。

表1 生姜中的活性成分及其生物学活性			
Table 1 Active ingredients and their biological activities in ginger			
活性成分	种类	生物学活性/应用	参考文献
多糖		抗氧化、抗肿瘤、抗流感、降血糖、免疫调节	[13-17]
桉叶醇		抗炎、抗菌、抗高血压、缓解痉挛、镇痛以及抗焦虑	[22-23]
柠檬醛		保肝、抗炎/香料、食品添加剂	[25]
柠檬烯	单萜烯	抗癌、抗病毒、抗炎和抗菌	[26-27]
芳樟醇		抗炎、抗癌、抗菌、镇痛、抗焦虑、抗抑郁和神经保护	[28]
蒎烯		胃保护、抗焦虑、抗惊厥、神经保护、抗氧化、抗胰腺炎	[29]
β -榄香烯		抗癌	[30]
法呢烯	倍半萜烯	溶剂、润肤剂、维生素和生物燃料	[31]
玉米黄醇		抗癌剂、抗菌剂、香料	[32-33]
姜辣素		抗癌、抗炎、抗氧化	[35]
姜烯酚		神经保护、抗氧化、抗炎	[37]
Paradols	酚类	抗癌、抗炎、心脏保护和神经保护	[40]
姜酮		抗炎、降血糖、止泻、抗痉挛、抗癌、止吐、抗焦虑、抗血栓、防辐射、抗菌	[41]
姜黄素	二芳基庚烷类	抗氧化、抗溃疡、抗癌、心脏保护、抗糖尿病、抗疟、抗菌、神经保护	[47-49]
混合物/姜根粉末/浸渍液	其他	除神经保护、心脏保护和降糖作用外，还具有抗癌作用	[50-51]

1.2 生物学活性

1.2.1 抗氧化活性

众所周知，活性氧（reactive oxygen species, ROS）等自由基的过量是许多慢性疾病的诱因，而生姜具有很高的抗氧化活性。Dugasani等^[53]通过比较6-、8-、10-姜辣素以及6-姜烯酚的抗氧化作用，发现它们都具有强大的抗氧化活性，其中6-姜辣素的活性最低，而10-姜辣素是所有姜辣素中抗氧化活性最高的。Ji Kaihua等^[54]证明了生姜中的姜油树脂具有作为有效抗氧化剂和辐射防护剂的潜在作用。除此之外，生姜提取物可以通过刺激几种抗氧化酶的表达，减少ROS和脂质过氧化等的产生，从而显示出抗氧化作用^[55]。生姜提取物还对镉诱导的肾毒性具有保护和抗氧化作用^[56]，以及对醋酸铅诱导的肝毒性具有抗氧化保护作用^[57]。此外，生姜提取物的抗氧化能力与萃取溶剂有关。Yeh等^[58]比较了生姜乙醇提取物和水提取物的抗氧化能力，发现生姜乙醇提取物具有更高的2,2'-联氮-二(3-(3-甲基苯并噻唑-6-磺酸)阳离子自由基清除

能力和铁离子还原能力等抗氧化活性。总而言之,众多的体外和体内研究表明,生姜及其生物活性化合物具有很强的抗氧化活性,其主要作用是平衡自由基的产生,使人体的防御系统更好,同时还可以对抗氧化酶或酶系统发挥调节作用。

1.2.2 抗炎活性

炎症可以定义为在微生物入侵、抗原暴露以及对细胞和组织的损害后发生的身体保护反应。它涉及许多细胞类型、介质、受体和信号通路之间的复杂相互作用。有研究显示,核因子 κ B (nuclear factor- κ B, NF- κ B)在神经炎症中起关键作用,另外,激活过氧化物酶体增殖物激活受体- γ (peroxisome proliferator-activated receptor- γ , PPAR- γ)可以调节代谢和炎症,而众多的研究表明,生姜及其各种活性化合物具有抗炎活性。Han Qinghe等^[59]证明了6-姜烯酚通过激活PPAR- γ 抑制脂多糖 (lipopolysaccharide, LPS) 诱导的炎症介质的产生,从而抑制LPS诱导的NF- κ B激活表现出抗炎作用。Zhang Mingzhen等^[60]发现负载6-姜烯酚的纳米颗粒通过调节促炎因子和抗炎因子的表达水平,可减轻硫酸葡聚糖钠诱导的结肠炎症状并加速结肠炎伤口修复。多项研究表明,6-姜辣素也具有抗炎活性。Saha等^[61]证明了6-姜辣素可通过调节NF- κ B通路降低霍乱弧菌诱导的肠上皮细胞炎症中的一系列白细胞介素 (interleukin, IL), 如IL-8、IL-6和IL-1 β , mRNA水平从而产生抗炎活性。生姜其他活性成分也被证明具有抗炎活性,如生姜提取物和姜酮通过调节NF- κ B和IL-1 β 通路改善三硝基苯磺酸诱导的结肠炎^[62]。生姜还可以通过减少肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α) 的产生以及蛋白激酶B (protein kinase B, PKB) 和NF- κ B的活化防止抗分化簇3抗体诱导的肠炎^[63]。以及Teng等^[64]发现生姜外泌体纳米颗粒的microRNA通过诱导IL-22 (屏障功能改善因子) 的产生改善小鼠结肠炎。综上所述,生姜及其活性化合物已被多次证明可以有效缓解炎症,特别是在肠道中的炎症性疾病中。生姜的抗炎机制可能与抑制PKB和NF- κ B活化、增强抗炎细胞因子以及降低促炎细胞因子有关。需要注意的是,生姜纳米颗粒的应用对改善肠道中的炎症性疾病有很大的帮助,包括对应的预防和治疗。

1.2.3 神经保护

一些人,尤其是老年人,患上阿尔茨海默病 (Alzheimer's disease, AD)、帕金森病 (Parkinson's disease, PD) 和痴呆等神经退行性疾病的风险很高,并且随着年龄的增加患病率会逐渐升高。而许多研究表明,生姜可能对记忆功能有积极影响,并且对这些慢性、不可治愈的疾病具有神经保护作用,甚至有助于神经退行性疾病的治疗和预防。在AD中,Zeng Gaofeng等^[65]报道了高剂量生姜提取物可以改善学习和记忆力。Moon

等^[66]发现生姜中的活性化合物可以通过抑制炎症反应、增加神经生长因子水平和改善AD大脑中突触的形成减少PD的认知功能障碍。Park等^[67]报道了6-姜烯酚可以改善运动协调障碍和运动迟缓的PD症状,发挥神经保护作用。此外,Ho等^[68]发现新鲜生姜中的10-姜辣素具有很强的抗神经炎症能力,它通过阻断NF- κ B活化抑制促炎基因的表达,导致一氧化氮、IL-1 β 、IL-6和TNF- α 水平下降。另一项研究发现,6-脱氢姜二酮对氧化应激诱导的神经元细胞损伤具有细胞保护作用^[69]。另外,在周围神经系统和中枢神经系统中,香草素受体1型 (vanillin receptor 1, VR1) 被发现疼痛传递和调节中起着重要作用,而有报道指出,生姜已被证明能够激活VR1^[70]。通过上述研究发现,生姜及其生物活性化合物对AD和PD等神经退行性疾病表现出保护作用。

1.2.4 抗菌活性

细菌和真菌的传播一直是困扰着人们健康的严重问题。由于长时间使用抗菌素,导致细菌产生耐药性,而生物膜的形成是细菌感染和抗菌素耐药性的重要原因。为了解决这个问题,几种草药和香料已被开发成针对许多病原微生物的天然有效抗菌剂。而近年来报道,生姜具有抗菌活性。一项研究发现,生姜通过影响膜完整性和抑制生物膜形成抑制铜绿假单胞菌等多种耐药菌株的生长^[71]。生姜的粗提取物和甲醇馏分通过下调毒力基因抑制生物膜形成、葡聚糖合成和变形链球菌的黏附^[72]。另一些研究结果表明,生姜精油具有抗菌性质。Wang Xin等^[73]证明了生姜精油对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌具有优异的抗菌活性,其中前者对生姜精油的敏感性高于后者,其抗菌机制为生姜精油使细菌细胞膜损伤,蛋白和核酸等大分子物质的泄漏,最终导致细菌代谢活性下降甚至死亡。综上所述,生姜已被证明可以抑制不同细菌和真菌的生长。

1.2.5 抗癌活性

癌症是导致死亡的主要原因,一些水果和植物等天然产物因其具有抗癌活性而被广泛研究。大量关于生姜提取物在体内外的实验研究表明,生姜及其活性成分可以消灭或者抑制不同类型癌症的发展。研究发现,补充生姜提取物可降低结直肠癌高危患者的结肠黏膜增殖并促进细胞凋亡^[6]。6-姜烯酚、10-姜烯酚、6-姜辣素和10-姜辣素通过下调多种耐药相关蛋白的表达,对人前列腺癌细胞具有抗增殖作用^[74],其中,6-姜辣素还可以抑制人宫颈腺癌细胞的生长^[75]。生姜提取物还可以通过增加肿瘤抑制基因p53的表达和降低肿瘤组织中NF- κ B的水平来促进细胞凋亡从而预防乳腺癌^[76]。由生姜制备的荧光碳纳米点可以有效地控制人肝癌细胞引起的裸鼠肿瘤的生长。一项体外实验发现生姜碳纳米点增加了肝癌细胞中ROS的含量,从而上调p53的表达并促进细胞凋亡^[77]。

生姜提取物和6-姜烯酚抑制人胰腺癌细胞的生长,且无严重不良反应^[78]。综上所述,生姜可以预防几种类型的癌症,如结直肠癌、前列腺癌、乳腺癌、宫颈癌、肝癌和胰腺癌等,抗癌机制主要涉及诱导细胞凋亡和抑制癌细胞增殖。

1.2.6 降血糖活性

糖尿病是由胰岛素缺乏或者胰岛素抵抗引起的严重代谢紊乱,导致血糖异常升高。许多研究工作已经评估了生姜及其主要活性成分的抗糖尿病作用。Sampath等^[79]发现6-姜辣素可以降低高脂肪饮食引起的肥胖小鼠的血浆葡萄糖和胰岛素水平。Wei等^[10]发现6-Paradol和6-姜烯酚通过增加AMPK磷酸化促进葡萄糖利用。此外,6-Paradol能显著降低血糖水平。Li Yiming等^[80]发现生姜提取物可改善代谢综合征大鼠的胰岛素敏感性,这可能与6-姜辣素改善能量代谢有关。Dongare等^[81]发现生姜提取物可减轻链脲佐菌素诱导的糖尿病大鼠视网膜微血管的改变。综上所述表明,生姜及其生物活性化合物可以通过降低胰岛素水平、增加胰岛素的敏感性预防和治疗糖尿病及其并发症。

1.2.7 其他生物活性

除上述活性外,生姜还具有对呼吸系统的保护作用以及抗恶心、止呕、心血管保护等作用。天然草药在治疗哮喘等呼吸系统疾病方面有着悠久的历史,生姜治疗便是其中一种疗法。在一些研究中,生姜及其生物活性化合物表现出对呼吸系统疾病的保护作用,如6-姜烯酚、8-姜辣素和6-姜辣素可以诱导人气道平滑肌快速松弛^[82]。除此之外,生姜还可改善过敏性哮喘^[83]。生姜在传统上就已经被运用在缓解胃肠道等症状方面,既往的研究结果表明,生姜可以减轻呕吐、晕动病以及妊娠所引起的恶心,而最近的研究则集中在生姜对术后和化疗引起的恶心和呕吐的预防作用上。一项双盲、随机和安慰剂对照实验显示,补充生姜可改善化疗后患者恶心的生活质量^[84]。此外,生姜可缓解抗结核药物和逆转录病毒治疗引起的恶心,并降低患者轻度、中度和重度恶心发作的频率^[85]。一般来说,生姜通过减轻高血压和改善血脂异常从而表现出心血管保护作用。研究显示,生姜提取物通过抑制一氧化氮合酶和环氧合酶对猪冠状动脉具有血管保护作用^[86]。

2 生姜提取物在食品包装上的应用

食物容易受到各种环境因素的影响,如水分、光线、氧气和微生物,可能导致食物变质^[87]。此外,农药、重金属和微生物毒素的残留物引起的食品安全问题

会直接影响消费者的健康^[88]。大肠杆菌、鼠伤寒沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、单核细胞增生李斯特菌和弯曲杆菌等食源性病原体甚至可引起人类胃肠道和神经系统类的疾病^[89]。食品包装是食品科学技术的重要组成部分,其主要功能是保护其内容物免受微生物和其他有机体导致的腐败,保证产品的质量及安全并延长保质期。食品包装不仅有助于食物的可持续发展和减少食物的浪费,还可以让消费者吃到安全卫生的食品。另外,它还可以展示产品信息,帮助产品商业化和分销。包装材料多种多样,根据每种产品的个体差异性,从单一的纸质包装再到金属、玻璃和塑料。然而,这种传统包装的保存方法产生了大部分的固体废弃物,对环境造成了污染,其所使用的材料不可被生物降解,不仅破坏了环境,甚至还可能通过水、土壤和空气传播污染从而影响人类的健康。目前为止,此类非生物降解材料作为食品包装材料的生产和使用已显著增加,对大自然造成的危害越来越严重。近年来,随着生活水平的提高,人们对食品的质量和安全性有着越来越高的要求,意识到食品包装对食品保护的重要性,并且逐渐意识到自然生态以及自我健康的重要性。为了满足对环境可持续性和安全性日益增长的需求,越来越多的研究已经指向开发可以在环境中快速降解的食品包装材料^[90]。

生物聚合物是由单体单元通过共价键连接所组成的链状分子聚合物,其具备在天然生物体作用下被降解或分解的特性,最终生成对环境安全的有机副产物,如二氧化碳和水,也因为其丰富、可再生和可被生物降解的特点已被认为是那些由石油制成的不可被生物降解等物质的替代材料^[91]。过去,用于食品包装应用最常见的生物聚合物类型是一些天然产物,例如碳水化合物类的淀粉、纤维素、壳聚糖和琼脂以及蛋白质类的明胶、乳清蛋白和胶原蛋白等。如今,科学技术的发展已经促使合成生物聚合物的形成,其中包括聚乳酸、聚己内酯、聚乙醇酸、聚乙烯醇和聚丁二酸丁二醇酯等^[92]。此类合成生物聚合物的优势包括创造可持续工业的潜力以及增强各种性能,如耐用性、柔韧性、高光泽度、透明度和拉伸强度。生物聚合物根据来源可分为4类,包括从天然生物中提取的天然生物聚合物(例如农业资源)、来自微生物生产或发酵的合成生物聚合物(例如聚羟基链烷酸酯)、由生物物质常规合成的生物聚合物(例如聚乳酸)和由石油产品化学合成的生物聚合物(例如聚己内酯)^[93]。图4总结了应用在食品包装上的生物聚合物及其分类情况。

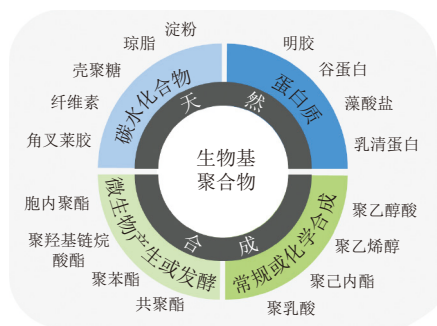


图4 生物基聚合物的分类
Fig. 4 Classification of biobased polymers

然而，与常规的不可生物降解的材料（尤其是由石油制成的包装材料）相比，使用生物聚合物制备的食品包装材料具有较差的机械性能（例如低拉伸强度）和阻隔性能（例如高透水性）。并且生物聚合物通常是脆性的，热变形温度低，对长时间加工操作的耐受性低^[94]。然而，为了权衡使用生物聚合物作为包装材料的优点，特别是为了满足社会对可持续性和环境安全的需求，许多研究已经开始针对这些用于食品包装应用的生物聚合物的改进，例如生物纳米复合材料已被确定为是一种有前途的包装材料，可提高生物聚合物的机械性能和阻隔性能，或同时添加一些天然植物、动物或微生物基生物聚合物，为食品包装提供了可持续性、生物降解性以及提高其性能的过渡^[95]，利用其天然的抗菌和抗氧化等特性，可提高包装食品的安全性并延长其保质期。而生姜因其优异的抗菌和抗氧化性能，现已有一些学者通过提取出生姜中的活性成分研究其在食品包装上的应用，如表2所示。Saedi等^[96]使用姜浆中的再生纤维素成功制备了透明和柔性再生纤维素薄膜，掺入姜黄素的再生纤维素薄膜具有强大的紫外线屏障以及抗氧化和抗菌活性，可对抗多种食源性致病菌，同时保持透明度，被证明适用于食品包装应用。Rahmasari等^[97]发现使用超声处理的姜淀粉基食用薄膜具有更好的机械、阻隔、热和抗菌性能，有效抑制了碎牛肉样品中的脂质氧化，同时不会对碎牛肉的感官属性产生负面影响。Fasihi等^[12]发现负载生姜精油的生物复合薄膜表现出优异的紫外线和光阻隔性能，以及高抗氧化和抗菌活性，可用于面包包装的应用。生姜甘油提取物添加到食用涂层配方中已被证明可有效减少黄曲霉的生长，可以显著减少核桃氧化，从而改善坚果营养、提高微生物质量、提升安全性和延长保质期^[98]。Zhang Le等^[99]将生姜精油掺入微乳液纳米薄膜，不仅改善了薄膜的力学性能和水蒸气渗透力性能，而且提高了其抵抗病原菌、腐败菌和抑制脂质氧化的功能，有助于延长鲜肉的保质期^[99]。

表2 添加生姜活性成分对可生物降解食品包装膜性能的影响
Table 2 Effect of the addition of ginger bioactive components on the properties of biodegradable food packaging film

生姜活性成分	其他负载化合物	薄膜特性	应用	参考文献
姜浆纤维素	ZnO纳米颗粒/姜黄素	紫外屏障、抗氧化、抗菌	—	[96]
姜淀粉	椰壳液体烟雾	热稳定、抗菌、抗氧化、水蒸气阻隔	碎牛肉	[97]
生姜精油	羧甲基纤维素/聚乙烯醇	刚性、拉伸性、抗菌、抗氧化	面包	[12]
生姜甘油提取物	壳聚糖	抗氧化、抗菌	核桃	[98]
生姜精油	明胶/ZnO纳米颗粒	抗菌、抗氧化	鲜肉	[99]

注：—文献未提及。

综上所述，生姜活性成分可以以纳米乳液或固体颗粒的形式递送，除了直接用于食品保鲜外，还可用于生产可生物降解的包装薄膜或涂料，从而提高其生物利用度和食品保鲜效率。此外，输送系统对生姜的保护使其受环境影响较小，在食品保鲜方面具有良好的控释性能和更高的抗菌以及抗氧化性能，显示出优异的面包、家禽、果蔬和海鲜产品等食品的保藏能力。这些可持续和可被生物降解的材料出现，显著改善了包装的机械和阻隔性能，有效地延长了保质期，提高了食品质量，增强了食品安全，为消费者提供了更新鲜、更可持续的产品。随着这些材料在市场上的快速增长，它们未来的应用前景广阔。该领域的持续研究和开发有望产生创新、环保的包装解决方案，标志着食品包装朝着更可持续的未来迈出了关键的一步。

3 结 语

生姜中的姜烯酚、姜辣素和姜酮等成分已被确定并被公认为是生姜提取物中所含的主要化合物，使生姜具备如抗氧化、抗炎和抗菌等多种生物学活性。因此，生姜可以成为功能性食品或营养品的成分，也可用于管理和预防如癌症、心血管疾病、糖尿病、肥胖症、神经退行性疾病、恶心、呕吐和呼吸系统疾病等多种疾病，具体的作用机制值得进一步探究。对于分离和纯化这些生姜中的生物活性物质仍然是一个挑战，未来将进一步研究其在体内的作用机理，以便更好地实现生姜多元化利用，同时为其开发提供参考和方向。值得注意的是，生姜及其各种生物活性化合物的临床试验是必要的，以证明其对人类这些疾病的功效。虽然生姜资源已逐步开发利用，但大部分是单独开发利用其根茎，缺乏生姜采收加工后的综合集中利用。既往的研究表明，姜茎叶和姜渣中也含有丰富的活性成分，具有一定的药用价值和发展潜力。通过分析生姜副产品的组成、功能及其应用空间，将生姜副产品的二次和多重利用结果形成一系列、大规模的产品开发利用方式，既能实现资源的高效利用、提高企业经济效益，又能保护环境。这种对生姜的深入系统研究可以帮助人们从更多角度理解和应用生姜。

生姜在食品包装应用上的研究显示,含有生姜活性成分的食品包装材料具有很高的抗菌和抗氧化特性,然而,含有生姜成分的包装薄膜或涂层会改变食品的感官特性,这可能会对食品的感官特性产生负面影响。利用生姜或其主要成分之间的协同相互作用,或将它们与具有抗菌和抗氧化特性的聚合物相结合,可提高利用率并减少食品的感官变化,也可以选择具有与生姜相匹配的风味和香气的食物,可能会减少对感官属性的负面影响。因此,需要进一步研究以改进含有生姜活性成分的功能化食品保鲜输送系统,以满足各种食品和大规模生产的产品要求,例如提高利用率、控制和延长保质期,同时考虑成本投资和消费者接受度。现如今,大多数研究仅限于实验室测试,尚未以商业规模进行。因此,验证含有生姜活性成分的可生物降解包装系统的可行性和商业化还有待进一步探索。

参考文献:

- [1] KIYAMA R. Nutritional implications of ginger: chemistry, biological activities and signaling pathways[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2020, 86: 108486. DOI:10.1016/j.jnutbio.2020.108486.
- [2] CRICHTON M, DAVIDSON A R, INNERARITY C, et al. Orally consumed ginger and human health: an umbrella review[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2022, 115(6): 1511-1527. DOI:10.1093/ajcn/nqac035.
- [3] KUMAR K M, ASISH G, SABU M, et al. Significance of gingers (Zingiberaceae) in Indian system of medicine-Ayurveda: an overview[J]. Ancient Science of Life, 2013, 32(4): 253-261. DOI:10.4103/0257-7941.131989.
- [4] LI H J, LIU Y N, LUO D, et al. Ginger for health care: an overview of systematic reviews[J]. Complementary Therapies in Medicine, 2019, 45: 114-123. DOI:10.1016/j.ctim.2019.06.002.
- [5] HU W J, YU A Q, WANG S, et al. Extraction, purification, structural characteristics, biological activities, and applications of the polysaccharides from *Zingiber officinale* Roscoe. (ginger): a review[J]. Molecules, 2023, 28(9): 3855. DOI:10.3390/molecules28093855.
- [6] NILE S H, PARK S W. Chromatographic analysis, antioxidant, anti-inflammatory, and xanthine oxidase inhibitory activities of ginger extracts and its reference compounds[J]. Industrial Crops and Products, 2015, 70: 238-244. DOI:10.1016/j.indcrop.2015.03.033.
- [7] VIJENDRA KUMAR N, MURTHY P S, MANJUNATHA J R, et al. Synthesis and quorum sensing inhibitory activity of key phenolic compounds of ginger and their derivatives[J]. Food Chemistry, 2014, 159: 451-457. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.03.039.
- [8] ZHANG M Z, VIENNOIS E, PRASAD M, et al. Edible ginger-derived nanoparticles: a novel therapeutic approach for the prevention and treatment of inflammatory bowel disease and colitis-associated cancer[J]. Biomaterials, 2016, 101: 321-340. DOI:10.1016/j.biomaterials.2016.06.018.
- [9] CITRONBERG J, BOSTICK R, AHEARN T, et al. Effects of ginger supplementation on cell-cycle biomarkers in the normal-appearing colonic mucosa of patients at increased risk for colorectal cancer: results from a pilot, randomized, and controlled trial[J]. Cancer Prevention Research, 2013, 6(4): 271-281. DOI:10.1158/1940-6207.CAPR-12-0327.
- [10] WEI C K, TSAI Y, KORINEK M, et al. 6-Paradol and 6-shogaol, the pungent compounds of ginger, promote glucose utilization in adipocytes and myotubes, and 6-paradol reduces blood glucose in high-fat diet-fed mice[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2017, 18(1): 168. DOI:10.3390/ijms18010168.
- [11] LEE J Y, GARCIA C V, SHIN G H, et al. Antibacterial and antioxidant properties of hydroxypropyl methylcellulose-based active composite films incorporating oregano essential oil nanoemulsions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 106: 164-171. DOI:10.1016/j.lwt.2019.02.061.
- [12] FASIHI H, NOSHIRVANI N, HASHEMI M. Novel bioactive films integrated with Pickering emulsion of ginger essential oil for food packaging application[J]. Food Bioscience, 2023, 51: 102269. DOI:10.1016/j.fbio.2022.102269.
- [13] JING Y S, CHENG W J, MA Y F, et al. Structural characterization, antioxidant and antibacterial activities of a novel polysaccharide from *Zingiber officinale* and its application in synthesis of silver nanoparticles[J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 917094. DOI:10.3389/fnut.2022.917094.
- [14] LIAO D W, CHENG C, LIU J P, et al. Characterization and antitumor activities of polysaccharides obtained from ginger (*Zingiber officinale*) by different extraction methods[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 152: 894-903. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2020.02.325.
- [15] HU H M, HU M H, WANG D H, et al. Mixed polysaccharides derived from shiitake mushroom, poriacocos, ginger, and tangerine peel enhanced protective immune responses in mice induced by inactivated influenza vaccine[J]. Biomedicine and Pharmacotherapy, 2020, 126: 110049. DOI:10.1016/j.biopha.2020.110049.
- [16] CARVALHO G C N, LIRA-NETO J C G, ARAÚJO M F M, et al. Effectiveness of ginger in reducing metabolic levels in people with diabetes: a randomized clinical trial[J]. Revista Latino-Americana de Enfermagem, 2020, 28: e3369. DOI:10.1590/1518-8345.3870.3369.
- [17] LIU J P, WANG J, ZHOU S X, et al. Ginger polysaccharides enhance intestinal immunity by modulating gut microbiota in cyclophosphamide-induced immunosuppressed mice[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 223: 1308-1319. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2022.11.104.
- [18] CHEN X H, CHEN G J, WANG Z R, et al. A comparison of a polysaccharide extracted from ginger (*Zingiber officinale*) stems and leaves using different methods: preparation, structure characteristics, and biological activities[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 151: 635-649. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2020.02.222.
- [19] CHEN G T, YUAN B, WANG H X, et al. Characterization and antioxidant activity of polysaccharides obtained from ginger pomace using two different extraction processes[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 139: 801-809. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2019.08.048.
- [20] WANG Y, WEI X L, WANG F H, et al. Structural characterization and antioxidant activity of polysaccharide from ginger[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 111: 862-869. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2018.01.087.
- [21] ALI B H, BLUNDEN G, TANIRA M O, et al. Some phytochemical, pharmacological and toxicological properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): a review of recent research[J]. Food and Chemical Toxicology, 2008, 46(2): 409-420. DOI:10.1016/j.fct.2007.09.085.
- [22] JUERGENS U. Anti-inflammatory properties of the monoterpene 1,8-cineole: current evidence for co-medication in inflammatory airway

- diseases[J]. Drug Research, 2014, 64(12): 638-646. DOI:10.1055/s-0034-1372609.
- [23] SEOL G, KIM K. Eucalyptol and its role in chronic diseases[J]. Advances in Experimental Medicine and Biology, 2016, 929: 389-398. DOI:10.1007/978-3-319-41342-6_18.
- [24] STAPPEN I, HOELZL A, RANDJELOVIC O, et al. Influence of essential ginger oil on human psychophysiology after inhalation and dermal application[J]. Natural Product Communications, 2016, 11(10): 1569-1578.
- [25] LAI Y, LEE W, LIN Y, et al. Ginger essential oil ameliorates hepatic injury and lipid accumulation in high fat diet-induced nonalcoholic fatty liver disease[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(10): 2062-2071. DOI:10.1021/acs.jafc.5b06159.
- [26] MUKHTAR Y, MICHAEL A, XU X, et al. Biochemical significance of limonene and its metabolites: future prospects for designing and developing highly potent anticancer drugs[J]. Bioscience Reports, 2018, 38(6): BSR20181253.
- [27] SUN J D. D-limonene: safety and clinical applications[J]. Alternative Medicine Review, 2017, 12(3): 259-264.
- [28] PEREIRA I, SEVERINO P, SANTOS A C, et al. Linalool bioactive properties and potential applicability in drug delivery systems[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2018, 171: 566-578. DOI:10.1016/j.colsurfb.2018.08.001.
- [29] ZHAI B T, ZENG Y Y, ZENG Z W, et al. Drug delivery systems for elemene, its main active ingredient β -elemene, and its derivatives in cancer therapy[J]. International Journal of Nanomedicine, 2018, 13: 6279-6296. DOI:10.2147/IJN.S174527.
- [30] ZHAI B T, ZHANG N N, HAN X M, et al. Molecular targets of β -elemene, a herbal extract used in traditional Chinese medicine, and its potential role in cancer therapy: a review[J]. Biomed and Pharmacother, 2019, 114: 108812. DOI:10.1016/j.biopha.2019.108812.
- [31] GEORGE K, ALONSO-GUTIERREZ J, KEASLING J, et al. Isoprenoid drugs, biofuels, and chemicals-artemisinin, farnesene, and beyond[J]. Biotechnology of Isoprenoids, 2015, 148: 355-389. DOI:10.1007/10_2014_288.
- [32] GIRISA S, SHABNAM B, MONISHA J, et al. Potential of zerumbone as an anti-cancer agent[J]. Molecules, 2019, 24(4): 734. DOI:10.3390/molecules24040734.
- [33] KITAYAMA T. Attractive reactivity of a natural product, zerumbone[J]. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry, 2011, 75(2): 199-207. DOI:10.1271/bbb.100532.
- [34] VARAKUMAR S, UMESH K, SINGHAL R. Enhanced extraction of oleoresin from ginger (*Zingiber officinale*) rhizome powder using enzyme-assisted three phase partitioning[J]. Food Chemistry, 2017, 216: 27-36. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.07.180.
- [35] WANG S, ZHANG C, YANG G, et al. Biological properties of 6-gingerol: a brief review[J]. Natural Product Communications, 2014, 9(7): 1027-1030.
- [36] JUNG M Y, LEE M K, PARK H J, et al. Heat-induced conversion of gingerols to shogaols in ginger as affected by heat type (dry or moist heat), sample type (fresh or dried), temperature and time[J]. Food Science and Biotechnology, 2017, 27(3): 687-693. DOI:10.1007/s10068-017-0301-1.
- [37] OHNISHI M, OHSHITA M, TAMAKI H, et al. Shogaol but not gingerol has a neuroprotective effect on hemorrhagic brain injury: contribution of the α,β -unsaturated carbonyl to heme oxygenase-1 expression[J]. European Journal of Pharmacology, 2019, 842: 33-39. DOI:10.1016/j.ejphar.2018.10.029.
- [38] KOU X R, WANG X Q, JI R Y, et al. Occurrence, biological activity and metabolism of 6-shogaol[J]. Food & Function, 2018, 9(3): 1310-1327. DOI:10.1039/c7fo01354j.
- [39] SAPKOTA A, PARK S J, CHOI J W. Neuroprotective effects of 6-shogaol and its metabolite, 6-paradol, in a mouse model of multiple sclerosis[J]. Biomolecules and Therapeutics, 2019, 27(2): 152-159. DOI:10.4062/biomolther.2018.089.
- [40] JIN G, SUN Y, MINSUN J, et al. Pharmacotherapeutic potential of ginger and its compounds in age-related neurological disorders[J]. Pharmacology and Therapeutics, 2018, 182: 56-69. DOI:10.1016/j.pharmthera.2017.08.010.
- [41] AHMAD B, REHMAN M, AMIN I, et al. A review on pharmacological properties of zingerone (4-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-butanone)[J]. The Scientific World Journal, 2015, 2015: 816364. DOI:10.1155/2015/816364.
- [42] KOU X, LI X, RAHMAN M R T, et al. Efficient dehydration of 6-gingerol to 6-shogaol catalyzed by an acidic ionic liquid under ultrasound irradiation[J]. Food Chemistry, 2017, 215: 193-199. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.07.106.
- [43] BANERJEE J, SINGH R, VIJAYARAGHAVAN R, et al. Bioactives from fruit processing wastes: green approaches to valuable chemicals[J]. Food Chemistry, 2017, 225: 10-22. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.12.093.
- [44] NIRAMON U, SIRINAPA S I, PHENPHICHAR W, et al. Development of edible Thai rice film fortified with ginger extract using microwave-assisted extraction for oral antimicrobial properties[J]. Scientific Reports, 2021, 11(1): 1-10. DOI:10.1038/s41598-021-94430-y.
- [45] MD SARIP M S, MORAD N A, MOHAMAD ALI N A, et al. The kinetics of extraction of the medicinal ginger bioactive compounds using hot compressed water[J]. Separation and Purification Technology, 2014, 124: 141-147. DOI:10.1016/j.seppur.2014.01.008.
- [46] VALADEZ-CARMONA L, ORTIZ-MORENO A, CEBALLOS-REYES G, et al. Valorization of cacao pod husk through supercritical fluid extraction of phenolic compounds[J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2018, 131: 99-105. DOI:10.1016/j.supflu.2017.09.011.
- [47] QADIR M I, NAQVI S T Q, MUHAMMAD S A. Curcumin: a polyphenol with molecular targets for cancer control[J]. Asian Pacific Journal of Cancer Prevention, 2016, 17(6): 2735-2739.
- [48] KOCAADAM B, ŞANLIER N. Curcumin, an active component of turmeric (*Curcuma longa*), and its effects on health[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, 57(13): 2889-2895. DOI:10.1080/10408398.2015.1077195.
- [49] AKBAR M U, REHMAN K, ZIA K M, et al. Critical review on curcumin as a therapeutic agent: from traditional herbal medicine to an ideal therapeutic agent[J]. Critical Reviews in Eukaryotic Gene Expression, 2018, 28(1): 17-24. DOI:10.1615/CritRevEukaryotGeneExpr.2018020088.
- [50] SHUKLA Y, SINGH M. Cancer preventive properties of ginger: a brief review[J]. Food and Chemical Toxicology, 2007, 45(5): 683-690. DOI:10.1016/j.fct.2006.11.002.
- [51] DE LIMA R M T, DOS REIS A C, DE MENEZES A P M, et al. Protective and therapeutic potential of ginger (*Zingiber officinale*) extract and [6]-gingerol in cancer: a comprehensive review[J]. Phytotherapy Research, 2018, 32(10): 1885-1907. DOI:10.1002/ptr.6134.
- [52] MOHD SAHARDI N F N, MAKPOL S. Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) in the prevention of ageing and degenerative diseases: review of current evidence[J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2019, 2019: 5054395. DOI:10.1155/2019/5054395.

- [53] DUGASANI S, PICHIKA M R, NADARAJAH V D, et al. Comparative antioxidant and anti-inflammatory effects of [6]-gingerol, [8]-gingerol, [10]-gingerol and [6]-shogaol[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2010, 127(2): 515-520. DOI:10.1016/j.jep.2009.10.004.
- [54] JI K H, FANG L Y, ZHAO H, et al. Ginger oleoresin alleviated γ -ray irradiation-induced reactive oxygen species via the Nrf2 protective response in human mesenchymal stem cells[J]. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2017, 2017: 1480294. DOI:10.1155/2017/1480294.
- [55] HOSSEINZADEH A, JUYBARI K B, FATEMI M J, et al. Protective effect of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) extract against oxidative stress and mitochondrial apoptosis induced by interleukin-1 β in cultured chondrocytes[J]. Cells Tissues Organs, 2017, 204: 241-250. DOI:10.1159/000479789.
- [56] GABR S A, ALGHADIR A H, GHONIEM G A. Biological activities of ginger against cadmium-induced renal toxicity[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2019, 26(2): 382-389. DOI:10.1016/j.sjbs.2017.08.008.
- [57] MOHAMED O I, EL-NAHAS A F, EL-SAYED Y S, ASHRY K M. Ginger extract modulates Pb-induced hepatic oxidative stress and expression of antioxidant gene transcripts in rat liver[J]. Pharmaceutical Biology, 2016, 54(7): 1164-1172. DOI:10.3109/13880209.2015.1057651.
- [58] YEH H, CHUANG C, CHEN H, et al. Bioactive components analysis of two various gingers (*Zingiber officinale* Roscoe) and antioxidant effect of ginger extracts[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 55: 329-334. DOI:10.1016/j.lwt.2013.08.003.
- [59] HAN Q H, YUAN Q H, MENG X L, et al. 6-Shogaol attenuates LPS-induced inflammation in BV2 microglia cells by activating PPAR- γ [J]. Oncotarget, 2017, 8(26): 42001-42006. DOI:10.18632/oncotarget.16719.
- [60] ZHANG M Z, XU C L, LIU D D, et al. Oral delivery of nanoparticles loaded with ginger active compound, 6-shogaol, attenuates ulcerative colitis and promotes wound healing in a murine model of ulcerative colitis[J]. Journal of Crohn's and Colitis, 2018, 12: 217-229. DOI:10.1093/ecco-jcc/jjx115.
- [61] SAHA P, KATARKAR A, DAS B, et al. 6-Gingerol inhibits *Vibrio cholerae*-induced proinflammatory cytokines in intestinal epithelial cells via modulation of NF- κ B[J]. Pharmaceutical Biology, 2016, 54(9): 1606-1615. DOI:10.3109/13880209.2015.1110598.
- [62] HSIANG C, LO H, HUANG H, et al. Ginger extract and zingerone ameliorated trinitrobenzene sulphonic acid-induced colitis in mice via modulation of nuclear factor- κ B activity and interleukin-1 β signalling pathway[J]. Food Chemistry, 2013, 136: 170-177. DOI:10.1016/j.foodchem.2012.07.124.
- [63] UENO N, HASEBE T, KANEKO A, et al. TU-100 (Daikenchuto) and ginger ameliorate anti-CD $_3$ antibody induced T cell-mediated murine enteritis: microbe-independent effects involving Akt and NF- κ B suppression[J]. PLoS ONE, 2014, 9(5): e97456. DOI:10.1371/journal.pone.0097456.
- [64] TENG Y, REN Y, SAYED M, et al. Plant-derived exosomal microRNAs shape the gut microbiota[J]. Cell Host and Microbe, 2018, 24(5): 637-652. DOI:10.1016/j.chom.2018.10.001.
- [65] ZENG G F, ZHANG Z Y, LU L, et al. Protective effects of ginger root extract on Alzheimer disease-induced behavioral dysfunction in rats[J]. Rejuvenation Research, 2013, 16(2): 124-133. DOI:10.1089/rej.2012.1389.
- [66] MOON M, KIM H G, CHOI J G, et al. 6-Shogaol, an active constituent of ginger, attenuates neuroinflammation and cognitive deficits in animal models of dementia[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2014, 449(1): 8-13. DOI:10.1016/j.bbrc.2014.04.121.
- [67] PARK G, KIM H G, JU M S, et al. 6-Shogaol, an active compound of ginger, protects dopaminergic neurons in Parkinson's disease models via anti-neuroinflammation[J]. Acta Pharmacologica Sinica, 2013, 34(9): 1131-1139. DOI:10.1038/aps.2013.57.
- [68] HO S C, CHANG K S, LIN C C. Anti-neuroinflammatory capacity of fresh ginger is attributed mainly to 10-gingerol[J]. Food Chemistry, 2013, 141(3): 3183-3191. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.06.010.
- [69] YAO J, GE C P, DUAN D Z, et al. Activation of the phase II enzymes for neuroprotection by ginger active constituent 6-dehydrogingerdione in PC12 cells[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(24): 5507-5518. DOI:10.1021/jf405553v.
- [70] DEDOV V N, TRAN V H, DUKE C C, et al. Gingerols: a novel class of vanilloid receptor (VR1) agonists[J]. British Journal of Pharmacology, 2002, 137(6): 793-798. DOI:10.1038/sj.bjp.0704925.
- [71] CHAKOTIYA A S, TANWAR A, NARULA A, et al. *Zingiber officinale*: its antibacterial activity on pseudomonas aeruginosa and mode of action evaluated by flow cytometry[J]. Microbial Pathogenesis, 2017, 107: 254-260. DOI:10.1016/j.micpath.2017.03.029.
- [72] HASAN S, DANISHUDDIN M, KHAN A U. Inhibitory effect of *Zingiber officinale* towards *Streptococcus mutans* virulence and caries development: *in vitro* and *in vivo* studies[J]. BMC Microbiology, 2015, 15(1): 1. DOI:10.1186/s12866-014-0320-5.
- [73] 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. DOI:10.3390/molecules25173955.
- [74] LIU C M, KAO C L, TSENG Y T, et al. Ginger phytochemicals inhibit cell growth and modulate drug resistance factors in docetaxel resistant prostate cancer cell[J]. Molecules, 2017, 22(9): 1477. DOI:10.3390/molecules22091477.
- [75] ZHANG F, ZHANG J G, QU J, et al. Assessment of anti-cancerous potential of 6-gingerol (*Tongling* White Ginger) and its synergy with drugs on human cervical adenocarcinoma cells[J]. Food and Chemical Toxicology, 2017, 109: 910-922. DOI:10.1016/j.fct.2017.02.038.
- [76] EL-ASHMAWY N E, KHEDR N F, EL-BAHRAWY H A, et al. Ginger extract adjuvant to doxorubicin in mammary carcinoma: study of some molecular mechanisms[J]. European Journal of Nutrition, 2018, 57(3): 981-989. DOI:10.1007/s00394-017-1382-6.
- [77] LI C L, OU C M, HUANG C C, et al. Carbon dots prepared from ginger exhibiting efficient inhibition of human hepatocellular carcinoma cells[J]. Journal of Materials Chemistry B, 2014, 2(28): 4564-4571. DOI:10.1039/c4tb00216d.
- [78] AKIMOTO M, IIZUKA M, KANEMATSU R, et al. Anticancer effect of ginger extract against pancreatic cancer cells mainly through reactive oxygen species-mediated autotic cell death[J]. PLoS ONE, 2015, 10(5): e0126605. DOI:10.1371/journal.pone.0126605.
- [79] SAMPATH C, RASHID M R, SANG S, 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 Chemistry, 2017, 226: 79-88. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.01.056.
- [80] LI Y M, TRAN V H, KOTA B P, et al. Preventative effect of *Zingiber officinale* on insulin resistance in a high-fat high-carbohydrate diet-fed rat model and its mechanism of action[J]. Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology, 2014, 115(2): 209-215. DOI:10.1111/bcpt.12196.
- [81] DONGARE S, GUPTA S K, MATHUR R, et al. *Zingiber officinale* attenuates retinal microvascular changes in diabetic rats via anti-

- inflammatory and antiangiogenic mechanisms[J]. *Molecular Vision*, 2016, 22: 599-609.
- [82] TOWNSEND E A, ZHANG Y, XU C, et al. Active components of ginger potentiate β -agonist-induced relaxation of airway smooth muscle by modulating cytoskeletal regulatory proteins[J]. *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology*, 2014, 50(1): 115-124. DOI:10.1165/rcmb.2013-0133OC.
- [83] KHAN A M, SHAHZAD M, RAZA ASIM M B, et al. *Zingiber officinale* ameliorates allergic asthma via suppression of Th2-mediated immune response[J]. *Pharmaceutical Biology*, 2015, 53(3): 359-367. DOI:10.3109/13880209.2014.920396.
- [84] EMRANI Z, SHOJAEI E, KHALILI H. Ginger for prevention of antituberculosis-induced gastrointestinal adverse reactions including hepatotoxicity: a randomized pilot clinical trial[J]. *Phytotherapy Research*, 2016, 30(6): 1003-1009. DOI:10.1002/ptr.5607.
- [85] PALATY P L, HANIADKA R, VALDER B. Ginger in the prevention of nausea and vomiting: a review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2013, 53(7): 659-669. DOI:10.1080/10408398.2011.553751.
- [86] WU H C, HORNG C T, TSAI S C, et al. Relaxant and vasoprotective effects of ginger extracts on porcine coronary arteries[J]. *International Journal of Molecular Medicine*, 2018, 41(4): 2420-2428. DOI:10.3892/ijmm.2018.3380.
- [87] REDFEARN H N, WARREN M K, GODDARD J M. Reactive extrusion of nonmigratory active and intelligent packaging[J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2023, 15(24): 29511-29524. DOI:10.1021/acsami.3c06589.
- [88] ESMAEILI Y, PAIDARI S, BAGHBADERANI S A, et al. Essential oils as natural antimicrobial agents in postharvest treatments of fruits and vegetables: a review[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2021, 16: 507-522. DOI:10.1007/s11694-021-01178-0.
- [89] LAWAL K G, RIAZ A, MOSTAFA H, et al. Development of carboxymethylcellulose based active and edible food packaging films using date seed components as reinforcing agent: physical, biological, and mechanical properties[J]. *Food Biophysics*, 2023, 18: 497-509. DOI:10.1007/s11483-023-09793-8.
- [90] JAYARAMUDU J, REDDY G S M, VARAPRASAD K, et al. Preparation and properties of biodegradable films from *Sterculia urens* short fiber/cellulose green composites[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2013, 93(2): 622-627. DOI:10.1016/j.carbpol.2013.01.032.
- [91] LIU W, MISRA M, ASKELAND P, et al. 'Green' composites from soy based plastic and pineapple leaf fiber: fabrication and properties evaluation[J]. *Polymer*, 2005, 46(8): 2710-2721. DOI:10.1016/j.polymer.2005.01.027.
- [92] SHIV S, RHIM J W. Bio-nanocomposites for food packaging applications[J]. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 2020, 5: 29-41. DOI:10.1016/B978-0-12-803581-8.11415-8.
- [93] OTHMAN S H. Bio-nanocomposite materials for food packaging applications: types of biopolymer and nano-sized filler[J]. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2014, 2: 296-303. DOI:10.1016/j.aaspro.2014.11.042.
- [94] SORRENTINO A, GORRASI G, VITTORIA V. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2007, 18(2): 84-95. DOI:10.1016/j.tifs.2006.09.004.
- [95] ZUBKIEWICZ A, SZYMCZYK A, SABLON R J, et al. Bio-based aliphatic/aromatic poly (trimethylene furanoate/sebacate) random copolymers: correlation between mechanical, gas barrier performances and compostability and copolymer composition[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2022, 195: 109800. DOI:10.1016/j.polymdegradstab.2021.109800.
- [96] SAEDI S, KIM J, LEE E, et al. Fully transparent and flexible antibacterial packaging films based on regenerated cellulose extracted from ginger pulp[J]. *Industrial Crops and Products*, 2023, 197: 116554. DOI:10.1016/j.indcrop.2023.116554.
- [97] RAHMASARI Y, YEMİŞ G P. Characterization of ginger starch-based edible films incorporated with coconut shell liquid smoke by ultrasound treatment and application for ground beef[J]. *Meat Science*, 2022, 188: 108799. DOI:10.1016/j.meatsci.2022.108799.
- [98] SHAUKAT M N, PALMERI R, RESTUCCIA C, et al. Glycerol ginger extract addition to edible coating formulation for preventing oxidation and fungal spoilage of stored walnuts[J]. *Food Bioscience*, 2023, 52: 102420. DOI:10.1016/j.fbio.2023.102420.
- [99] ZHANG L, LIU A J, WANG W H, et al. Characterisation of microemulsion nanofilms based on tilapia fish skin gelatine and ZnO nanoparticles incorporated with ginger essential oil: meat packaging application[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2017, 52(7): 1670-1679. DOI:10.1111/ijfs.13441.