

绿色包装与循环经济

基于文献计量的可生物降解包装薄膜研究态势分析

李荣国¹, 陈超², 黄山¹, 张洁瑞³, 靳晓曼³, 姜晓雪³, 杨莉^{3*}

(1.陕西省烟草公司西安市公司, 西安 710061; 2.陕西省烟草专卖局, 西安 710061;

3.长安大学 水利与环境学院, 西安 710064)

摘要: **目的** 在系统总结目前可生物降解包装薄膜研究现状的基础上, 精准把握未来的研究热点和发展趋势, 推动可生物降解包装材料的研发和应用。**方法** 基于文献计量方法和可视化分析手段, 通过统计分析 Web of Science 数据库中可生物降解包装薄膜领域的文献发表情况、学科类别、发文国家、发文机构、主要发文期刊和关键词等内容, 开展可生物降解包装薄膜研究态势分析。**结果** 2013—2023 年可生物降解包装薄膜领域的文献发表数量逐年增加, 研究学科主要集中在高分子、食品技术和应用化学等方面, 学科交叉明显, 且国际合作紧密。可生物降解包装薄膜原料的多元化发展、薄膜的功能性研究及在食品包装方面的应用正在成为可生物降解包装薄膜领域的研究热点。

关键词: 可生物降解; 包装; 薄膜; 可视化分析; 文献计量

中图分类号: TB484 文献标志码: A 文章编号: 1001-3563(2024)11-0240-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.11.029

Research Situation of Biodegradable Packaging Film with Bibliometric Evaluation

LI Rongguo¹, CHEN Chao², HUANG Shan¹, ZHANG Jierui³, JIN Xiaoman³,
JIANG Xiaoxue³, YANG Li^{3*}

(1. Xi'an Company, China Tobacco Shaanxi Industrial Co., Ltd., Xi'an 710061, China;

2. China Tobacco Shaanxi Industrial Co., Ltd., Xi'an 710061, China; 3. School of

Water and Environment, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

ABSTRACT: The work aims to clarify the future research hotspots and development trends of biodegradable packaging films on the basis of systematical summary of current research status in this field, so as to promote the development and application of biodegradable packaging materials. With bibliometric methods and visualized analysis tools, the research situation of biodegradable packaging film was analyzed based on the statistical analysis of publication, disciplinary categories, publication countries, publication institutions, publication journals and keywords of literature on the biodegradable packaging film research from Web of Science. The results showed that the number of published literature in the field of biodegradable packaging films increased gradually from 2013 to 2023, and research disciplines distributed intensively in polymer science, food science and technology and applied chemistry, etc. In addition, this field demonstrated obvious features of inter-discipline and close international cooperation. The study on the diversified biodegradable packaging materials, the functional study of biodegradable packaging films and their application in food packaging are hot spots in the research of biodegradable packaging film.

KEY WORDS: biodegradable; packaging; films; visualized analysis; bibliometric methods

收稿日期: 2024-03-06

基金项目: 中国烟草总公司 2022 年度科技项目 (110202202035); 陕西省烟草公司 2022 年度科技项目 (KJ-2022-08)

*通信作者

目前,传统石油基材料是全球使用最广的塑料包装薄膜原料。据报道,亚太地区是全球单一材料塑料包装薄膜的最大消费市场,预测2025年塑料包装薄膜的需求量为2 603万t,市场规模可达到709亿美元^[1]。由于石油基塑料包装薄膜不可降解,其生产和使用不仅造成了资源浪费,且引发了白色污染等日益严重的环境问题^[2-3]。相比之下,可生物降解包装薄膜具有质轻、透明、原料来源广泛、包装性能良好等优势^[4],在满足使用要求的同时,能够在废弃后降解为二氧化碳和水,回归自然,有效避免了不可降解塑料包装薄膜对环境造成的污染^[5],已成为当前绿色包装材料中的研究热点。

为了初步了解目前可生物降解包装薄膜的研究现状,在Web of Science(WOS)核心合集数据库中通过主题词TS=((“biodegrada*” OR “biological degradation”) AND (“film*” OR “cover”) AND (“packag*” OR “pack*”))进行预检索,得到了2013—2023年关于可生物降解包装薄膜的文献共计4 514篇,其中,中国学者的文献发表数量为934篇,占比高达20.7%,且发表时间主要集中在2020年以后。由此可见,我国可生物降解包装薄膜的研究起步较晚,但其活跃度高,在该领域仍然存在巨大的拓展空间。采用客观、直接且系统的分析方法及时总结该领域的发展脉络,有利于我国学者明晰可生物降解包装薄膜的国内外研究现状,精准把握未来的研究热点和发展趋势。

文献计量分析法是一种运用数学和统计学手段对多篇文献进行综合分析的研究方法,它不仅能够从文献的数量、质量和网络3个维度出发,利用数据反馈对特定学科领域的研究现状和发展趋势进行直接描述、评价和预测,而且能够有效避免使用常规方法总结文献时存在的主观性强、缺乏量化和系统性不足等缺陷^[6-7]。文献计量分析可助力科研人员在把握研究热点和预测研究趋势的同时,紧密结合研究前沿,实现突破创新,已被广泛应用于农业^[8]、生物^[9]、环境^[10-11]和食品^[12]等领域。基于此,通过文献计量分析法开展可生物降解包装薄膜的研究态势分析,总结可生物降解包装薄膜领域的发展现状和研究热点,以期对相关领域的研究提供参考。

1 研究方法

1.1 数据来源

作为以质量为导向的全球性数据库,Web of Science(WOS)数据库包含的文献记录标准化程度较高,是开展文献计量分析的数据源^[13-14]。文中选择Web of Science核心合集数据库进行文献计量分析,以主题词TS=((“biodegrada*” OR “biological degra-

ation*”)AND(“film*” OR “cover*”) AND (“packag*” OR “pack*”))进行检索,设定文献发表的时间跨度为2013—2023年,文献类型为“Article” OR “Review”,检索时间为2024年2月1日,共得到相关文献4 514篇。为了高度聚焦可生物降解包装薄膜的研究态势分析,进一步对检索结果进行筛选,针对其中相关度较高的3 672篇文章进行文献计量分析。

1.2 数据分析

文献计量学是对文献进行定量分析的有效工具,可用于评价特定研究领域的发展状况,并预测未来的研究趋势^[15]。开展文献计量分析使用的VOS viewer(version 1.6.15)软件是一款可视化工具,该软件具有强大的图形展示能力,适合对大规模文献数据样本进行多角度分析^[16-17],它由荷兰莱顿大学科技研究中心于2009年开发。

2 结果与讨论

2.1 发文量分析

发表论文的数量是评价特定研究领域受关注程度的重要指标。为了了解可生物降解包装薄膜领域的研究规模和发展趋势,统计了2013—2023年全球范围内可生物降解包装薄膜领域的发文量。由图1可知,发文量随着时间的推移呈现逐年增长的趋势,表明该领域的研究热度正在逐步上升,且目前尚未达到顶峰。其中,在2019年后发文量的增长速度明显加快,尤其是2020—2021年发文量从448篇增长到620篇,增幅为38.4%。可生物降解包装薄膜领域研究热度的逐渐升温,可能与世界各国对可持续发展战略的高度重视紧密相关。例如,2019年欧盟提出的《欧洲绿色协议》开启了欧盟绿色转型的进程,2021年欧盟委员会发布了“减排55%”相关政策法案,确定了“到2030年能源消耗减少36%”的目标^[18],这无疑引领了学者们对可生物降解材料的关注和研究。与此同时,在2020年后,我国学者在该领域也发表了大量研究论文,特别是2023年我国的发文量占全球发文量的24.3%。在2020年我国提出了“双碳”目标,各行业通过创新体系建设,逐步转型为降低碳能源消耗和控制温室气体排放的低碳经济发展模式^[19]。在绿色发展战略的指引下,我国学者对可再生和可降解包装薄膜材料的关注度明显上升。

2.2 发文国家分析

为了更好地了解世界各国在可生物降解包装薄膜领域的研究产出及合作情况,利用VOS viewer可视化软件,分析了各国之间的合作关系及时间演变趋势,如图2所示。图2中圆点面积展现了国家

发文量的情况,圆点的颜色与时间轴对应,圆点间线条的粗细与国家间合作紧密程度相关。从图 2 可以看出,3 个发展中国家(中国、印度、巴西)在可生物降解包装薄膜领域的发文量较多,尤其是中国的发文量远超美国、西班牙和意大利等发达国家,这与近年来发展中国家环保意识的加强及中国推行“限塑令”和提出“双碳”目标密不可分^[20-22]。从时间演变来看,阿根廷、意大利、西班牙和巴西等国家在该领域的研究起步较早,中国和印度等国家起步较晚,主要始于 2020 年前后,这一结果与全球在该领域发文量中的分析相对应。此外,从国家间合作关系来看,在全球能源绿色低碳转型的背景下,可生物降解包装薄膜领域的国际合作较为活跃。其中,美国作为技术领先的聚乳酸生产大国^[23],与许多国家都存在密切合作关系;巴西和印度在可生物降解包装薄膜研究领域的国际合作中表现活跃;我国与印度、西班牙、巴西和美国的合作较为紧密。例如,美国马萨诸塞大学、伊朗德黑兰大学与我国海南大学等机构合作开展了添加纳米颗粒以提升可生物降解食品包装薄膜的功能性研究,重点综述了氧化锌纳米颗粒对薄膜的阻隔性、力学性能和抗菌性能的影响^[24]。巴西乌贝兰迪亚联邦大学与印度圣雄甘地

大学等机构合作研究了淀粉颗粒和纳米纤维素增强可食用薄膜力学性能和抗菌性的可行性,这种可降解薄膜有望替代塑料用于食品和蔬菜包装^[25]。综上所述,可生物降解包装薄膜技术研究领域密切的国际合作,有利于推动该领域的技术进步和突破创新。

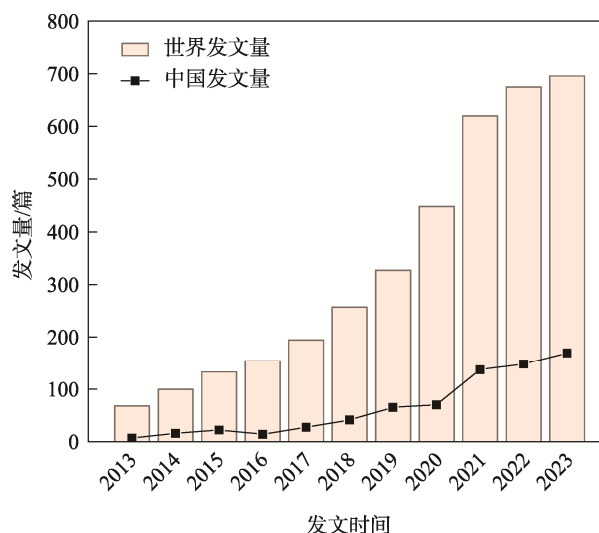


图 1 2013—2023 年全球可生物降解包装薄膜发文量统计
Fig.1 Statistical chart on the global publication volume of biodegradable packaging films from 2013 to 2023

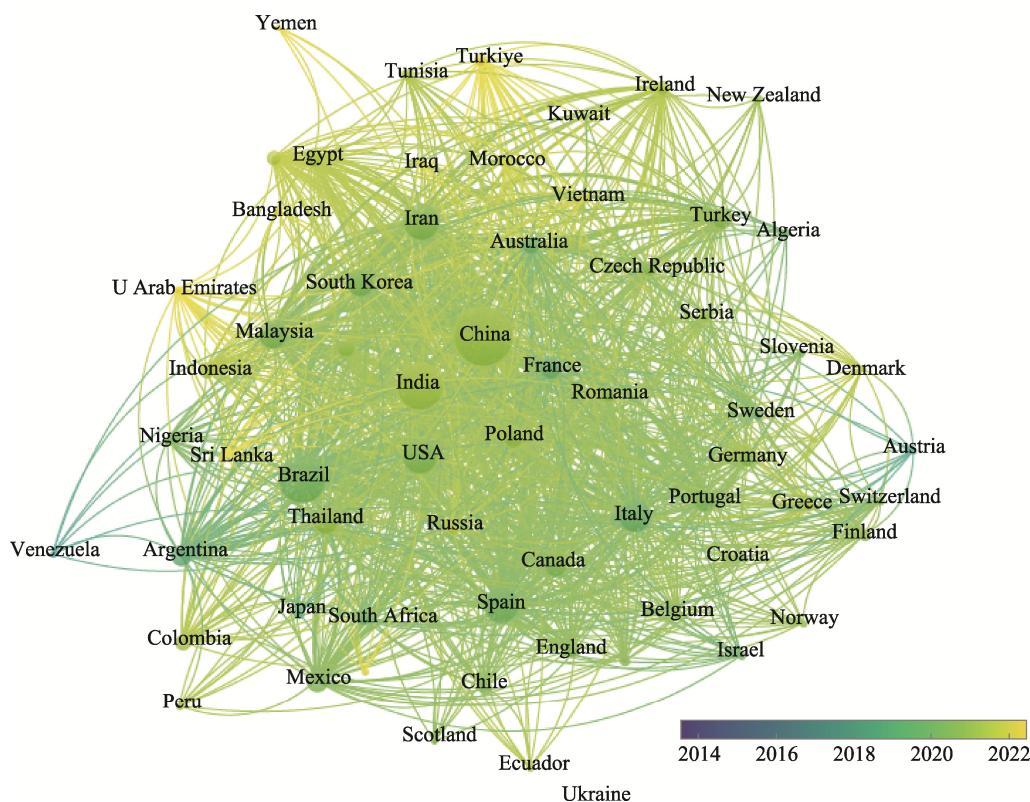


图 2 可生物降解包装薄膜领域发文国家合作网络
Fig.2 National cooperation network in biodegradable packaging film

2.3 发文机构分析

统计了 2013—2023 年 WOS 核心合集数据库中发文量排名前十的机构和被引频次信息, 见表 1。发文量排名第一的机构是 Consejo Nnacional de Investigations Cientificas y Tecnicas (阿根廷国家科学技术研究委员会), 这可能是因阿根廷在该领域的研究起步较早(见图 2), 积累了丰富的研究成果。其次, 马来西亚和巴西均有 2 个机构位于前十, 发文总量较高, 严格的环保政策和丰富的农业资源可能是这 2 个国家在可生物降解包装薄膜领域发展的重要推手^[26]。值得注意的是, 在发文量排名前十的机构中有一半来自亚洲。近年来, 随着中国、巴基斯坦、印度和泰国等亚洲国家限塑政策的落地, 各国对可生物降解材料的需求量大幅增长, 亚洲可能成为全球最大的可生物降解材料消费市场^[27], 有力促进了可生物降解包装薄膜的相关研究和成果推广。

被引频次是反映机构在相关领域研究深度和研究质量的重要指标, 较高的被引频次在一定程度上表明特定研究在该领域的影响力和认可度较高^[15]。可生物降解包装薄膜领域被引频次最高的 2 个机构是 Consejo Superior de Iinvestigations Cientificas(西班牙高等科学委员会) 和 University Putra Malaysia (马来西亚博特拉大学), 其被引频次分别为 3 282、3 051, 说明这 2 个机构在可生物降解包装薄膜领域产出的科研成果的国际认可度较高, 具有较大的影响力和引

用价值。在排名前十的机构中, 中国的 South China University of Technology (华南理工大学) 发表了文章 49 篇, 被引频次为 1 208 次, 位列第 9, 可见我国科研机构在可生物降解包装薄膜研究领域的国际学术竞争力有待进一步提升。

2.4 学科类别分析

2013—2023 年可生物降解包装薄膜领域发文量排名前十的学科类别如图 3 所示。其中, 位列前三的学科类别分别是 Polymer Science(高分子科学)、Food Science Technology (食品科学技术) 和 Chemistry Applied (应用化学), 三者发文量之和在排名前十的学科发文总量中的占比高达 65.8%。首先, 高分子科学相关研究是可生物降解包装薄膜领域的核心力量。众所周知, 以塑料薄膜为代表的许多高分子材料在完成包装使命后被大量废弃, 导致包装行业每年产生了约 1.41 亿 t 塑料垃圾, 对环境造成了巨大的负面影响^[28], 因此开发可降解的绿色包装材料是高分子领域近年的研究热点之一^[29-31]。另外, 食品工业领域对包装薄膜的需求量一直居高不下, 而传统石油基塑料中超过 40% 的塑料应用于食品包装^[28], 因此在绿色低碳理念的指引下, 积极探索食品包装材料绿色化转型途径, 推动了可生物降解薄膜在食品包装中的应用。此外, 生物、材料、环境和物理等多学科在可生物降解包装薄膜领域均有所渗透, 说明可生物降解包装薄膜领域的学科交叉特点突出。

表 1 2013—2023 年发文量排名前十的机构信息
Tab.1 Information on the top 10 institutions in terms of publication volume from 2013 to 2023

机构	发文量	被引频次	国家
阿根廷国家科学技术研究委员会(Consejo Nnacional de Investigations Cientificas y Tecnicas)	78	2 645	阿根廷
西班牙高等科学委员会 (Consejo Superior de Iinvestigations Cientificas)	72	3 282	西班牙
阿扎德大学 (Islamic Azad University)	71	2 042	伊朗
埃及知识库 (Egyptian Knowledge Bank)	67	2 879	埃及
印度理工学院 (Indian Institute of Technology System)	63	1 288	印度
马来西亚博特拉大学 (University Putra Malaysia)	61	3 051	马来西亚
意大利国家研究委员会 (Consiglio Nazionale delle Ricerche)	57	1 425	意大利
巴西农牧业研究所 (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria)	54	1 624	巴西
南大河联邦大学 (Universidade Federal do Rio Grande do Sul)	53	1 935	巴西
华南理工大学 (South China University of Technology)	49	1 208	中国
马来西亚理科大学 (University Sains Malaysia)	47	1 853	马来西亚

2.5 期刊分布分析

期刊作为重要的学术交流平台,针对期刊分布的分析内容不仅能帮助学者了解特定研究领域文献的发表趋势,而且可为科研论文投稿和阅读提供建议^[12]。表 2 汇总了 2013—2023 年可生物降解包装薄膜领域发文量排名前十的期刊信息,其中《International Journal of Biological Macromolecules》《Polymers》《Food Packaging and Shelf Life》是发文量排名前三的期刊,分别发表了 265、197、144 篇相关文献。从发文总量来看,排名前十的期刊发文总量仅占整体发文量的 35.5%,表明该领域期刊分布较为广泛。从影响因子^[32]及 H 指数^[33]来看,《Carbohydrate Polymer》《Food Hydrocolloids》《International Journal of Biological Macromolecules》的影响因子和 H 指数较高,科研人员可以通过阅读这些影响力高的期刊来快速、准确地了解该领域的研究前沿动态。

通过 VOS viewer 可视化软件分析了 2013—2023 年以来 WOS 核心合集数据库中可生物降解包装薄膜领域期刊的时间演变情况。从图 4 可以看出,在创刊于 1979 年的《International Journal of Biological Macromolecules》中,可生物降解包装薄膜相关的发文量高达 265 篇,表明该期刊对可生物降解包装薄膜

的研究呈现长时间的高度关注状态。同时,以《Food Packaging and Shelf Life》为代表的食品领域相关期刊(如《Foods》《Food Chemistry》《Food Bioscience》等)在近些年也逐渐展现出对可生物降解包装薄膜领域的关注,说明面向食品包装的可生物降解包装薄膜研究活跃、应用场景广泛、应用潜力较高。

高被引文章一般具有较为突出的引领性或创新性,研究的内容和结论具有较高的参考价值。《Chitosan Based Edible Films and Coatings: A Review》是 Elsabee 等^[34]于 2013 年发表在《Materials Science & Engineering C-Materials for Biological Applications》中的综述文章,其被引频次高达 746,该文章主要讨论了壳聚糖和其他天然聚合物在食品包装领域的应用,并结合薄膜的力学性能和透气性探讨了薄膜的抗菌性对食品品质的影响。由此可见,可生物降解包装薄膜在食品包装领域的应用研究起步较早,壳聚糖也是早期备受学者关注的可生物降解包装薄膜原料。《Polysaccharide-Based Films and Coatings for Food Packaging: A Review》是 Cazon 等^[35]于 2017 年发表在《Food Hydrocolloids》上的综述文章,其被引频次高达 700,它主要研究了以多糖为原料制造的可生物降解包装薄膜应用于食品包装中的阻隔性和力学性能。可见,薄膜材料性能的提升一直是可生物降解食品包装薄膜领域关注的问题。

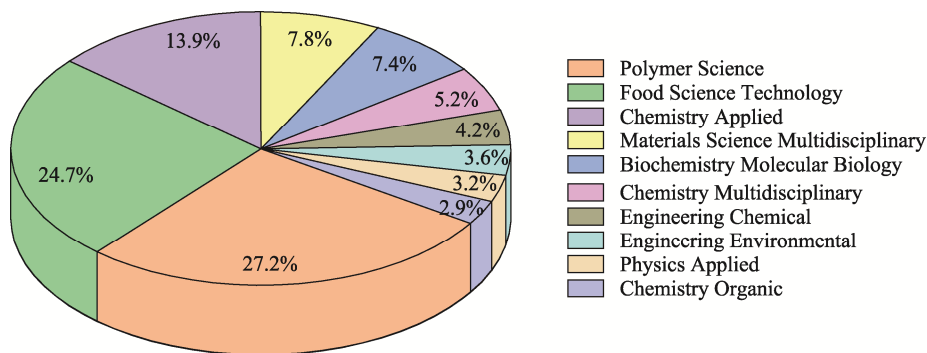


图 3 可生物降解包装薄膜领域涉及的学科

Fig.3 Subject categories involved in biodegradable packaging film

表 2 2013—2023 年发文量前十的期刊及相关信息

Tab.2 Top 10 journals and related information in terms of publication volume from 2013 to 2023

期刊	发文量	影响因子	H 指数
International Journal of Biological Macromolecules	265	8.2	101
Polymers	197	5	53
Food Packaging and Shelf Life	144	8	20
Journal of Applied Polymer Science	141	3	149
Carbohydrate Polymer	129	11.2	172
Food Hydrocolloids	118	10.7	132
Journal of Polymers and The Environment	107	5.3	64
Industrial Crops and Products	79	5.9	103
Foods	65	5.2	
Journal of Food Processing and Preservation	60	2.5	42

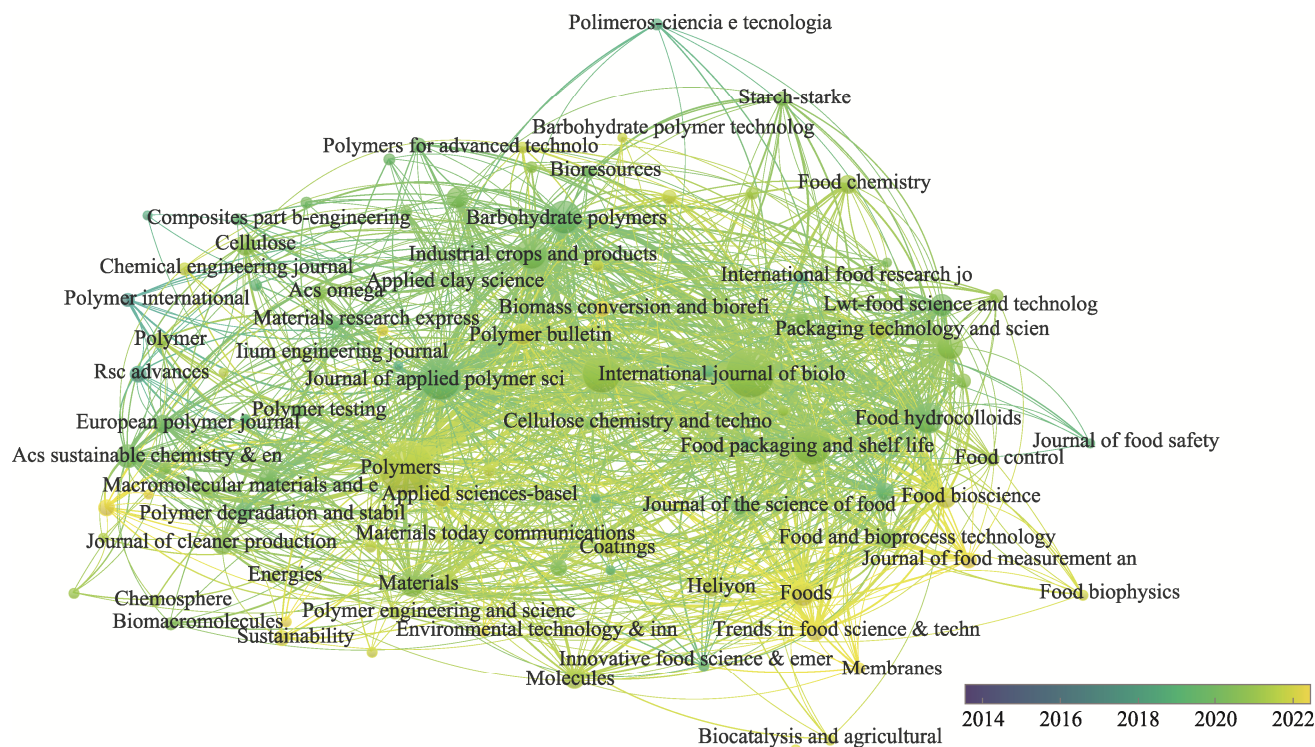


图 4 出版期刊的时间演变
Fig.4 Temporal evolution of published journals

2.6 关键词分析

2.6.1 聚类分析

关键词承载着文献的核心信息,能够反映研究的重要特征,而相似性和共现频次较高的关键词还能通过聚类形成研究主题。在 WOS 核心合集数据库中,2013—2023 年全球可生物降解包装薄膜研究的主要关键词聚类分布如图 5 所示,框架颜色表示不同的关键词聚类,框架越大表示关键词的出现频率越高。

从图 5 可以看出,在可生物降解包装薄膜研究领域,Chitosan(壳聚糖)、Edible films(可食用薄膜)、Mechanical-properties(力学性能)、Film(薄膜)、Food packaging(食品包装)等是研究的高频关键词,这些关键词从原料、性能、应用等不同角度揭示了可生物降解包装薄膜领域的研究热点。在原料方面,壳聚糖作为代表性的薄膜原料被广泛研究,淀粉、纳米复合材料、精油、聚乳酸和纤维素等均是可生物降解包装薄膜原料的热门研究对象。在性能方面,作为代表性材料的壳聚糖具有可生物降解性、阻隔性、低透氧性和优异的成膜能力,但完全使用壳聚糖加工的包装薄膜的力学性能较差,且抗氧化能力较弱,无法满足包装要求,因此围绕壳聚糖的改性及性能提升方面的研究较为活跃^[36-40]。此外,将精油、纳米粒子等引入可生物降解包装薄膜后,对复合薄膜性能的复杂影响是学者们亟须突破的关键点。目前,生物纤维增强或与其他可降解材料共混已被证明是提升可生物降解包装薄膜力学性能的有效策略^[41-43]。在应用方面,可生

物降解包装薄膜被广泛应用于食品包装,而薄膜的抗菌性和抗氧化性能广受关注^[44]。

根据研究重点的不同,将关键词分为红色、黄色、蓝色、绿色 4 个聚类。红色聚类主要反映可生物降解包装薄膜原料方面的研究,其中备受关注的原料有 PLA (聚乳酸)、Nanocomposites (纳米复合材料)、Nanoparticles (纳米粒子)等。黄色聚类结果表明,在可生物降解食品包装薄膜的研发和应用中,PVA (聚乙烯醇)、Silver nanoparticles (纳米银粒子)、Chitin (甲壳素)是广受青睐的原料。蓝色聚类表示可生物降解包装薄膜在力学性能、阻隔性能和物理化学性质等方面的研究。绿色聚类表示以壳聚糖、淀粉、精油为原料的可生物降解包装薄膜的性能和应用方面的研究。

2.6.2 时间演化分析

在 2013—2023 年 WOS 核心合集数据库中, 全球可生物降解包装薄膜研究关键词的迭代情况如图 6 所示。从图 6 可以看出, 近 10 年来, 该领域的主要关注点从 Poly(lactic acid) (聚乳酸)、Mechanical-properties (力学性能) 等逐渐演变为 Chitosan (壳聚糖)、Food packaging (食品包装)、Antioxidant (抗氧化剂) 等。尤其是近期围绕 Active packaging (活性包装)、PVA (聚乙烯醇)、Sodium alginate (海藻酸钠)、Antibacterial (抗菌的) 的研究逐渐增多。上述关键词演变趋势表明, 选用壳聚糖等材料作为可生物降解包装薄膜原料的探索显示出一定优势, 海藻酸钠和聚乙烯醇等

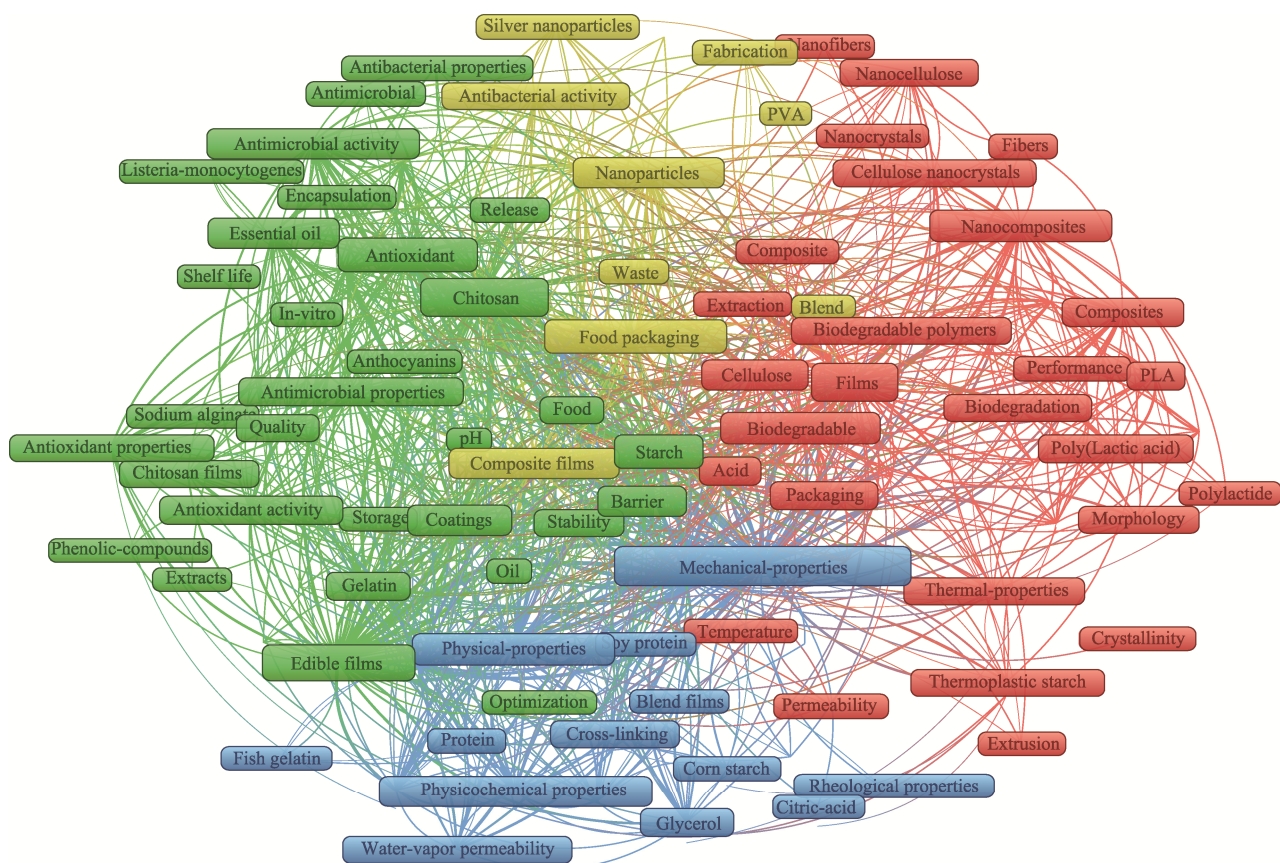


图5 关键词共现网络

Fig.5 Keyword co-occurrence network

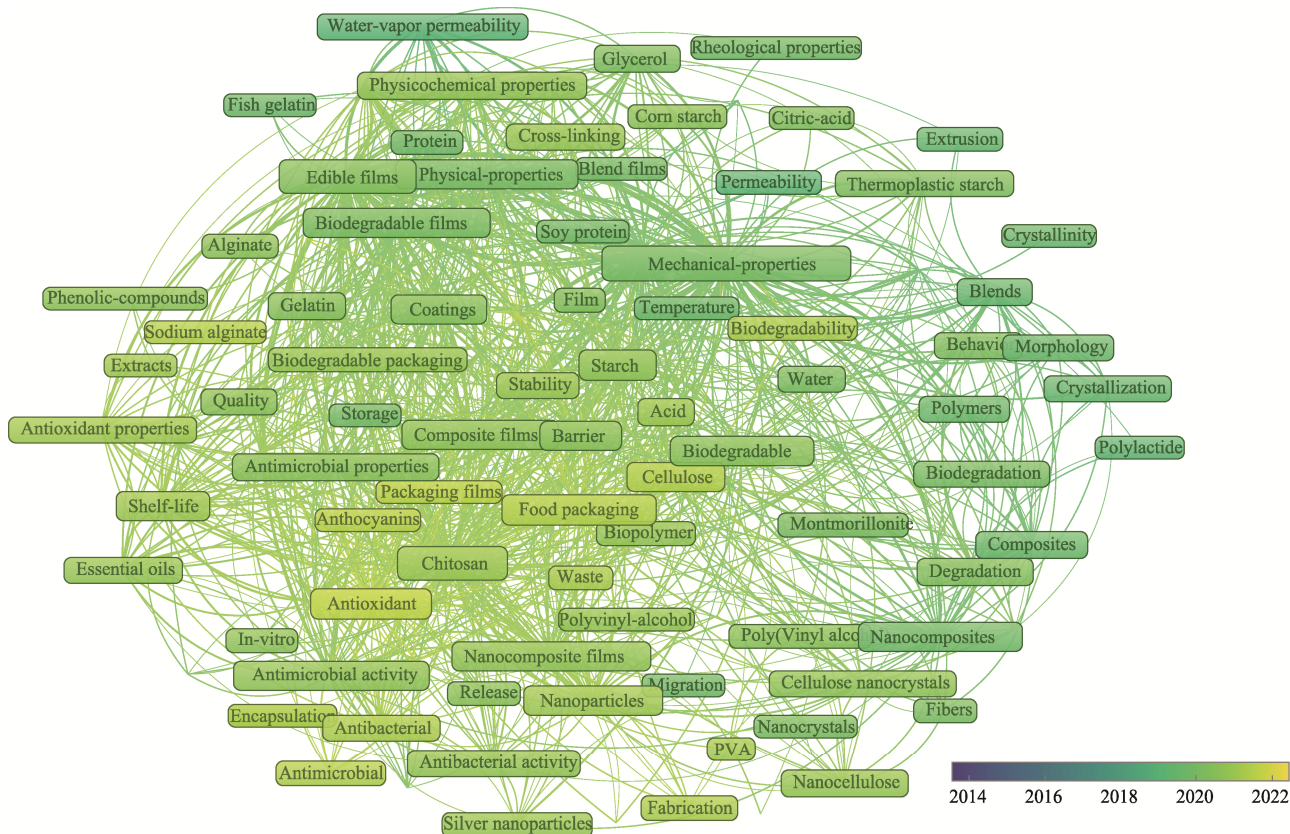


图6 关键词随时间的演变趋势

Fig.6 Evolution trend of keywords over time

材料的开发利用也逐渐被学者关注,使可生物降解包装薄膜的原料更加多样化^[45-46]。近年来,可生物降解包装薄膜在食品包装方面的应用被广泛研究。为了满足食品包装的抗菌性和阻隔性等要求,薄膜功能性的提升逐渐受到学者们的关注^[47]。

3 结语

基于 2013—2023 年 WOS 核心合集数据库中可生物降解包装薄膜领域的文献资料,通过文献计量方法,分析了可生物降解包装薄膜领域的研究态势,得出以下结论。

1) 可生物降解包装薄膜领域的发文量逐年增加,已成为全球关注的研究热点。近年来,中国在该领域的发文量较多,与美国等国家的合作紧密,但研究影响力有待提高。西班牙高等科学委员会和马来西亚普特拉大学在该领域的研究处于国际领先地位。

2) 可生物降解包装薄膜研究具有较好的学科包容性,且学科交叉现象明显。目前,该领域的热门学科主要有高分子化学、食品科学技术及应用化学;《International Journal of Biological Macromolecules》是可生物降解包装薄膜领域载文量最高的期刊。

3) 随着壳聚糖、淀粉和植物精油等绿色原料的引入和应用的增多,可生物降解包装薄膜的原料选择正朝着多元化、绿色化的方向发展,薄膜功能性(如抗菌性、抗氧化性等)的提升是该领域的研究热点,可生物降解包装薄膜在食品包装中的应用是学者们长期关注的研究热点。

参考文献:

- [1] 佚名. 2025 年单一材料塑料包装全球市场需求将达到 710 亿美元[J]. 印刷工业, 2020, 15(5): 13-14.
Anon. In 2025, the Market Demand for Single-Material Plastic Packaging Will Reach 71 Billion US Dollars Globally[J]. Print China, 2020, 15(5): 13-14.
- [2] SUN H X, LI J L. Behavioural Choice of Governments, Enterprises and Consumers on Recyclable Green Logistics Packaging[J]. Sustainable Production and Consumption, 2021, 28: 459-471.
- [3] 佚名. 破解塑料白色污染: 降解与再生, 谁主沉浮?[J]. 中国石油和化工, 2022(6): 14-15.
Anon. Crack Plastic White Pollution: Degradation and Regeneration, Who is the Master?[J]. China Petroleum and Chemical Industry, 2022(6): 14-15.
- [4] 韩笑, 李荣国, 黄山, 等. 基于环境绩效的烟草商业物流可降解薄膜包装优化研究[J]. 包装工程, 2024, 45(3): 276-283.
HAN X, LI R G, HUANG S, et al. Optimization of Degradable Film Packaging for Tobacco Commercial Logistics Based on Environmental Performance[J]. Packaging Engineering, 2024, 45(3): 276-283.
- [5] 陈文. 可生物降解材料在食品包装中的应用研究[J]. 品牌与标准化, 2024(1): 96-98.
CHEN W. Research on the Application of Biodegradable Materials in Food Packaging[J]. Brand & Standardization, 2024(1): 96-98.
- [6] 任海伟, 徐志航, 郭晓鹏, 等. 基于文献计量的纤维素基食品包装膜研究态势分析[J]. 中国食品学报, 2022, 22(4): 462-470.
REN H W, XU Z H, GUO X P, et al. Analysis of Research Situation for Cellulose-Based Food Packaging Film Based on Bibliometric Evaluation[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(4): 462-470.
- [7] 杨雪, 魏风军. 基于 CiteSpace 的 PHA 研究进展与热点分析[J]. 包装工程, 2024, 45(1): 81-90.
YANG X, WEI F J. CiteSpace-Based PHA Research Progress and Hot Spot Analysis[J]. Packaging Engineering, 2024, 45(1): 81-90.
- [8] NOSOVA A O, USPENSKAYA M V. The Microplastics Pollution in Agricultural Soils Global Trends and Prospects Research: Bibliometric Analysis[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2023, 1206(1): 012038.
- [9] 严陶韬, 薛建辉. 中国生物多样性研究文献计量分析[J]. 生态学报, 2021, 41(19): 7879-7892.
YAN T T, XUE J H. Bibliometric Analysis of Biodiversity Research Literature in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(19): 7879-7892.
- [10] 陈场, 张泽晋, 王芳, 等. 基于文献计量分析的土壤微生物群落构建研究态势[J]. 生态学报, 2023, 43(16): 6923-6935.
CHEN Y, ZHANG Z J, WANG F, et al. Research Situation of Soil Microbial Community Construction Based on Bibliometric Analysis[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(16): 6923-6935.
- [11] LIU J C, GAO W C, LIU T Z, et al. A Bibliometric Analysis of the Impact of Ecological Restoration on Carbon Sequestration in Ecosystems[J]. Forests, 2023, 14(7): 1442.
- [12] 许智勇, 金安江, 马爱民. 世界食品营养学研究文献计量分析[J]. 中国食品学报, 2023, 23(7): 442-454.
XU Z Y, JIN A J, MA A M. Bibliometric Analysis of Global Trends in Food Nutrition Research[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(7): 442-454.

- [13] FALAGAS M E, PITSOUNI E I, MALIETZIS G A, et al. Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: Strengths and Weaknesses[J]. *The FASEB Journal*, 2008, 22(2): 338-342.
- [14] 晏尔伽, 华薇娜. 基于 Web of Science 数据库中影响因子研究文献的计量分析[J]. *图书与情报*, 2008(1): 70-74.
YAN E J, HUA W N. Quantitative Analysis of Research Literatures on Impact Factor Based on the Web of Science[J]. *Library and Information*, 2008(1): 70-74.
- [15] 关娟娟, 陈爱侠, 卫潇, 等. 基于文献计量分析的多孔碳吸附研究进展[J]. *中国环境科学*, 2022, 42(10): 4676-4687.
GUAN J J, CHEN A X, WEI X, et al. Recent Advances in Porous Carbon Adsorption Based on Bibliometric Analysis[J]. *China Environmental Science*, 2022, 42(10): 4676-4687.
- [16] 高凯. 文献计量分析软件 VOSviewer 的应用研究[J]. *科技情报开发与经济*, 2015, 25(12): 95-98.
GAO K. Research on the Application of Bibliometric Analysis Software VOSviewer[J]. *Sci-Tech Information Development & Economy*, 2015, 25(12): 95-98.
- [17] VAN ECK N J, WALTMAN L. Software Survey: VOSviewer, a Computer Program for Bibliometric Mapping[J]. *Scientometrics*, 2010, 84(2): 523-538.
- [18] 庄贵阳, 朱仙丽. 《欧洲绿色协议》: 内涵、影响与借鉴意义[J]. *国际经济评论*, 2021(1): 116-133.
ZHUANG G Y, ZHU X L. European Green Deal: Contents, Influences and Implications for China[J]. *International Economic Review*, 2021(1): 116-133.
- [19] 曹雅丽. 持续推进工业绿色低碳循环发展“十四五”亟需调整产业结构[J]. *资源再生*, 2021(3): 32-33.
CAO Y L. Continue to Promote the Development of Industrial Green and Low-Carbon Recycling "14th Five-Year Plan" Urgently Need to Adjust the Industrial Structure[J]. *Resource Recycling*, 2021(3): 32-33.
- [20] ŠERÁ J, STLOUKAL P, JANČOVÁ P, et al. Accelerated Biodegradation of Agriculture Film Based on Aromatic-Aliphatic Copolyester in Soil under Mesophilic Conditions[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64(28): 5653-5661.
- [21] 张宏博, 刘焦萍, 赵苏杭, 等. 生物可降解塑料发展现状及展望[J]. *现代化工*, 2023, 43(4): 9-12.
ZHANG H B, LIU J P, ZHAO S H, et al. Development Status and Prospect of Biodegradable Plastics[J]. *Modern Chemical Industry*, 2023, 43(4): 9-12.
- [22] 薛俊海. 可降解塑料的种类和发展现状[J]. *中国标准化*, 2024(2): 87-90.
XUE J H. Types and Development Status of Degradable Plastics[J]. *China Standardization*, 2024(2): 87-90.
- [23] KARAMANLIOGLU M, PREZIOSI R, ROBSON G D. Abiotic and Biotic Environmental Degradation of the Bioplastic Polymer Poly(lactic acid): A Review[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2017, 137: 122-130.
- [24] ZHANG W L, SANI M A, ZHANG Z K, et al. High Performance Biopolymeric Packaging Films Containing Zinc Oxide Nanoparticles for Fresh Food Preservation: A Review[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, 230: 123188.
- [25] DMITRENKO M, KUZMINOVA A, CHERIAN R M, et al. Edible Carrageenan Films Reinforced with Starch and Nanocellulose: Development and Characterization[J]. *Sustainability*, 2023, 15(22): 15817.
- [26] IBRAHIM N I, SHAHAR F S, SULTAN M T H, et al. Overview of Bioplastic Introduction and Its Applications in Product Packaging[J]. *Coatings*, 2021, 11(11): 1423.
- [27] 佚名. 解析生物降解塑料行业市场现状及发展[J]. *中国包装*, 2020, 40(11): 27.
Anon. Analysis on the Market Status and Development of Biodegradable Plastics Industry[J]. *China Packaging*, 2020, 40(11): 27.
- [28] 冯伟丽, 孙锦彩. 生物基薄膜在食品包装材料中的研究进展[J]. *塑料包装*, 2023, 33(6): 5-10.
FENG W L, SUN J C. Research Progress of Bio-Based Films in Food Packaging Materials[J]. *Plastics Packaging*, 2023, 33(6): 5-10.
- [29] 武学坚, 李源源, 郭亚奇. 可降解高分子材料的研究与前景[J]. *山西化工*, 2023, 43(12): 32-33.
WU X J, LI Y Y, GUO Y Q. Research and Prospects of Degradable Polymer Materials[J]. *Shanxi Chemical Industry*, 2023, 43(12): 32-33.
- [30] MIERZWA-HERSZTEK M, GONDEK K, KOPEĆ M. Degradation of Polyethylene and Biocomponent-Derived Polymer Materials: An Overview[J]. *Journal of Polymers and the Environment*, 2019, 27(3): 600-611.
- [31] TENNAKON P, CHANDIKA P, YI M, et al. Marine-Derived Biopolymers as Potential Bioplastics, an Eco-Friendly Alternative[J]. *iScience*, 2023, 26(4): 106404.
- [32] HIRSCH J E. An Index to Quantify an Individual's Scientific Research Output that Takes into Account the Effect of Multiple Coauthorship[J]. *Scientometrics*, 2010, 85(3): 741-754.
- [33] PÉREZ-HORNERO P, ARIAS-NICOLÁS J P, PULGARÍN A A, et al. An Annual JCR Impact Factor

- Calculation Based on Bayesian Credibility Formulas[J]. *Journal of Informetrics*, 2013, 7(1): 1-9.
- [34] ELSABEE M Z, ABDOL E S. Chitosan Based Edible Films and Coatings: A Review[J]. *Materials Science & Engineering C, Materials for Biological Applications*, 2013, 33(4): 1819-1841.
- [35] CAZÓN P, VELAZQUEZ G, RAMÍREZ J A, et al. Polysaccharide-Based Films and Coatings for Food Packaging: A Review[J]. *Food Hydrocolloids*, 2017, 68: 136-148.
- [36] 丁兆坤, 郭荣辉. 壳聚糖的改性研究进展及其应用[J]. *纺织科学与工程学报*, 2024, 41(1): 68-74.
- DING Z K, GUO R H. Research Progress of Chitosan Modification and Its Application[J]. *Journal of Textile Science and Engineering*, 2024, 41(1): 68-74.
- [37] 王保营, 马发来, 康星雅, 等. 氧化微晶纤维素交联壳聚糖复合膜的制备及性能[J]. *包装工程*, 2023, 44(13): 27-34.
- WANG B Y, MA F L, KANG X Y, et al. Preparation and Properties of Oxidized Microcrystalline Cellulose Cross-Linked Chitosan Composite Films[J]. *Packaging Engineering*, 2023, 44(13): 27-34.
- [38] CHEN Q Z, QI Y, JIANG Y W, et al. Progress in Research of Chitosan Chemical Modification Technologies and Their Applications[J]. *Marine Drugs*, 2022, 20(8): 536.
- [39] SALARI M, SOWTI KHIABANI M, REZAEI MOKARRAM R, et al. Use of Gamma Irradiation Technology for Modification of Bacterial Cellulose Nanocrystals/Chitosan Nanocomposite Film[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2021, 253: 117144.
- [40] BRYUZGINA E, YARTSEVA V, BRYUZGIN E, et al. Surface Modification of Film Chitosan Materials with Aldehydes for Wettability and Biodegradation Control[J]. *Polymer Bulletin*, 2023, 80(1): 739-756.
- [41] BURZIC I, PRETSCHUH C, KAINEDER D, et al. Impact Modification of PLA Using Biobased Biodegradable PHA Biopolymers[J]. *European Polymer Journal*, 2019, 114: 32-38.
- [42] TADELE D T, TRINH B M, MEKONNEN T H. PBAT/Corn Zein Ester Blends: Rheology, Morphology, and Physicochemical Properties[J]. *Polymer*, 2023, 283: 126258.
- [43] XU L, ZHENG Z Y, LOU Z C, et al. Preparation of Ultrafine Wheat Straws with Co-Milling and Its Incorporation for Biodegradable Mulch Film Production with Enhanced Performance[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2023, 470: 143978.
- [44] KHEZERLOU A, TAVASSOLI M, ALIZADEH SANI M, et al. Application of Nanotechnology to Improve the Performance of Biodegradable Biopolymer-Based Packaging Materials[J]. *Polymers*, 2021, 13(24): 4399.
- [45] 陈茹, 宋静辉, 李帅, 等. 海藻酸钠-羟乙基纤维素可降解复合膜制备和性能[J]. *化学工程*, 2024, 52(2): 72-77.
- CHEN R, SONG J H, LI S, et al. Preparation and Performance of Sodium Alginate-Hydroxyethyl Cellulose Biodegradable Composite Film[J]. *Chemical Engineering*, 2024, 52(2): 72-77.
- [46] 黄若男, 刘陈梦, 吕俊阁, 等. 聚乙烯醇/维生素 C 复合保鲜膜制备及其对白玉菇品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2024, 45(3): 99-106.
- HUANG R N, LIU C M, LYU J G, et al. Preparation of Polyvinyl Alcohol/Vitamin C Composite Films and Its Effect on Quality of White Hypsizygus Marmoreus[J]. *Food Research and Development*, 2024, 45(3): 99-106.
- [47] 赵玉韩, 王涵, 张宇, 等. 生物基可降解抑菌食品包装膜的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(6): 362-371.
- ZHAO Y H, WANG H, ZHANG Y, et al. Research Progress of Bio-Based Biodegradable Antibacterial Food Packaging Films[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(6): 362-371.