

蜂胶在食品保鲜中的保鲜机理及应用研究进展

孙建明^{1,2}, 朱锦蕊¹, 柳磊^{3*}, 王小芳^{1,2}, 李昭^{1,2}, 刘梦蕊¹, 张寒¹

(1. 河南科技大学包装工程系, 河南洛阳 471000) (2. 河南省智能与防护包装设计工程研究中心, 河南洛阳 471000)
(3. 河南省检验检测研究院集团有限公司, 河南郑州 450000)

摘要: 随着生活水平的提高, 人们对食品品质提出更高要求, 开始关注食品保鲜剂、食品保鲜包装的安全性。蜂胶是蜜蜂采集树脂类物质加工形成的一种天然胶状固体物质, 富含多种活性成分, 具有抑菌、抗氧化等功能, 被认为是一种理想的食品保鲜剂, 在食品保鲜领域具有广阔的应用前景。蜂胶具有苦味和芳香味, 作为食品添加剂使用时, 会受到浓度和剂量限制。近年来, 为提高食品中蜂胶的利用率, 将蜂胶与微胶囊、薄膜铸造等技术结合, 扩展了蜂胶在食品保鲜上的应用方式。本文简述了蜂胶的分类、化学成分及理化性质, 综述了蜂胶的抑菌机制、抗氧化机制及良好的成膜性, 总结了国内外蜂胶在食品保鲜领域中的应用进展, 以期为促进蜂胶在食品保鲜行业的实际应用提供理论和技术支持。

关键词: 蜂胶; 保鲜机理; 抑菌; 抗氧化

文章编号: 1673-9078(2026)2-384-391

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.2.1656

Research Advances on the Preservation Mechanisms and Applications of Propolis in Food Preservation

SUN Jianming^{1,2}, ZHU Jinrui¹, LIU Lei^{3*}, WANG Xiaofang^{1,2}, LI Zhao^{1,2}, LIU Mengrui¹, ZHANG Han¹

(1. Department of Packaging Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471000, China)
(2. Henan Engineering Research Center of Intelligent and Protective Packaging Design, Luoyang 471000, China)
(3. Henan Inspection and Testing Institute Group Co. Ltd., Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Improvements in living standards have led to increased consumer expectations regarding food quality. Consequently, the safety of food preservatives and preservation packaging has received growing attention. Propolis is a natural gelatinous solid produced by bees from plant resins. Owing to its rich content of various bioactive compounds and inherent antibacterial and antioxidant properties, propolis is considered an ideal food preservative with broad potential applications in food preservation. However, its bitter taste and strong aromatic flavor limit its use as a food additive, particularly regarding concentration and dosage. In recent years, strategies such as microencapsulation and film-casting technologies have been explored to enhance the utilization of propolis in food, thereby expanding its applications in food preservation. This study provides an overview of the classification, chemical composition, and physicochemical properties of propolis, examines its antibacterial and antioxidant mechanisms, as well as its notable film-forming properties, and summarizes recent advances in its application for food preservation in China and internationally. The findings of this study provide theoretical and technical support for the practical implementation of propolis in the food preservation industry.

Key words: propolis; preservation mechanism; antibacterial; antioxidant

引文格式:

孙建明, 朱锦蕊, 柳磊, 等. 蜂胶在食品保鲜中的保鲜机理及应用研究进展[J]. 现代食品科技, 2026, 42(2): 384-391.

SUN Jianming, ZHU Jinrui, LIU Lei, et al. Research advances on the preservation mechanisms and applications of propolis in food preservation [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(2): 384-391.

收稿日期: 2024-11-06; 修回日期: 2025-01-04; 接受日期: 2025-01-05

基金项目: 河南省哲学社会科学规划基金资助项目(2022BYS014); 河南科技大学研究生创新基金资助项目(CCCJ-2022-KJ08)基金资助

作者简介: 孙建明(1978-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品保鲜包装和智能包装, E-mail: sunjianming@haust.edu.cn

通讯作者: 柳磊(1982-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 食品及其包装检验检测工作, E-mail: sjm0270@163.com

近年来，食品安全已经成为消费者和食品行业最关注的问题，食品保鲜是食品安全领域的热点问题之一。新鲜果蔬、肉类和水产品等在收获、运输和储存期间，易受到微生物、酶、环境因素的影响，致使食物变质或产生有害物质，从而危害人体健康^[1]。为了延长食品保质期，人们通常会采用真空、冷冻、高温等物理方式^[2,3]或化学保鲜剂进行保鲜。其中物理保鲜法可能会影响食品感官特性及理化性质，化学保鲜剂则可能存在安全隐患，使用不当会对人体健康产生危害。因此，研发和使用环保、无毒的天然保鲜剂成为食品保鲜领域主要研究方向。目前，食品保鲜使用的天然保鲜剂主要来自植物（植物精油、中草药、香料等）、动物（蜂胶、壳聚糖等）和微生物（乳酸链球菌素、纳他霉素、曲酸等微生物次生代谢产物）^[4]。

蜂胶是工蜂从植物的新生幼芽、枝条、树皮等处采集的树脂类物质，并混入蜜蜂的舌腺及蜡腺分泌物，加入蜂蜡、花粉等混合加工而成的一种胶状混合物^[5,6]。其富含多种类黄酮、芳香酸、萜烯类、脂肪酸、氨基酸及维生素等化合物^[6]，具有广谱、高效的抑菌作用及抗氧化能力，且成膜性良好，在食品保鲜领域具有广阔的发展前景。我国是世界养蜂大国，幅员辽阔，蜜源植物种类丰富，蜂胶的种类较多，蜂胶产量居世界首位，在研究蜂胶在食品保鲜应用上，具有巨大优势^[7,8]。

本文结合国内外文献，从蜂胶种类、化学成分及理化性质出发，着重叙述了蜂胶的抑菌性、抗氧化性和成膜性，及其在食品保鲜中的应用研究进展，以期 为蜂胶在食品保鲜领域的实际应用提供理论支持。

1 蜂胶概述

1.1 蜂胶的分类

蜂胶的化学组成与胶源植物^[9]密切相关，受气候特征、地理位置、蜜蜂种类和采收季节^[10-12]等因素的影响，呈现多样性。以胶源植物为依据，将常见的蜂胶种类分为七类，见表 1。

1.2 蜂胶的化学成分

蜂胶是一种天然产物，其化学成分非常复杂，经研究人员分离、鉴定，发现蜂胶具有相对固定的化学组成，如图 1 所示^[27]，蜂胶含有 30% 的蜡、50% 的树脂（由类黄酮和酚酸组成）、10% 的精油、5% 的花粉和 5% 的其他有机物质^[28]。

表 1 主要的蜂胶类型、胶源植物及成分种类
Table 1 Main types of propolis, their source plants, and respective components

蜂胶类型	地理位置	植物来源	主要成分类型	参考文献
杨树型蜂胶	欧洲、北美、亚洲部分地区、中国、新西兰等	杨属	黄酮、黄烷酮类、肉桂酸及其衍生物	[13,14]
绿蜂胶	巴西	酒神菊	P- 香豆酸及其衍生物	[15,16]
桦树型蜂胶	俄罗斯	桦木属	黄酮、黄酮醇类	[17]
红蜂胶	巴西(东北部)、古巴、墨西哥	黄檀属	异黄酮类、新黄酮、紫檀素、木脂素	[18,19]
地中海蜂胶	希腊、意大利、克罗地亚	柏科	二萜烯类	[20,21]
太平洋型蜂胶	太平洋岛国、冲绳、中国台湾、印尼	血桐属	异戊二烯类黄烷酮	[22,23]
克鲁西亚型蜂胶	古巴、委内瑞拉	克鲁西亚属	聚异戊二烯化二苯甲酮	[24]
桉树型蜂胶	土耳其、突尼斯	桉树	芳香酸	[25,26]

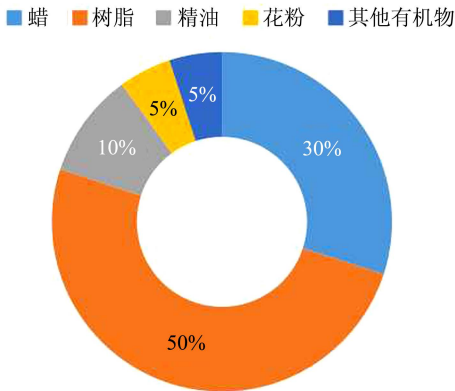


图 1 蜂胶的化学成分
Fig.1 Chemical compositions of propolis

经多年研究，科研人员已从蜂胶中鉴定出超过 800 种化合物^[29]，包括黄酮类、酚酸类、萜类、氨基酸及维生素等化合物。其中黄酮类和酚类化合物的种类和数量，与蜂胶抑菌、抗氧化的功能活性密切相关^[30]。图 2 为蜂胶中主要黄酮类和酚类化合物的化学分子式。

1.3 蜂胶的理化性质

由于蜂胶化学成分的多样性，其物理性质，如颜色、芳香气味、硬度等也各不相同^[31]。蜂胶是不透明的固体，颜色依据源植物种类不同，呈黄褐色、棕褐色、灰褐色、

少数近似黑色^[32]。其具有特殊的芳香味，燃烧时发出类似乳香的气味。在温度低于 20 ℃时会逐渐变硬、变脆^[33]；36 ℃时质软，具有黏性和可塑性；高于 60 ℃时，可融化为液体，并分离出蜂蜡^[34]。蜂胶不溶于水，微溶于松节油，部分溶于乙醇，极易溶于乙醚、丙酮和氯仿^[35]。

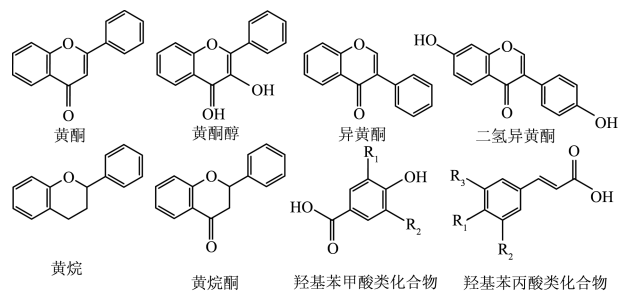


图 2 蜂胶中主要黄酮类、酚酸类化合物的化学结构

Fig.2 Chemical structure of flavonoids and phenolic acid compounds in propolis

2 蜂胶的保鲜机理

近年来，蜂胶作为天然食品保鲜剂应用于食品保鲜，其保鲜机理主要包括三个方面：一是蜂胶具有较强的抑菌性，可有效抑制微生物繁殖；二是蜂胶具有极强的抗氧化性，可防止食品氧化变质，延长保质期；三是蜂胶具有良好的成膜性，膜可以起到阻止微生物入侵，隔绝氧气和减少水分蒸发的作用^[6]。

2.1 蜂胶的抑菌性

蜂胶具有丰富的抑菌活性成分，如类黄酮、异黄酮类、酚酸类、萜类等化合物，具有广谱抑菌性^[35]。蜂胶的抑菌活性和化学成分密切相关，然而其化学成分会因不同地区、时期和植物来源有很大差异^[37]。因此，不同来源的蜂胶的抑菌效果也有所不同。例如，中东蜂胶对革兰氏阳性（金黄色葡萄球菌）和革兰氏阴性（大肠杆菌）细菌的活性最好。相比之下，德国、爱尔兰和韩国蜂胶表现出最小的活性^[38]。不同蜂胶中主要抑菌成分的抑菌作用如表 2 所示。

蜂胶的抑菌机理主要有两种：一是作用于细胞膜及细胞壁，增加细胞膜的通透性与流动性，进而导致微生物细胞膜结构破坏，内容物渗出，最终使细胞失活死亡；二是作用于细菌内酶及功能蛋白，抑制蛋白质、DNA 和 RNA 等生物大分子的合成，阻止细菌生长和分裂^[43-45]。如松属素和芹菜素可以抑制变形链球菌细胞膜的形成，从而抑制其繁殖^[42]。松属素可以通过抑制 α -溶血素表达从而抑制金黄色葡萄球菌的活性^[46]。除此之外，研究证明松属素、高良姜素和白杨素等活性成分之间还具有协同作用，组合抑菌效果强于单独作用^[44]。蜂胶的抑菌机理如图 3 所示^[27]。

表 2 不同蜂胶类型中主要抑菌成分、抑制菌落

Table 2 Main antibacterial components and bacterial colony inhibitors in different types of propolis

蜂胶类型	主要抑菌成分	抑制菌落	参考文献
巴西绿蜂胶	阿替匹林 C、槲皮素、没食子酸	口腔厌氧菌	[39]
巴西绿蜂胶	阿替匹林 C、酒神菊素、熊果酸	变形链球菌、隐球菌	[40]
韩国蜂胶	松属素、槲皮素	金黄色葡萄球菌、镰刀菌	[41]
智利蜂胶	松属素、芹菜素、槲皮素	变形链球菌	[42]
突尼斯蜂胶	松属素、短叶松素、P-香豆素酸	李斯特菌	[43]
南非蜂胶	松属素、高良姜素、白杨素	大肠杆菌	[44]

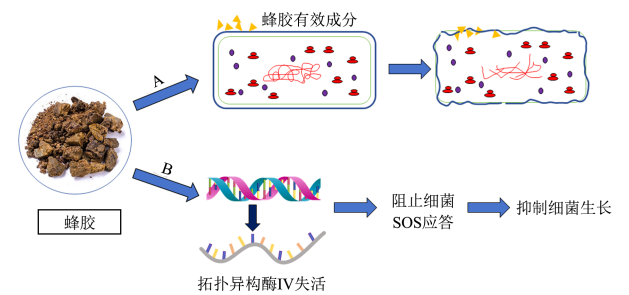


图 3 蜂胶的抑菌机理如果

Fig.3 Antibacterial mechanism of propolis

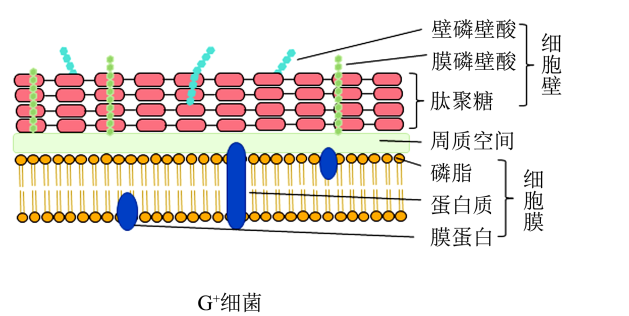
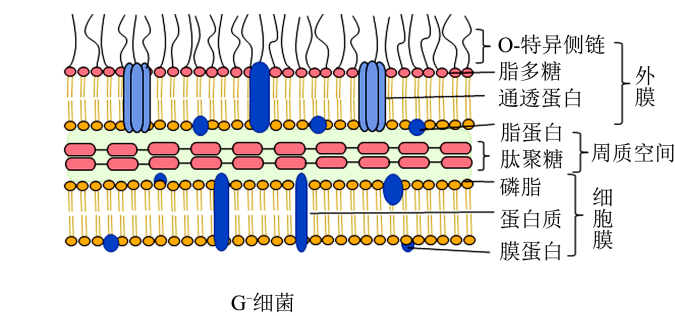


图 4 革兰氏阴性细菌与革兰氏阳性细菌的细胞壁结构

Fig.4 Cell wall structure of Gram negative bacteria and Gram positive bacteria

另外,许多研究表明,与革兰氏阳性菌相比,蜂胶对革兰氏阴性菌的抑菌效果要差一些^[47]。这可能与革兰氏阴性菌外膜的特殊结构和可分解蜂胶活性成分的水解酶的产生有关^[47,48]。图4为革兰氏阴性细菌与革兰氏阳性细菌的细胞壁结构图。根据Vadillo等^[49]的研究,革兰氏阴性菌的外膜中主要由脂多糖组成的两亲性和高电荷分子的存在,可能会抑制或延缓蜂胶抑菌成分的渗透。因此,需要更高浓度的蜂胶提取物才能破坏细胞膜并诱导细胞死亡。

2.2 蜂胶的抗氧化性

蜂胶提取物的主要成分是黄酮类和酚酸类化合物等。Zainal等^[50]研究发现蜂胶的抗氧化活性与酚酸类黄酮类含量有很强的相关性。刘学医等^[51]的研究表明蜂胶的抗氧化活性与总酚酸和总黄酮含量呈正相关,总酚酸和总黄酮含量高的蜂胶抗氧化能力更强。目前已建立的化学评价方法以抗氧化活性的表现可划分为三大类:以清除自由基为基础的方法、测定还原能力的方法、以脂质的氧化降解为基础的方法。然而目前使用最多的是以清除自由基为基础的方法,包括DPPH法和ABTS法,这些方法快捷、简便且反应稳定。其次是还原力能力的评价方法,包括铁离子还原能力(FRAP)、铜离子还原能力(CUPRAC)以及总酚含量等,这些方法测定的是抗氧化物的氧化还原潜力,且方法简单、快速、重复性高。蜂胶的抗氧化活性主要通过以下机制实现。

2.2.1 清除自由基

自由基具有强氧化性、活性高等特性,在食品中可以引发或加速氧化反应,从而破坏食品中的营养成分,加速食品变质等。蜂胶中的黄酮类和酚酸类化合物的结构中具有酚羟基基团,能够提供氢原子或电子给自由基,使其转化为稳定的产物,从而阻断自由基链式反应,以达到清除自由基的目的,其抗氧化机理主要有两种机制:

氢原子转移机制(Hydrogen Atom Transfer, HAT)是指多酚类化合物(一般是酚羟基)直接提供自由基一个氢原子,形成稳定的半醌式苯氧自由基,从而终止自由基的链式反应,如式1所示。



单电子转移(Single Electron Transfer, SET)机制是指多酚类化合物直接给出电子,将自由基转化为反应活性低的阴离子,如式2所示。



孙思源等^[52]以胆固醇、大豆卵磷脂为壁材,蜂胶为芯材,制备了蜂胶脂质体,其体积分数为50 $\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时,

对DPPH自由基、ABTS⁺自由基、羟自由基清除率分别达88.58%, 61.13%, 86.02%。谭曜等^[53]测定了蜂胶乙醇溶液(1 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)对于羟自由基的清除率为91.5%,比抗坏血酸(Vitamin C, Vc)具有更高地清除羟自由基的能力。

2.2.2 与金属离子螯合

生物体内存在大量游离的金属离子,是自由基反应和脂质氧化的催化剂,如铁(Fe^{2+})可通过芬顿(Fenton)反应将 H_2O_2 形成羟自由基,如式3所示。



蜂胶中的一些抗氧化成分能够与金属离子结合形成稳定的络合物,从而降低金属离子的催化活性并防止其参与自由基生成反应^[54]。这种机制对于减少由金属离子催化的氧化应激具有重要意义。Wozniak等^[55]研究发现,从波兰不同地区收集的蜂胶提取物均具有良好的DPPH自由基清除能力和较低的亚铁螯合能力(9.33%~32.32%)。Wozniak等^[56]评估了不同提取剂对蜂胶酚类物质、抗氧化活性的影响。结果表明,各提取物均具有较强的DPPH自由基清除能力、 Fe^{3+} 还原能力和 Fe^{2+} 螯合能力,所有提取物对 Fe^{2+} 的螯合能力分别为乙二胺四乙酸(Ethylene Diamine Tetraacetic Acid, EDTA)活性的43%和55%。

2.2.3 增强抗氧化酶活性

在食品加工和储藏过程中,氧化酶会催化食品中的氧化还原反应,导致食品发生品质裂变。蜂胶具有丰富的多酚类化合物,其能够有效抑制氧化酶活性。许多研究表明,蜂胶能够显著增强超氧化物歧化酶(Superoxide Dismutase, SOD)的活性,能够有效清除超氧阴离子自由基,提高抗氧化能力^[57]。然而目前关于蜂胶对具体氧化酶抑制作用的研究较为有限,未来需要更多的研究深入探讨这一领域。

2.3 蜂胶的易成膜性

蜂胶成膜性良好,涂布在食品表面可形成一层膜,还可加入壳聚糖、纤维素、淀粉、精油等,制备复合薄膜。膜的形成能够阻止细菌、病毒等微生物侵入污染食品;还可以阻碍食品与外界气体的交换,减少水分蒸发,降低呼吸强度,调节新陈代谢,有效抑制食品腐败变质,延长保鲜时间^[58]。

Bodini等^[59]的研究中,蜂胶浓度的增加降低了明胶膜基质的致密性,膜的拉伸强度(Tensile Strength, TS)和弹性模量(Elastic Modulus, EM)显著降低,断裂伸长率(Elongation at Break, EB)增高。Pastor等^[60]的研究结果不同,蜂胶的加入并没有导致TS和EM的显著降低,这可能是因为蜂胶中的化合物和羟

丙基甲基纤维素 (Hympromellose, HPMC) 中的亲水基团发生了反应, 并形成了一些结晶区, 导致断裂伸长率下降。Gniewosz 等^[61]将蜂胶加入普鲁兰多糖膜, 随着蜂胶浓度的增加, 薄膜的 TS 和 EB 均降低。可以发现, 蜂胶对复合膜的机械性能有显著影响, 但成膜基质不同, 影响效果不同。蜂胶还会影响膜的透明度、白度指数、水蒸气透过率 (Water Vapor Permeability, WVP)。透明度和白度指数下降, 可能与蜂胶加入后, 膜表面变得更加粗糙, 且蜂胶中存在有色物质有关。蜂胶具有疏水性, 且含有许多脂溶性和醇溶性物质, 因此能够降低膜的水溶性和水蒸气透过率。

3 蜂胶在食品保鲜中的应用

蜂胶在食品保鲜方面的应用主要有两种方式: 一是将蜂胶提取物作为一种天然食品保鲜剂, 直接加入乳制品、牛奶等产品中, 相较于化学添加剂, 存在物质残留会危害人体健康的问题, 以蜂胶提取物为食品添加剂, 不仅对人体无害, 还具有抑菌^[62]、抗氧化^[63,64]等作用。二是将蜂胶提取物和壳聚糖、淀粉、纤维素等制备复合涂层或薄膜, 包裹在食品表面, 结合冷藏、冷冻等物理方法, 应用于果蔬、肉类等食品的防腐保鲜中。

3.1 蜂胶在果蔬保鲜中的应用

果蔬在采摘、运输和储存过程中易受机械损伤、水果病害、冷损伤等外界因素和自身品质劣化而导致大量浪费。Xiao 等^[65]使用含有蜂胶的涂膜剂对草莓进行涂膜。结果表明, 3.0% 的蜂胶保鲜处理可显著抑制呼吸作用, 延缓草莓采后的衰老过程, 延长草莓的新鲜度。Yang 等^[66]研究了不同浓度蜂胶提取物对甜樱桃采后保鲜的影响。结果表明, 2.0% 的蜂胶提取物保鲜效果最佳, 能有效降低甜樱桃的呼吸速率、失重速率, 延缓营养物质的流失, 保持外观品质。Kahramanoglu 等^[67]采用气调包装结合蜂胶提取物处理, 可将黄瓜采后贮藏期延长至 20 天, 并显著降低腐烂发生率和减轻失重。目前蜂胶在果蔬保鲜中的应用, 多采用涂膜保鲜、制备复合膜等技术, 蜂胶的气味可能会影响果蔬的风味, 因而与微胶囊等包埋技术结合, 成为新的研究热点。

3.2 蜂胶在肉及肉制品保鲜中的应用

肉类与肉制品是优质蛋白质的重要来源, 同时富含人体必需矿物元素。肉及肉制品在加工、运输和售卖过程中, 易受到微生物污染和氧化导致腐败变质, 蜂胶具有良好的抑菌性和抗氧化性, 在提高肉食产品保鲜上得以广泛应用。Roy 等^[68]将蜂胶加入普鲁兰 /

壳聚糖复合膜, 薄膜对 DPPH 和 ABTS 的抗氧化活性分别提高到 30% 和 70%, 用其包裹猪肉, 猪肉的脂质氧化降低了约 55%, 可延长猪肉保质期。Mehdizadeh 等^[69]使用富含蜂胶的壳聚糖溶液对鸡胸肉涂膜处理。结果表明, 1% 的蜂胶对鸡胸肉的微生物活性和氧化活性抑制效果最好, 可延长保质期约 16 d。

3.3 蜂胶在水产品保鲜中的应用

水产品因富含蛋白质和多不饱和脂肪酸, 在贮运、加工与销售过程中, 易受微生物和内源酶影响, 发生脂肪氧化、腐败变质等, 导致品质裂变, 失去食用价值^[70]。

Coban 等^[71]将蜂胶提取液加入壳聚糖溶液中, 对小龙虾肉进行保鲜处理。结果表明, 蜂胶可以延缓小龙虾肉脂质氧化, 显著降低 TVB-N 含量, 抑制微生物生长, 延长保质期 7 d。Cruz 等^[72]将巴西绿蜂胶加入到海藻酸钠涂膜中, 并对巨脂鱼鱼片进行保鲜。结果表明: 蜂胶抑制了鱼片微生物的增长, 提高了理化参数, 如脂质氧化, 水分含量和 pH 值, 可延长鱼片保质期长达 11 d。Shabani 等^[73]用乙醇提取蜂胶, 和碎虹鳟鱼混合制成冷冻汉堡。研究发现, 相比于对照组, 含有 0.4% 蜂胶的样品的蒸煮出率显著提高, 脂肪保水率显著高于样品, 保质期甚至可延长至 90 d。Tolibaa 等^[74]评估了添加不同含量的蜂胶提取物对罗非鱼保质期及其质量 (在 4 ± 2 °C 储存 20 d) 的影响。结果表明, 蜂胶提取物对鱼的感官特性没有负面影响, 1.5% 的样品颜色变化最小; 样品的丙二醛产量减少、细菌发育总数减少、DPPH 抑制作用增强。

3.4 蜂胶在乳制品保鲜中的应用

乳制品多以牛乳、羊乳为主要原料, 其中蕴含丰富的蛋白质、脂质、糖分等营养物质, 因此生产和运输期间, 易滋生微生物、发生氧化变质, 使得产品营养成分、感官特性受损, 保存期缩短。Ibrahim 等^[75]研究了蜂胶及其提取物对奶油奶酪的抗真菌活性、pH 值、颜色和感官分析的影响。结果表明, 蜂胶提取物具有显著抗氧化和抑菌作用, 且感官良好。Correa 等^[76]研究了绿蜂胶乙醇提取物 (EEP) 对一种奶酪表面存在的中温需氧微生物的抑制能力, 结果表示 5% 的 EEP 可以抑制微生物的生长, 且不会影响产品的感官特性。Michailidis 等^[77]将蜂胶乙醇提取物添加到巴氏杀菌的脱脂巧克力牛奶中, 研究其对李斯特菌的抑制作用。研究结果表明, 蜂胶提取物和甘油具有协同抑菌作用, 有显著的抗李斯特菌作用, 且产品被消费者高度接受。以上研究证明了蜂胶作为天然防腐剂在乳制品中的潜力。

4 结语

近年来人们不仅对食品安全问题的关注居高不下,对食品的品质要求也越来越高,食品保鲜剂的安全性同样受到广泛关注。蜂胶作为天然物质,富含许多对人体有益的成分,且具有广谱的抑菌性、抗氧化性、成膜性好等优点,是一种理想的食品保鲜剂。但是要将蜂胶广泛应用于食品工业,还需克服一些挑战。一方面,蜂胶的特殊气味,会限制其在食品保鲜领域的应用,可研发微胶囊等包埋技术,降低蜂胶气味,减少蜂胶对食品感官品质的影响。另一方面,现在针对蜂胶复合材料的研究仍以实验室为主,后续应根据不同食品保鲜需求,研发专用的蜂胶保鲜剂配方,建立一定的标准及法规,以适应工业化大规模生产。

参考文献

- [1] 李佳敏,孙飞龙,史宇,等.植物精油微胶囊在食品保鲜中的应用研究进展[J].现代食品科技,2024,40(1): 332-339.
- [2] 刘永吉,冯小燕,钟瑞敏.真空预冷结合气调包装对冷鲜鸡肉冷藏品质的影响[J].湖北农业科学,2018,57(21):105-108,133.
- [3] ADIAMO O Q, GHAFORK, JUHAIMI F A, et al. Thermosonication process for optimal functional properties in carrot juice containing orange peel and pulp extracts [J]. Food Chemistry, 2018, 245:79-88.
- [4] 老莹,胡文忠,冯可,等.天然抑菌剂的抑菌机理及其在果蔬保鲜中的应用[J].食品与发酵工业,2018,44(9):288-293.
- [5] ZHENG Y J, DENG G, LIANG Q, et al. Antioxidant activity of quercetin and its glucosides from propolis: A theoretical study [J]. Scientific Reports, 2017, 7(1-4): 7543.
- [6] 卢兆芸.蜂胶保鲜机理及其在食品保鲜中的应用[J].食品工业科技,2008,9:305-308.
- [7] 高蓬勃,徐响,高丽苗,等.蜂胶化学成分与地理源、植物源的研究进展[J].食品安全质量检测学报,2015,6(8):3172-3176.
- [8] 周萍,吕泽田,胡福良.蜂胶国际标准(ISO 24381:2023)解读[J].中国蜂业,2024,75(5):34-37.
- [9] NADA A A, NOUR I H, METWALLY A M, et al. An integrated strategy for chemical, biological and palynological standardization of bee propolis [J]. Microchemical Journal, 2022, 182: 107923-107923.
- [10] PANT K, THAKUR M, CHOPRA H K, et al. Characterization and discrimination of Indian propolis based on physico-chemical, technofunctional, thermal and textural properties: A multivariate approach [J]. Journal of King Saud University-Science, 2021, 33(4): 101405.
- [11] POPOVA M, TRUSHEVA B, CHIMSHIROVA R, et al. Chemical profile and antioxidant capacity of propolis from *Tetragonula*, *Lepidotrigona*, *Lisotrigona* and *Homotrigona* stingless bee species in Vietnam [J]. Molecules, 2022, 27(22): 7834.
- [12] SANTINI A T, SILVA C L, GALERA F A, et al. Extraction method optimization and the seasonal effect in the biological activities and phenolic compounds of Brazilian green propolis [J]. Holos, 2021, 7(0): 1-17.
- [13] QIAO J T, WANG Y Y, YU Z Q, et al. Botanical origins and antioxidant activities of two types of flavonoid-rich poplar-type propolis [J]. Foods, 2023, 12(12): 2304.
- [14] DEZMIREAN D S, PASCA C, MOISE A, et al. Plant sources responsible for the chemical composition and main bioactive properties of poplar-type propolis [J]. Plants, 2020, 10(1): 22.
- [15] ARUNG E T, SYAFRIZAL S, KUSUMA I W, et al. Antioxidant, anti-inflammatory and anti-acne activities of stingless bee (*Tetragonula bironi*) propolis [J]. Fitoterapia, 2023, 164(0): 105375.
- [16] MULYATI A H, SULAEMAN A, MARLIYATI S A, et al. Phytochemical analysis and antioxidant activities of ethanol extract of stingless bee propolis from Indonesia [C]// The 8th International Conference of the Indonesian Chemical Society (ICICS). Bogor, 2019: 6-7.
- [17] OKINCZYK P, WIDELSKI J, SZPERLIK J, et al. Impact of plant origin on *Eurasian propolis* on phenolic profile and classical antioxidant activity [J]. Biomolecules, 2021, 11(1): 68.
- [18] RIVERO-CRUZ J F, GRANADOS-PINEDA J, PEDRAZA-CHAVERRÍ J, et al. Phytochemical constituents, antioxidant, cytotoxic, and antimicrobial activities of the ethanolic extract of Mexican brown propolis [J]. Antioxidants, 2020, 9(1): 70.
- [19] BOEING T, MEJIA J A A, CCANA-CCAPATINTA G V, et al. The gastroprotective effect of red propolis extract from northeastern Brazil and the role of its isolated compounds [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2021, 267: 113623.
- [20] SVEČNJAK L, MARIJANOVIĆ Z, OKIŃCZYK P, et al. Mediterranean propolis from the Adriatic Sea Islands as a source of natural antioxidants: comprehensive chemical biodiversity determined by GC-MS, FTIR-ATR, UHPLC-DAD-QTOF-MS, DPPH and FRAP assay [J]. Antioxidants, 2020, 9(4): 337.
- [21] EL-GUENDOUS S, LYOUSSE B, MIGUEL M G. Insight on propolis from Mediterranean countries: chemical composition, biological activities and application fields [J]. Chemistry & Biodiversity, 2019, 16(7): 35.
- [22] UDDIN S, BROOKS P, TRAN T D. Chemical characterization, α -glucosidase, α -amylase and lipase inhibitory properties of the Australian honey bee propolis [J]. Foods, 2022, 11(13): 1964.
- [23] SHAHINOZZAMAN M, OBANDA D N, TAWATA S. Chemical composition and pharmacological properties of *Macaranga*-type pacific propolis: A review [J]. Phytotherapy Research, 2020, 35(1): 207-222.
- [24] HERNÁNDEZ I M, FERNÁNDEZ M C, CUESTA-RUBIO O, et al. Polyphenylated benzophenone derivatives from Cuban propolis [J]. Journal of Natural Products, 2005, 68(6): 931-934.
- [25] SARIKAHYA N B, VAROL E, OKKALI G S, et al. Comparative study of antiviral, cytotoxic, antioxidant activities, total phenolic profile and chemical content of propolis samples in different colors from Türkiye [J]. Antioxidants, 2022, 11(10): 2075.
- [26] SARIKAHYA N B, GÖREN A, OKKALI G S, et al. Chemical composition and biological activities of propolis samples from different geographical regions of Turkey [J]. Phytochemistry Letters, 2021, 44(0): 129-136.
- [27] MOHAMMED S A. Propolis: a novel antibacterial agent [J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2020, 27(11): 3079-3086.

- [28] CHELU M, MORENO J C, ATKINSON I, et al. Green synthesis of bioinspired chitosan-ZnO-based polysaccharide gums hydrogels with propolis extract as novel functional natural biomaterials [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 211(0): 410-424.
- [29] KASOTE D M, BANKOVA V, VILJOEN A. Propolis: chemical diversity and challenges in quality control [J]. Phytochemistry Reviews, 2022, 21(6): 1887-1911.
- [30] BELMEHDI O, MENYIY N E, BOUYAHYA A, et al. Recent advances in the chemical composition and biological activities of propolis [J]. Food Reviews International, 2023, 39(9): 6078-6128.
- [31] ANJUM S I, ULLAH A, KHAN K A, et al. Composition and functional properties of propolis (bee glue): A review [J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2019, 26(7): 1695-1703.
- [32] STURM L, ULRIH N P. Advances in the propolis chemical composition between 2013 and 2018: A review [J]. eFood, 2019, 1(1): 24.
- [33] SFORCIN J M. Biological properties and therapeutic applications of propolis [J]. Phytotherapy Research, 2016, 30(6): 894-905.
- [34] BALICA G, VOSTINARU O, STEFANESCU C, et al. Potential role of propolis in the prevention and treatment of metabolic diseases [J]. Plants, 2021, 10(5): 883.
- [35] 魏为民,李同华,李雪峰,等.蜂胶的功能[J].农业与技术,2010,30(1):92-94.
- [36] SALOMAO K, DANTAS A P, BORBA C M, et al. Chemical composition and microbicidal activity of extracts from Brazilian and Bulgarian propolis [J]. Letters in Applied Microbiology, 2004, 38(2): 87-92.
- [37] JORGE R C G S, FURTADO N A J C, SOUSA J P B D, et al. Brazilian propolis: Seasonal variation of the prenylated p-coumaric acids and antimicrobial activity [J]. Pharmaceutical Biology, 2008, 46(12): 889-893.
- [38] TAUFIK F F, NATZIR R, ILHAMJAYA P, et al. *In vivo* and *in vitro* inhibition effect of propolis on *Klebsiella pneumoniae*: A review [J]. Annals of Medicine and Surgery, 2022, 81: 104388.
- [39] ASSIS M A D S, RAMOS L D P, HASNA A B, et al. Antimicrobial and antibiofilm effect of brazilian green propolis aqueous extract against dental anaerobic bacteria [J]. Molecules, 2022, 27(23): 8128.
- [40] YOSHIMASU Y, IKEDA T, SAKAI N, et al. Rapid bactericidal action of propolis against *porphyromonas gingivalis* [J]. Journal of Dental Research, 2018, 97(8): 928-936.
- [41] ALARJANI K M, YEHIA H M, BADR A N, et al. Anti-mrsa and biological activities of propolis concentrations loaded to chitosan nanoemulsion for pharmaceuticals applications [J]. Pharmaceutics, 2023, 15(10): 2386.
- [42] VELOZ J J, ALVEAR M A, SALAZAR L A. Antimicrobial and antibiofilm activity against *streptococcus mutans* of individual and mixtures of the main polyphenolic compounds found in chilean propolis [J]. BioMed Research International, 2019, 2: 7602343.
- [43] NEFZI N, PAGLIARI S, CAMPONE L, et al. Chemical composition and comprehensive antimicrobial activity of an ethanolic extract of propolis from Tunisia [J]. Antibiotics, 2023, 12(5): 802.
- [44] KHARSANY K, VILJOEN A, LEONARD C, et al. The new buzz: Investigating the antimicrobial interactions between bioactive compounds found in South African propolis [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2019, 238(0): 111867.
- [45] SFORCIN J M, BANKOVA V. Propolis: Is there a potential for the development of new drugs? [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2011, 133(2): 253-260.
- [46] SOROMOU L W, ZHANG Y, CUI Y, et al. Subinhibitory concentrations of pinocembrin exert anti-*Staphylococcus aureus* activity by reducing α -toxin expression [J]. Journal of Applied Microbiology, 2013, 115(1): 41-49.
- [47] 王芳,张硕,杜琳,等.西藏蜂胶抑菌活性及对金钗石斛病镰刀菌抑菌机理探究[J].安徽农业大学学报,2023,50(5):847-854.
- [48] PRZYBYŁEK I, KARPIŃSKI T M. Antibacterial properties of propolis [J]. Molecules, 2019, 24(11): 2047.
- [49] VADILLO-RODRÍGUEZ V, CAVAGNOLA M A, PÉREZ-GIRALDO C, et al. A physicochemical study of the interaction of ethanolic extracts of propolis with bacterial cells [J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2021, 200(0): 111571.
- [50] ZAINAL W N H W, AZIAN N A A M, ALBAR S S, et al. Effects of extraction method, solvent and time on the bioactive compounds and antioxidant activity of *Tetrigona apicalis* Malaysian propolis [J]. Journal of Apicultural Research, 2022, 61(2): 264-270.
- [51] 刘学医,王晓卉,刘丽敏.不同产地蜂胶抗氧化活性评价与抗氧化活性成分研究[J].河南农业,2020,20:13-15.
- [52] 孙思源,孔令杰,朱和权,等.蜂胶脂质体制备工艺优化及抗氧化活性分析[J].食品与机械,2024,40(6):192-198,232.
- [53] 谭曜,方爱琴,谢建敏,等.蜂胶乙醇溶液体外清除羟基自由基能力的测定[J].广东化工,2021,48(12):189-190,182.
- [54] 付琳.物源性抗氧化剂在食品保存中的角色与机制分析[J].现代食品,2023,29(22):86-88.
- [55] WOŹNIAK M, MRÓWCZYŃSKA L, KWAŚNIEWSKA-SIP P, et al. Biological activity and chemical composition of propolis from various regions of Poland [J]. Molecules, 2022, 28 (1): 141.
- [56] WOŹNIAK M, MRÓWCZYŃSKA L, KWAŚNIEWSKA-SIP P, et al. Effect of the solvent on propolis phenolic profile and its antifungal, antioxidant, and *in vitro* cytoprotective activity in human erythrocytes under oxidative stress [J]. Molecules, 2020, 25(18): 4266.
- [57] 鲍佳益,于心雨,祝梅斐,等.蜂胶酚类化合物缓解高脂饮食诱导非酒精性脂肪肝的作用效果及机制研究进展[J].食品科学,2024,45(19):332-341.
- [58] 闵嗣璠,肖锡湘.蜂胶及其在食品保鲜中的应用[J].安徽农业科学,2006,8:1667-1668,1687.
- [59] BODINI R, SOBRAL P, FAVARO T C, et al. Properties of gelatin-based films with added ethanol-propolis extract [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 51(1): 104-110.
- [60] PASTOR C, SÁNCHEZ G L, CHÁF M, et al. Physical and antifungal properties of hydroxypropylmethylcellulose based films containing propolis as affected by moisture content [J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 82(4): 1174-1183.
- [61] GNIEWOSZ M, POBIEGA K, KRAŚNIEWSKA K, et al. Characterization and antifungal activity of pullulan edible films enriched with propolis extract for active packaging [J]. Foods, 2022, 11(15): 2319.

- [62] IBRAHIM M E E, ALQURA R M. Anti-fungal and antioxidant properties of propolis (Bee glue) extracts [J]. International Journal of Food Microbiology, 2021, 361: 109463.
- [63] ASEM N, GAPAR N D A, HABIT N H A, et al. Correlation between total phenolic and flavonoid contents with antioxidant activity of Malaysian stingless bee propolis extract [J]. Journal of Apicultural Research, 2020, 59(4): 437-442.
- [64] FIKRI A M, SULAEMAN A, MARLIYATI S A, et al. Antioxidant activity and total phenolic content of stingless bee propolis from Indonesia [J]. Journal of Apicultural Science, 2019, 63(1): 139-147.
- [65] XIAO Y H, TANG H R, GE C, et al. The effects of ethanol-dissolved propolis on preservation of strawberries [C]// Asia-Pacific Association of Science, Engineering and Technology (APASET). Proceedings of 2019 International Conference on Biotechnology and Bioengineering (9th ICBB). College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, 2020: 57-61.
- [66] YANG Y T, GONG Y, GAO Y F, et al. Study on the preservation effect of propolis on sweet cherry [C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental Prevention and Pollution Control Technologies (EPPCT2020). College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, 2020: 407-410.
- [67] KAHRAMANOĞLU I, USANMAZ S. Improving postharvest storage quality of cucumber fruit by modified atmosphere packaging and biomaterials [J]. HortScience, 2019, 54(11): 2005-2014.
- [68] ROY S, PRIYADARSHI R, RHIM J. Development of multifunctional pullulan/chitosan-based composite films reinforced with ZnO nanoparticles and propolis for meat packaging applications [J]. Foods, 2021, 10(11): 2789.
- [69] MEHDIZADEH T, LANGROODI M A. Chitosan coatings incorporated with propolis extract and *Zataria multiflora* boiss oil for active packaging of chicken breast meat [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 141: 401-409.
- [70] 蓝蔚青,刘淑婷,谢晶.水产品保鲜方式的应用研究进展[J].肉类研究,2024,38(7):55-62.
- [71] COBAN M Z. Effectiveness of chitosan/propolis extract emulsion coating on refrigerated storage quality of crayfish meat (*Astacus leptodactylus*) [J]. Cyta-Journal of Food, 2021, 19(1): 212-219.
- [72] CRUZ A L, COSTA M D C, MAFRA J F, et al. A sodium alginate bilayer coating incorporated with green propolis extract as a powerful tool to extend *Colossoma macropomum* fillet shelf-life [J]. Food Chemistry, 2021, 355: 129610.
- [73] SHABANI M S, MOKHTARIAN M, KALBASI-ASHTARI A, et al. Effects of extracted propolis (*Apis mellifera*) on physicochemical and microbial properties of rainbow-trout fish burger patties [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(12): e16027.
- [74] TOLIBAA A O, OSMANB A, EL-SAYEDC H. Physico-chemical properties of propolis and its application as a food preservative in fish kofta [J]. Pakistan Journal of Biotechnology, 2019, 16(4): 195-203.
- [75] IBRAHIM M E E, ALQURASHI R M. Anti-fungal and antioxidant properties of propolis (bee glue) extracts [J]. International Journal of Food Microbiology, 2022, 361: 109463.
- [76] CORREA F T, SOUZA A C D, JUNIOR E A D S, et al. Effect of Brazilian green propolis on microorganism contaminants of surface of Gorgonzola-type cheese [J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 56(4): 1978-1987.
- [77] MICHAELIDIS G, THAMNOPOULOS I A I, FLETOURIS D, et al. Synergistic, bacteriostatic effect of propolis and glycerol against *Listeria monocytogenes* in chocolate milk under refrigerated storage [J]. Food Science and Technology International, 2020, 27(1): 46-55.