

2021~2023年国内外蜂蜡研究进展

支丹丹¹ 管志斌^{2,3} 龚雪阳¹ 史翔宇¹ 汪建明¹ 罗鑫铭⁴ 赵文正¹ 董坤¹ 田亚凯¹

(1 云南农业大学动物科学技术学院, 云南农业大学东方蜜蜂研究所, 云南省蜜蜂资源可持续利用工程研究中心, 昆明 650201; 2 中国医学科学院药用植物研究所云南分所, 景洪 666100; 3 西双版纳金棕生物科技有限公司, 景洪 666100; 4 湖北省宜昌市宜都市王家畈镇农业农村服务中心, 宜昌 443315)

摘要: 蜂蜡是蜜蜂蜂群内适龄工蜂腹部的4对蜡腺分泌的一种脂肪性物质, 具有可塑性强、润滑性好和防潮等优点, 因此蜂蜡被广泛应用在食品、化妆品和医疗保健等多个产业领域中。本文对2021~2023年国内外蜂蜡相关研究进行综述, 旨在为其后续开发应用提供参考和思路。综合来看, 蜂蜡在成分鉴定、质量控制、医疗、包装、油凝胶上多有应用, 但农药残留、医疗应用、包装以及凝胶油仍是蜂蜡的研究热点。

关键词: 蜂蜡; 化学成分; 质量控制; 蜂蜡利用

Research Status of Beeswax in 2021~2023

Zhi Dandan¹ Guan Zhibin^{2,3} Gong Xueyang¹ Shi Xiangyu¹ Wang Jianming¹ Luo Xinming⁴ Zhao Wenzheng¹
Dong Kun¹ Tian Yakai¹

(1 College of Animal Science and Technology, Eastern Bee Research Institute, Yunnan Agricultural University, Yunnan Provincial Engineering and Research Center for Sustainable Utilization of Honeybee Resources, Kunming 650201, China; 2 Yunnan Branch Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences, Jinghong 666100, China; 3 Xishuangbanna Golden Palm Biotechnology Co., Ltd, Jinghong 666100, China; 4 Agricultural and Rural Service Center in Wangjiafan Town, Yidu City, Yichang City, Hubei Province, Yichang 443315, China)

Abstract: Beeswax is a fatty substance secreted by the four pairs of wax glands in the abdomen of the age-appropriate worker bees. It has the advantages of strong plasticity, good lubricity and moisture resistance. In summary, beeswax has demonstrated versatile applications in component identification, quality control, and implementations across medical, packaging, and oleogel domains. However, pesticide residues along with its medical applications, packaging implementations, and oleogel systems remain key research priorities in contemporary beeswax studies.

Key words: beeswax; chemical component; quality control; beeswax utilization

蜂蜡由酯类、游离脂肪酸和游离脂肪醇等组成, 具有可塑性强、润滑性好和防潮等优点, 为其在化妆品制造、蜡烛加工、医疗保健等领域中的广泛应用提供了可能。本文主要对2021~2023年有关蜂蜡研究的文献进行综述, 以期为加强蜂蜡在各个领域的进一步开发和应用提供理论参考。综合来看, 蜂蜡在生产加工、化妆品、医疗等多方面有应用, 但农药残留、医疗应用、包装以及凝胶油仍是蜂蜡的研究热点。

1 论文收集情况

根据PubMed、Google Scholar和中国知网等数据库

的搜索结果, 2021~2023年度共发表蜂蜡相关的研究论文103篇, 其中英文文献48篇, 中文文献55篇, 主要集中在蜂蜡生产、质量控制、包装、化妆品、医疗等方面。

2 蜂蜡研究进展

2.1 蜂蜡化学成分研究进展

现代蜂蜡成分鉴定主要依托色谱与光谱联用技术。紫外-高效液相色谱法(HPLC-UV)可实现酚类特征成分精准检测, Erkan等^[1]据此发现欧洲地熊蜂封盖蜡中含有对香豆酸、木犀草素、槲皮素等成

基金项目: 国家现代蜂产业技术体系项目(CARS-44-KXJ13); 国家重点研发计划(2022YFD1601907); 云南省科技人才与平台计划(202205AF150072)

通讯作者: 田亚凯, E-mail: tykzhong@foxmail.com; 董坤, E-mail: dongkun19722004@aliyun.com

分。激光共聚焦显微拉曼光谱法和气相色谱-质谱法(GC-MS)在蜂蜡区分中表现出较好的特异性,可区分蜂蜡和西蜂蜡^[2]、白蜂蜡和黄蜂蜡^[3]、黄蜂蜡和小烛树蜡^[4],以及石蜡、聚乙烯蜡和白蜂蜡^[5]。通过探究蜂蜡的化学性质,可为真假蜂蜡鉴定、蜂蜡工业利用和药用研究提供基础数据。

2.2 蜂蜡质量控制研究进展

蜂蜡质量控制不仅与原蜡作为交易商品进入市场密切相关,也是后续蜂蜡开发利用的前提,蜂蜡质量控制研究主要集中在蜂蜡生产和蜂蜡的提取方法上。

蜂蜡生产是其发挥作用的基础。Olszewski等^[6]发现西方蜜蜂在花粉框中收集蜡,且与采粉过程形成花粉粒不一样,采蜡过程中不会形成蜡粒。Cebotarl^[7]发现富含生物活性物质的营养补充剂可使蜂群产蜡量提高36.7%~39.3%。王士宁等^[8]发现饲喂蜂蜜有利于蜂群群势发展,提高蜂群泌蜡能力。优化蜂蜡的提取方法可提高其经济效益,助力蜂农创收。张河勇^[9]提出5个时期使用水煮法化蜡的注意事项。郑国庆等^[10]提出一种蜂蜡蒸锅水煮简易提炼法。姚丹等^[11]测试一款新型日光化蜡器,发现其使用效果较好。Maksimov^[12]使用一个多装置化蜡器使蜂蜡产量提高37.5%。以上装置为提高蜂蜡产量以及大规模生产蜂蜡提供了良好的解决方案。

2.3 蜂蜡中有害物残留及其鉴定的研究进展

农药、微塑料等物质残留不仅对蜂群正常的繁衍生息造成严重影响,同时也对蜂蜡等产品安全提出挑战,也是研究的一个热点。

Alkassab等^[13]证实了不同污染物可从蜂蜡迁移到蜂蜜、蜂粮和巢脾等材料上。Alma等^[14]研究发现工蜂可以从环境中携带微塑料纤维到蜂群内。Wu等^[15]对蜂蜡和其他蜂产品中残留的杀虫剂吡丙醚及其代谢物进行鉴定分析。雷美康等^[16, 17]对蜂蜡中氯霉素等药物残留进行测定。李俊玲等^[18]测定了蜂蜡中双甲脒代谢物等6种常用农药及其代谢物残留量。Wilmart等^[19]在蜂蜡中检出22种农药和兽药。Alma等^[14]在蜂蜡中鉴定出24种微塑料纤维。Suzhen Qi等^[20]在蜂蜡中检测出剧毒有机物多氯代萘(PCNs)。Albero等^[21]在不同时期评估蜂蜡及其他蜂产品中杀螨剂的残留。除此之外,Gerdt等^[22]在蜂蜡上未发现高水平白垩病感染。为了

实现可持续养蜂,应该定期监测蜂箱的农药、微塑料等有害物水平,这将有助于提高蜂产品产量,同时保护生态系统多样性。

2.4 蜂蜡在医疗方面研究进展

蜂蜡在医疗方面的研究主要是作为添加材料或与其他药物联合治疗疾病,主要与治疗皮肤病、胶囊制作和人造牙蜡制作等相关。

在治疗皮肤病方面,Prasad等^[23]发现蜂蜡制成的马拉哈拉软膏可治疗部分皮肤病。Liaquat等^[24]发现蜂蜡与其他药物联合可治疗HPV引起的疣。Abdollahi等^[25]使用蜂蜡可制作治疗大疱性表皮松解病的软膏。刘文静^[26]发现由蜂蜡制成的烧伤八号膏,可为临床治疗供皮区创面提供有效的造疗方法。丁慧霞等^[27]以明代膏方为研究对象,发现蜂蜡用于膏方制备有利于防止膏方腐败变质。

在胶囊制作方面,Brahmi等^[28]研究发现蜂蜡胶囊可用于开发结肠特异性给药系统。黎宇盛等^[29]使用蜂蜡优化植物甾醇酯红曲软胶囊的最佳制备工艺。陈惠欣等^[30]以蜂蜡为助悬剂制备工艺稳定、质量可控的石榴籽油大豆异黄酮软胶囊。廖秋红等^[31]发现添加白蜂蜡会导致软胶囊中的维生素D3含量降解,在设计软胶囊配方时应加以注意。

在治疗其他疾病方面,Shazmeen等^[32]发现蜂蜡可作为治疗口腔溃疡方剂的辅料。Biswas等^[33]发现其可治疗小儿痔疮。Abidhussain^[34]制造出一种人造牙蜡。Esien-umo等^[35]制成人类结直肠癌组织替代材料。蒲珊珊等^[36]发现由白蜂蜡等材料组成的骨蜡,在颅底修复术留置后应注意去除。田文妮等^[37]发现油相中添加蜂蜡提升了纳米结构脂质载体表观黏度和物理稳定性,为其在亲脂活性成分口服递送的应用提供指导。

2.5 蜂蜡在化妆品方面研究进展

在化妆品方面的研究进展主要在唇膏或口红的制作。可使-用蜂蜡制备药用功能性口红^[38]、玫瑰茄乳剂型唇釉^[39]、富含藏药天然活性成分唇膏^[40]、凤仙花唇膏^[41]、野木瓜籽油润唇膏^[42]、功效型唇膏^[43]、综合性能较好的天然赋色唇膏^[44]。除此之外,在针对UVA辐射的固体脂质纳米粒类黄酮芦丁^[45]和皂类、药油等草药产品^[46]中也添加了一定比例的蜂蜡。

2.6 蜂蜡在包装或涂层方面研究进展

近年来,蜂蜡因其较好的可塑性、抗菌性能在包装或涂层方面具有明显优势,引起人们的极大兴趣,可按照功能分为果实、农药的包装或涂层,可食用或可降解的、具有疏水或抗水性的包装或涂层和其他包装或涂层等方面。

2.6.1 果实包装或涂层

由于大量的采后贮藏损失,新鲜农产品的生产和消费之间存在巨大差距。蜂蜡可作为添加材料用于果实包装或涂层,延长果实贮藏时间^[47]。蜂蜡包装或涂层可明显增加茄子^[48]、香蕉^[49]、墨西哥酸橙^[50]、小白杏^[51]、番茄^[52]的保质期。此外,Srikantharajah等^[53]发现蜂蜡组合罗勒应用是一种有前途的木瓜专用杀菌剂替代品。

2.6.2 可降解或可食性包装或涂层

蜂蜡在可降解或可食性包装或涂层领域展现出巨大的应用潜力。添加一定含量的蜂蜡可制成可降解防潮涂层^[54]、生物降解包装薄膜^[55]、生物降解新容器^[56]、生物降解管^[57]。此外,肖艳等^[58]制备得到一种可食性蜂蜡包装纸膜。刘瑞平^[59]发现蜂蜡添加量为15%的淀粉膜具有可食性和可降解性。

2.6.3 农药包装或涂层

为实现安全防护、稳定性维持、环保合规的目标,蜂蜡被用在农药包装或涂层上。Boonying等^[60]发现蜂蜡可用作尿素颗粒的外层涂层。李香茛等^[61]以天然蜂蜡为基质包封农药制备得到一种具有较好的杀虫持效性的三氟氯氰菊酯蜂蜡纳米制剂。

2.6.4 疏水或抗水包装或涂层

疏水或抗水包装或涂层主要涉及木材保护、抗菌纸和复合薄膜等。Wang等^[62]利用蜂蜡制造出有利于木材保护的超疏水涂料。张雨婷^[63]制备了壳聚糖-蜂蜡-棕榈蜡乳液海藻胶复合纸。邱扬等^[64]制备了超疏水抗菌纸。Gadhar等^[65]制备了防雾溶液。李响等^[66]发现蜂蜡疏水处理能显著降低马铃薯淀粉膜表面能。Ha等^[67]研究发现蜂蜡制成的超疏水海绵可处理石油泄漏和微塑料的污染物。刘晓菲等^[68]发现蜂蜡可改善纸基材料阻隔性能和其热稳定性。郑辉^[69]发现蜂蜡与明胶基混合后可改善复合薄膜的水敏性。柳佳利等^[70]发现表面蜂蜡/修饰层复合微球可提高土壤保水性。

2.6.5 其他包装或涂层

Gapsari等^[71]研究了蜂蜡蜂胶提取物在pH值为2(96.60%)和12(97.75%)时对304 SS不锈钢表现出最佳缓蚀效果。Khademsameni^[72]使用蜂蜡等制造了一种光热转换和导电涂层。

2.7 蜂蜡在油凝胶方面研究进展

蜂蜡因其特殊的成分和可食性被广泛应用于制作油凝胶。使用蜂蜡可得到稳定的油凝胶Pickering乳液^[73]、藻油纳米乳液体系^[74]和山茶油油凝胶^[75]。Wettlaufer等^[76]对油凝胶的外观进行优化。Kong等^[77]发现蜂蜡菜籽油油凝胶可以显著降低牛肉饼饱和脂肪酸浓度和蒸煮损失。陈奕玮等^[78]发现蜂蜡玉米油凝胶更适合制作饼干。李诗义^[79]发现较多晶体蜂蜡基油凝胶制得的曲奇硬度较低。丁利杰等^[80]发现蜂蜡与烘焙效果有关。此外,韩宗元等^[81]发现蜂蜡基鱼油凝胶可形成稳定的晶体网络包裹液态油。胡小宁等^[82]发现含有蜂蜡的白藜芦醇共轭亚油酸酯油凝胶的持油性可达98.6%。王严超^[83]发现在蜂蜡浓度为5%时乳液凝胶的稳定性最好。康万利等^[84]发现蜂蜡制备的纳米乳液载体具有优异的洗油效率。孙雅晖等^[85]添加κ-卡拉胶未改变蜂蜡基乳液凝胶蜂蜡晶型等特点。

2.8 蜂蜡在其他方面研究进展

蜂蜡还被应用于生产饲料^[86]、制作炸药^[87, 88]和蜜蜡珊瑚补色材料^[89]等方面。蜂蜡还可用于制备鞋油^[90]、洗液棒^[91]、智能机翼组件^[92]。郭卫芸等^[93]发现蜂蜡最优脱色温度为85℃。

3 结语

3.1 面临的问题

第一,目前国内对于蜂蜡加工仍处于简单的初级阶段,其附加值较低。第二,随着蜂蜡行业的快速发展,越来越多的企业涌入市场,导致竞争愈发激烈。第三,一些低质量产品也给市场带来了不小的影响。第四,蜂蜡的特性利用仍需加大研发力度。

3.2 建议

蜂蜡作为一种天然材料,符合人们对天然和有机产品的需求,因此受到越来越多消费者的欢迎。优化蜂蜡的提取和加工工艺,提高生产效率和蜂蜡市场竞争力。同时,蜂蜡在蜡烛制作、化妆品、食品添加剂等行业都有应用,这为蜂蜡市场提供了多个增长点。

此外,企业在开发蜂蜡相关产品时,应考虑不同蜂蜡的组成成分,加强技术创新和品牌建设,以更好地适应市场需求。

参考文献

- [1] Erkan C, Kara Y, Keskin M, et al. Determination of bioactivity and antimicrobial activity of bumblebee (*Bombus terrestris* L.) nest cover wax material determination of bioactivity and antimicrobial activity of bumblebee (*Bombus terrestris* L.) brood cover wax material[J]. Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society, 2022, 73(3): 4485–4492.
- [2] 杨锐, 许凯, 李盼盼, 等. 药用辅料白蜂蜡流变学构效关系研究[J]. 药物分析杂志, 2021, 41(10): 1775–1781.
- [3] 张书迪, 陈玲玲, 陈芳芳, 等. 白蜂蜡和黄蜂蜡的拉曼光谱研究[J]. 香料香精化妆品, 2021, 5: 34–39.
- [4] 叶宇晗, 张书迪, 陈芳芳, 等. 拉曼光谱快速鉴别不同黄色蜡质的方法[J]. 香料香精化妆品, 2023, 5: 115–120.
- [5] 张书迪, 高水天, 陈芳芳, 等. 拉曼光谱法分析与鉴别4种不同的白色蜡质[J]. 当代化工, 2023, 52(12): 3002–3008.
- [6] Olszewski K, Dziechciarz P, Trytek M, et al. A scientific note on the strategy of wax collection as rare behavior of *Apis mellifera*[J]. Apidologie, 2022, 53(4): 40.
- [7] Cebotarl V. Conservation and valorisation of bee species *Apis mellifera carpatica* in context climate change[J]. Scientific Papers. Series D. Animal Science, 2022, 1: 28–39.
- [8] 王士宁. 不同碳水化合物对蜜蜂群势、产蜡性能和腹板脂质代谢的影响[D]. 山东农业大学, 2023.
- [9] 张河勇. 蜂蜡的熬制、应用与注意事项[J]. 中国蜂业, 2021, 72(3): 36.
- [10] 郑国庆, 何克仙. 蜂蜡简易提炼法[J]. 蜜蜂杂志, 2021, 41(2): 29.
- [11] 姚丹, 张锦华, 袁扬, 等. 日光化蜡器化蜡效果观察[J]. 中国蜂业, 2021, 72(3): 60–62.
- [12] Maksimov N. Study of the operation of a centrifuge to obtain apiary wax from wax raw materials[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, 1045(12100): 1–5.
- [13] Alkassab A T, Bischoff G, Thorbahn D, et al. Transfer of xenobiotics from contaminated beeswax into different bee matrices under field conditions and the related exposure probability[J]. Chemosphere, 2022, 307(1): 135615.
- [14] Alma A M, de Groot G S, Buteler M. Microplastics incorporated by honeybees from food are transferred to honey, wax and larvae[J]. Environmental Pollution, 2023, 320: 121078.
- [15] Wu C, Liu X, He M, et al. Quantitative determination of pyriproxyfen and its metabolite residues in bee products of China using a modified QuEChERS approach with UPLC–MS/MS[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2021, 220(1): 112388.
- [16] 雷美康, 候建波, 彭芳, 等. 固相萃取–高效液相色谱–串联质谱法同时测定蜂蜡中氯霉素、甲砒氯霉素、氟苯尼考和其代谢产物氟苯尼考胺残留[J]. 食品工业科技, 2021, 42(17): 241–246.
- [17] 雷美康, 候建波, 祝子铜, 等. 高效液相色谱–串联质谱法测定蜂蜡中痕量氯霉素残留[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(3): 1088–1092.
- [18] 李俊玲, 袁竹青, 武臻, 等. 气相色谱质谱联用法测定蜂蜡中6种农药及其代谢物残留[J]. 农药, 2022, 61(10): 747–750.
- [19] Wilmart O, Legrè ve A, Scippo M–L, et al. Honey bee exposure scenarios to selected residues through contaminated beeswax[J]. The Science of the Total Environment, 2021, 772(10): 145533.
- [20] Qi S, Dong S, Zhao Y, et al. Distribution and source identification of polychlorinated naphthalenes in bees, bee pollen, and wax from China[J]. Environmental Pollution, 2022, 314(1): 120225.
- [21] Alberio B, Miguel E, Garc í a–Valc á rcel A. Acaricide residues in beeswax. Implications in honey, brood and honeybee and influence of landscape around colonies[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2023, 195(4): 454.
- [22] Gerdtts J R, Roberts J M K, Simone–Finstrom M, et al. Genetic variation of *Ascosphaera apis* and colony attributes do not explain chalkbrood disease outbreaks in Australian honey bees[J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2021, 180: 107540.
- [23] Prasad P M, Ram Manohar S, Najeeb A, et al. Medicated ointments: methods of preparation, mode of action, physico chemical characteristics–An overview[J]. International Research Journal on Advanced Science Hub, 2023, 5(8): 299–310.
- [24] Liaquat A, Zia S, Isufi M, et al. Resistant plane warts treated by 40% salicylic acid and 16% lactic acid combination on the face[J]. Liaquat National Journal of Primary Care, 2023, 5(1): 44–45.
- [25] Abdollahi A, Kadkhodae R, Kazeminejad A, et al. Topical formulation based on *arnebina euchroma* as a novel possible efficient treatment on epidermolysis bullosa lesions: A case series of fourteen patients[J]. South East European Journal of Immunology, 2023, 6(1): 56–61.
- [26] 刘文静. 烧伤八号膏在供皮区创面应用的临床观察[D]. 安徽中医药大学, 2023.
- [27] 丁慧霞, 范磊. 技术史视角下明代膏剂防腐工艺研究[J]. 南京中医药大学学报(社会科学版), 2022, 23(5): 305–309.
- [28] Brahmi R, Diaf K, Elbahri Z, et al. Preparation and in–vitro evaluation of single and bi–layered beeswax–based microparticles for colon–specific delivery of mesalamine[J]. Journal of the Serbian Chemical Society, 2023, 89: 88.
- [29] 黎宇盛, 刘春芳, 陈亮, 等. 植物甾醇酯红曲软胶囊的处方与工艺研究[J]. 广东化工, 2023, 50(23): 1–5.

- [30] 陈惠欣, 臧远龙, 林淑琪, 等. 石榴籽油大豆异黄酮软胶囊的制备及质量评价 [J]. 湖北农业科学, 2023, 62(9): 108–112.
- [31] 廖秋红, 黄玲, 杨敏, 等. 白蜂蜡对维生素 D3 含量的影响研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(3): 997–1001.
- [32] Shazmeen I, Dehghan M H, Shaikh A, et al. Review on the formulations available for the treatment of cheilitis—a patent perspective[J]. GIS-Zeitschrift f ü Geoinformatik, 2023, 10(1): 758–766.
- [33] Shubham B, Dasar D, Divedi A, et al. Efficacy of palashadi ointment as local application in pediatric second degree piles: A case report[J]. Pediatric Urology Case Reports, 2023, 10(3): 271–275.
- [34] Abidalhussein H, Jwad Abid Al Hussein H. Biotechnological synthesis of an prostheses dental wax, modeling and stick[J]. International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences, 2022, 10(3): 37–44.
- [35] Esien-umo E, Obu J, Chiaghanam N, et al. Tissue substitute materials for the human colorectal cancer tissue[J]. 2023, 20: 136–145.
- [36] 蒲珊珊, 赵桐, 姜彦, 等. 开颅术后骨蜡留置致鼻窦炎 11 例临床分析 [J]. 青岛大学学报 (医学版), 2023, 59(5): 779–782.
- [37] 田文妮, 宋增柳, 杨录, 等. 蜂蜡含量对纳米结构脂质载体消化释放行为及巨噬细胞摄取率的调控影响 [J]. 食品科学, 2023, 44(21): 35–43.
- [38] 周国梁, 吴晓凤, 吴月群, 等. 正交试验优化一种药用功能性口红的研制 [J]. 安徽科技学院学报, 2023, 37(4): 63–70.
- [39] 张素红, 白玉, 王春燕, 等. 玫瑰茄乳剂型唇釉的制备 [J]. 广州化工, 2023, 51(9): 35–38.
- [40] 兰启彪, 雷璧瑜, 代春光, 等. 富含藏药天然活性成分唇膏的处方及制备工艺研究 [J]. 广东化工, 2023, 50(1): 77–80.
- [41] 刘莹, 林梅, 张文佩, 等. 凤仙花抑菌唇膏制作及其性能评价 [J]. 贵阳学院学报 (自然科学版), 2022, 17(1): 66–70.
- [42] 吴金春, 何洪波, 鲍晨曦, 等. 野木瓜籽油润唇膏的研制 [J]. 农产品加工, 2021, 6: 20–22.
- [43] 王春晓, 邓小玲. 紫草提取物功效型唇膏的制备及性能评价 [J]. 煤炭与化工, 2021, 44(9): 120–123.
- [44] 王润, 龚芋欣, 张若宁, 等. 基于油凝胶的天然赋色唇膏的制备及性能研究 [J]. 日用化学工业 (中英文), 2023, 53(10): 1147–1155.
- [45] Gonçalves das Neves e Silva E, Ferreira Barbosa G L, Alves Confessor M V, et al. Artemia salina Leach in photoprotection: A new model to evaluate the potential of nanoparticles for topical application[J]. Journal of Drug Delivery Science and Technology, 2023, 90: 105164.
- [46] Pancholi B, Sharma P, Khan N, et al. Hibiscus rosa-sciensis: boon for herbal formulations (soaps and medicated oils)[J]. Plant Archives, 2023, 23(2): 48–53.
- [47] Kaur K, Gupta N, Mahajan M, et al. A novel edible coating of beeswax impregnated with karonda polyphenol rich extract maintains the chemical and bioactive potential of fresh ber fruit during storage at low temperature[J]. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2023, 64(6): 1001–1014.
- [48] Dadzie R, Ampofo J, Quaye B, et al. Effect of beeswax coating on the quality of eggplant fruit during cold storage and optimization of coating conditions[J]. Journal of Food Quality, 2023, 5879085: 1–10.
- [49] Pavethra A, Sebastian K, Satheeshan K, et al. Effect of postharvest treatments on shelf life, visual colour change and biochemical quality of banana variety Poovan[J]. The Pharma Innovation Journal, 2023, 12(5): 2176–2180.
- [50] Mohammadi M, Rastegar S, Aghaei Dargiri S. Enhancing shelf-life quality of mexican lime (*Citrus Aurantifolia*) fruit using gelatin edible coating incorporated with pomegranate seed oil[J]. Applied Fruit Science, 2023, 66: 121–132.
- [51] 阿丽耶·图尔荪. 壳聚糖复合涂膜剂结合纳米活性包装对小白杏贮藏品质的影响 [D]. 塔里木大学, 2023.
- [52] Dugassa F. Suitability of bio-extracts with coating materials on physicochemical quality of tomato fruits (*Solanum Lycopersicum L.*) stored at ambient temperature[J]. International Journal of Agricultural Science and Food Technology, 2021, 7(3): 347–354.
- [53] Srikantharajah N, Pakeerathan K, Mikanthan G. Fungicide-free management of papaya anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* penz.) disease using combined bio-rationales and bee wax in organic agriculture[J]. Biology and Life Sciences Forum, 2020, 4(1): 16.
- [54] Vijayan S, S A, Sahoo S. Effect of beeswax on hydrophobicity, moisture resistance and transparency of UV curable linseed oil based coating for compostable paper packaging[J]. Industrial Crops and Products, 2023, 197: 116645.
- [55] Singha P, Rani R, Badwaik L S. Influence of sugarcane bagasse fibre on the properties of sweet lime peel- and polyvinyl alcohol-based biodegradable films[J]. Sustainable Food Technology, 2023, 1(4): 610–620.
- [56] Changmai N, Badwaik L. Effect of polyvinyl alcohol, starch and modified bee wax on properties of sweet lime pomace based biodegradable containers[J]. Journal of Packaging Technology and Research, 2021, 5: 107–114.
- [57] Paula Y L d, de Melo R R, Paula E A d O, et al. Biodegradable tubes based on beeswax and cashew nut wastes: An eco-friendly solution for seedling production[J]. Waste and Biomass Valorization, 2023, 15(2): 697–707.
- [58] 肖艳, 莫琪, 王希越, 等. 玉米苞叶膳食纤维制备可食性包装纸膜的研究 [J]. 当代化工研究, 2022, 13: 162–164.
- [59] 刘瑞平. 高疏水淀粉 / 脂质可食性膜的构建及其性能研究 [D]. 山东农业大学, 2023.

- [60] Boonying P, Boonpavanitchakul K, Amnuaypanich S, et al. Natural rubber-lignin composites modified with natural rubber-graft-polyacrylamide as an effective coating for slow-release fertilizers[J]. *Industrial Crops and Products*, 2023, 191: 116018.
- [61] 李香荧, 黄燕敏, 江扬, 等. 以蜂蜡为基质纳米三氟氯氧菊酯制剂制备及杀虫活性研究[J]. *南宁师范大学学报(自然科学版)*, 2021, 38(2): 79-86.
- [62] Wang X, Chen K, Liu Y, et al. Preparation and application of biodegradable and superhydrophobic polylactic acid/carnauba wax coating[J]. *Progress in Organic Coatings*, 2023, 177: 107434.
- [63] 张雨婷. 多糖基食品接触材料的制备和性能表征[D]. 中国制浆造纸研究院有限公司, 2023.
- [64] 邱扬, 张震, 袁涛, 等. 超疏水抗菌包装纸的制备及其性能研究[J]. *中国造纸学报*, 2022, 37(2): 42-48.
- [65] Gadhar S, Chechang S, Sales P, et al. Durability and physical characterization of anti-fogging solution for 3D-printed clear masks and face shields[J]. *PeerJ Materials Science*, 2023, 5(3): e30.
- [66] 李响, 宋玉函, 陈璐瑶, 等. 低表面能马铃薯淀粉膜的制备及性能研究[J]. *食品工业*, 2022, 43(11): 103-106.
- [67] Ha T T V, Viet N M, Thanh P T, et al. Loofah plant—Derived biodegradable superhydrophobic sponge for effective removal of oil and microplastic from water[J]. *Environmental Technology & Innovation*, 2023, 32(2): 103265.
- [68] 刘晓菲, 张雪, 赵雨萌, 等. 壳聚糖/蜂蜡改善纸基材料水蒸气 and 氧气阻隔性能研究[J]. *中国造纸学报*, 2023, 38(1): 9-17.
- [69] 郑辉. 明胶基活性包装薄膜的制备及其在面包保鲜中的应用[D]. 上海海洋大学, 2022.
- [70] 柳佳利, 白波, 孙钰琨. 表面疏水型海藻酸钠微球保水剂缓释性能调控机制[J]. *化学工程*, 2023, 51(10): 30-35.
- [71] Gapsari F, Wijaya H, Septiari R, et al. Evaluation of bee wax propolis inhibitor for corrosion protection on stainless steel in various pH solution[J]. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2022, 6: 100227.
- [72] Khademsameni H. Fabrication and characterization of a regenerative superhydrophobic silicone-based coating for electrical insulators[J]. *Université du Québec à Chicoutimi*, 2023.
- [73] 沈嘉骏, 宦静静, 王碧佳, 等. 纳米甲壳素稳定蜂蜡油凝胶 Pickering 乳液的性能研究[J]. *日用化学工业*, 2022, 52(8): 844-850.
- [74] 杨韵仪, 曹沐曦, 陈文荣, 等. 油相结构化对大豆蛋白藻油纳米乳液氧化稳定性的影响[J]. *食品科学*, 2023, 44(2): 1-8.
- [75] 任玉朋, 李元利, 张欢歌, 等. β -谷甾醇/ γ -谷维素和月桂酸单甘油酯对蜂蜡山茶油凝胶结构性质的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(17): 62-68.
- [76] Wettlaufer T, Flöter E. Effect of cooling rate on the oleogel properties of wax-wax-hydrolyzate mixtures[J]. *Food Biophysics*, 2022, 17(3): 344-359.
- [77] Kong W, Wang L, Xu H, et al. Effects of lecithin/sorbitol monostearate-canola oil oleogel as animal fat replacer on the fatty acid composition and physicochemical properties of lamb sausage[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023, 2023(2567854): 1-10.
- [78] 陈奕玮, 高琪, 嵇紫杨, 等. 蜂蜡油凝胶的制备及其在饼干中的应用分析[J]. *现代食品*, 2023, 29(12): 59-62.
- [79] 李诗义. 曲奇用油凝胶的构建及其对曲奇品质的影响机制[D]. 江南大学, 2022.
- [80] 丁利杰, 张虹, 李胜, 等. 利用蜂蜡-米糠蜡制备大豆油凝胶油[J]. *食品科学*, 2021, 42(22): 77-84.
- [81] 韩宗元, 刘雨杉, 梁嘉翰, 等. 冷却方式对蜂蜡基油凝胶宏观性质与微观结构的影响[J]. *广东海洋大学学报*, 2023, 43(5): 60-66.
- [82] 胡小宁, 李甜, 屈阳, 等. 白藜芦醇共轭亚油酸酯凝胶油的制备及表征[J]. *食品科学*, 2022, 43(20): 63-69.
- [83] 王严超. 羧甲基化多孔淀粉乳液凝胶的制备及性质研究[D]. 吉林农业大学, 2023.
- [84] 康万利, 王康辉, 李哲, 等. 低渗透油藏缓释型表面活性剂纳米载体研究[J]. *日用化学工业(中英文)*, 2022, 52(11): 1147-1154.
- [85] 孙雅晖, 韩立娟, 苏凌志, 等. κ -卡拉胶对蜂蜡基乳液凝胶微观结构和性质的影响[J]. *食品科学*, 2023, 44(12): 25-33.
- [86] Gaafar H, Dell'Anno M, Rossi L, et al. Evaluation of beeswax supplementation on productive performance of growing assaf lambs[J]. *Veterinary Sciences*, 2023, 10(9): 574.
- [87] 张振钢. DNP基熔铸炸药配方设计及工艺研究[D]. 中北大学, 2022.
- [88] 高郁凯. 一种高原乳化炸药油相材料的研究[D]. 安徽理工大学, 2022.
- [89] 罗涵, 刘瀚文, 张雪雁, 等. 嵌五色玻璃盆蜜蜡刘海戏蟾盆景的制作工艺和旧修方法研究[J]. *博物院*, 2023, 2: 111-119.
- [90] Pandey S, Job M, Mishra P, et al. Impact of shellac and gum arabic in shoe polish formulation based on karanj oil[J]. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 2023, 14(11): 1480-1486.
- [91] Chutima L, Sontaya L, Wantanwa K, et al. Beef tallow: Extraction, physicochemical property, fatty acid composition, antioxidant activity, and formulation of lotion bars[J]. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2021, 11(9): 18-28.
- [92] Eraghi S H, Toofani A, Guilani R J A, et al. Basal complex: a smart wing component for automatic shape morphing[J]. *Commun Biol*, 2023, 6(1): 853.
- [93] 郭卫芸, 王永辉, 杨旗, 等. 乳化剂辅助蜂蜡脱色的工艺优化[J]. *许昌学院学报*, 2021, 40(2): 74-78. 