

基于文献计量的纤维素基食品包装膜研究态势分析

任海伟, 徐志航, 郭晓鹏, 张丙云, 潘立超, 范文广*

(兰州理工大学生命科学与工程学院 兰州 730050)

摘要 近年来,纤维素基食品包装膜成为食品包装领域的热点话题。本研究采用文献计量学方法,以 Web of Science 为数据库,以 1985—2020 年间纤维素基食品包装膜为主题进行检索,从发文量、发文国家/地区、发文机构、主要发文期刊和关键词等方面进行系统分析,以期全面了解纤维素基食品包装膜的研究进展和前沿态势。结果表明,全球共有 77 个国家/地区、1 155 个机构对纤维素基食品包装膜开展研究,国际上研究最早始于 1988 年的英国,从 2010 年开始逐渐趋于活跃,研究内容和主题从单一材料成膜、机械性能分析,逐步发展到多功能复合薄膜制备及其保鲜、降解、抑菌能力等应用活性分析。研究领域主要集中在食品包装技术、材料科学、食品安全等方面,尤其是抗菌膜、纳米纤维素、壳聚糖、复合膜、活性包装、机械性能等热点研究代表了纤维素基食品包装膜的研究前沿。

关键词 纤维素基;食品包装膜;文献计量;可视化

文章编号 1009-7848(2022)04-0462-09 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.04.045

塑料包装材料因可塑性强、密封性好、轻便易携带等优点,是食品包装常用的材料之一。然而,近年来随着石油基合成塑料引发的能源消耗、白色污染等能源、环境问题的日益凸显,以及各国政府限塑令、禁塑令等政策的相继推出,使得具有良好机械性能、可天然降解的绿色高分子复合材料备受关注^[1-2]。其中,植物纤维原料不仅具有来源广泛、价格低、无毒、无臭、通气性能好等优点,而且使用后能够完全自然降解,被认为是替代石油基塑料产品的理想选择。研究表明,植物纤维类包装材料大多来源于富含纤维组分的农作物残渣或食品加工副产物,特殊的纤维素分子结构赋予其优异的材料性能,有序分子顺序和完整的晶体形状使其具有良好的成膜特性,是一种很好的制膜材料^[3-4]。

纤维素基膜是以纤维素及其衍生物为基材,如纤维素或半纤维素、微晶或纳米纤维素、细菌纤维素及其改性产品等,根据使用目标来选择构建组分,通过合理的结构设计来完成膜材料制备^[5-6]。康星雅^[7]利用流延法制备了具有良好拉伸能力和阻隔性能的纤维素纳米晶/羧甲基纤维素复合膜。

Sirviö 等^[8]采用溶剂浇铸法制备得到具有较高氧阻隔性、光透性和良好机械强度,能抑制金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的阳离子木材纤维薄膜。Bansal 等^[9]通过对甘蔗渣提取的纳米纤维素纤维进行改性,并与壳聚糖共混制备得到具有良好抗菌性能的复合膜。Hai 等^[10]利用竹纳米纤维和几丁质制备了一种热稳定性好、拉伸强度适宜、可完全生物降解的新型纳米复合材料。Feng 等^[11]利用细菌纤维素制备获得对单核球增生李斯特菌有明显抑制作用的复合膜。王婷婷等^[12]将竹红菌素负载于细菌纤维素/壳聚糖复合材料上,制备得到具有抗菌功能的纳米纤维素膜。可见,纤维基复合材料已广泛用于食品保鲜及抗菌包装材料、活性包装材料以及高阻隔包装材料中。然而,目前的研究成果尚缺乏对该领域的系统性梳理,对国内外研究热点、特征和发展路径尚缺乏足够认知^[13]。及时总结国内外纤维素基食品包装膜研究领域的发展脉络,理清研究现状,进而把握未来研究方向就显得极为必要。

文献计量学是描述、评价和预测某学科领域的科技现状与发展趋势最为直接的分析方法,能有效避免常规方法总结文献资料时主观性强、缺乏基于量化方法对文献进行系统总结的缺陷,已被广泛用于农业^[14]、生态^[15]、环境^[16]、食品科学^[17]等诸多领域的态势分析。与此同时,运用数学和统计学方法对大量科学文献进行分析解读,能够帮助

收稿日期: 2021-08-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(31960491);甘肃省自然科学基金项目(20JR10RA159)

作者简介: 任海伟(1983—),男,博士,教授

通信作者: 范文广 E-mail: fanwenguang_88@163.com

读者客观地了解该领域的发展趋势、研究热点和最新动态^[18]。本研究借助文献计量学方法,运用 CiteSpace 进行科技文本挖掘及可视化分析,对国内外纤维素基食品包装膜的研究成果进行梳理,以期更好地反映该领域最新研究态势和热点前沿,从而为从事相关研究的科研人员和机构提供参考。

1 文献计量分析方法

文献数据来源于 Web of Science (WoS) 核心合集,检索式:(cellulose OR “cellulose-based”) AND (film) AND (food),设置检索年份为1985—2020,对近35年来发表的纤维素基食品包装膜的研究文献进行检索,文献语种为 English。检索时间为2021年7月31日,共检索到1499篇文献。

按照文献类型和文献语种进一步精简筛选检索结果,WoS 中选择文献类型为 Article 最终筛选出符合要求的 WoS 核心合集中1285篇,借助文献计量在线分析平台 (<https://bibliometric.com>) 和 CiteSpace 软件进行国家/地区合作关系分析和可视化关键词分析。

2 结果与分析

2.1 发文量与变化趋势

发文量是评价某研究领域发展态势的重要指标之一,一定程度上可以反映该研究领域的发展趋势和关注程度^[19]。图1汇总了纤维素基食品包装膜研究领域的 WoS 核心合集数据库中文献数量的年度变化趋势。通过 WoS 核心合集数据库分析,有关纤维素基食品包装膜的研究最早开始于1988年,英国 Castle 等^[20]学者首次分析了再生纤维素膜中软化剂(乙二醇、二甘醇)在食品中的迁移程度和迁移规律。该时期处于初步探索期(1985—2000),研究文献从无到有,发文量始终处于较低值,年均发文数量为个位数。2000年之后发文数量才开始稳步升高,研究进入活跃增长期,2000—2010年间共计发表文献92篇。2010年之后进入快速增长期,发文数量增速明显,呈爆炸式增长趋势,尤其在2020年的发文数量高达334篇,可以看出,WoS 核心数据库中的发文量逐年持续上升,说明纤维素基食品包装膜的研究在国际

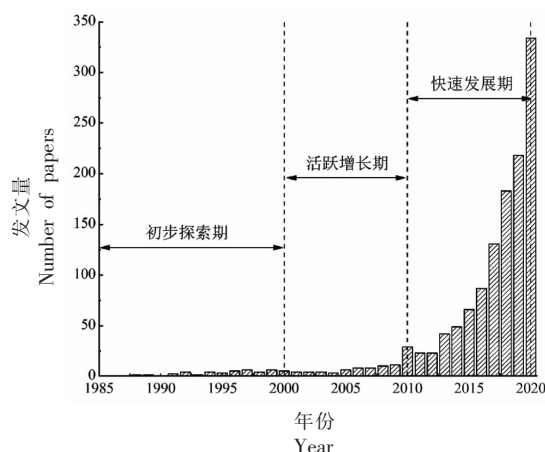


图1 1985—2020年纤维素基食品包装膜领域的发文量变化趋势

Fig.1 Distribution trends on the cellulose-based food packaging films from 1985 to 2020

上备受关注。

2.2 国家及机构分析

2.2.1 国家和地区 表1为WoS核心合集中的主要发文国家/地区分布。全球共有77个国家/地区开展了相关研究,其中文献发表数量排名前10位的国家依次为中国(China)、美国(USA)、巴西(Brazil)、伊朗(Iran)、西班牙(Spain)、意大利(Italy)、印度(India)、加拿大(Canada)、法国(France)、韩国(South Korea)。中国发文总数(298篇)居于首位,是第2名美国(142篇)的2倍,H指数也相对较高达到39,不仅体现了我国学者在该领域发表文献的数量、规模和被引量等综合影响力,而且也说明了我国学者较高的科技水平。从篇均被引次数来看,法国学者的篇均被引次数位居世界首位(≥ 60),其次是西班牙(≥ 40),意大利和韩国紧随其后(≥ 30)。虽然我国学者的发文数量相对较高,但篇均被引用数仅为19.58,说明我国学者研究成果的国际影响力和传播关注度还需进一步提升。

利用 CiteSpace 可视化软件分析1985—2020年全球各国(地区)之间的合作关系。由图2可以看出,意大利、西班牙、芬兰、瑞典等欧洲国家的合作比较密切,中国虽然在该领域的研究贡献较大,但国际合作相对较少,主要是与美国、加拿大的合作较为密切,未来仍需加强与欧洲相关研究机构

表 1 1985—2020 年纤维素基食品包装膜领域发文量排名前 10 的国家分布

Table 1 Top 10 countries on the number of publications in the field of cellulose-based food packaging films from 1985 to 2020

序号	国家	发文量/篇	总被引/次	篇均被引/次	H 指数
1	中国	298	5 834	19.58	39
2	美国	142	4 140	29.15	32
3	巴西	120	3 741	29	31.18
4	伊朗	101	2 982	29.52	31
5	西班牙	86	3 678	42.77	31
6	意大利	82	3 208	39.12	28
7	印度	78	1 341	17.19	22
8	加拿大	59	1 607	27.24	22
9	法国	56	3 403	60.77	30
10	韩国	50	1 579	31.58	21



图 2 1985—2020 年纤维素基食品包装膜领域全球各国之间的合作关系

Fig.2 Global partnerships between countries in the field of cellulose-based food packaging films from 1985 to 2020

的合作。

2.2.2 WoS 文献发表机构分布 表 2 是 1985—2020 年 WoS 核心合集中主要研究机构的分布情况。在发文量排名前 10 位的机构中,中国机构有 4 所,其中江南大学和华南理工大学分别以发文量 34 和 33 篇位居前列;意大利有佩鲁贾大学和米兰大学 2 所;伊朗有阿扎德大学和乌尔米耶大学 2 所。其中,意大利佩鲁贾大学的发文量排名第 1,文献数量高达 37 篇。

从表 3 总被引频次排名前 10 的发文机构来看,中国仅有东北林业大学入围,意大利佩鲁贾大学以总被引 347 次位居第 1。虽然韩国的研究机构

表 2 1985—2020 年纤维素基食品包装膜领域发文量排名前 10 的研究机构

Table 2 Top 10 research institutions on the number of articles in the field of cellulose-based food packaging films from 1985 to 2020

序号	机构	发文量/篇	总被引/次	篇均被引/次
1	佩鲁贾大学 (University of Perugia)	37	347	9.38
2	米兰大学 (University of Milan)	34	85	2.50
3	江南大学 (Jiangnan University)	34	32	0.94
4	华南理工大学 (South China University of Technology)	33	34	1.03
5	西班牙高等科研理事会委员会 (Spanish National Research Council)	30	259	8.63
6	东北林业大学 (Northeast Forestry University)	30	121	4.03
7	阿扎德大学 (Islamic Azad University)	29	84	2.90
8	清迈大学 (Chiang Mai University)	26	110	4.32
9	乌尔米耶大学 (Urmia University)	25	111	4.44
10	浙江理工大学 (Zhejiang Sci-Tech University)	24	84	3.50

未能进入发文量前 10 位,但韩国的木浦国立大学和庆熙大学分别以总被引 275 次和 105 次位居世界第 2 和第 10,说明韩国学者在该领域的研究成果具备较高的影响力和认可度。

表 3 1985—2020 年纤维素基食品包装膜领域总被引用频次排名前 10 的研究机构
Table 3 Top 10 research institutions on the total citations in the field of cellulose-based food packaging films from 1985 to 2020

序号	机构	总被引/次	发文量/篇	篇均被引/次
1	佩鲁贾大学 (University of Perugia)	347	37	9.38
2	木浦国立大学 (Mokpo National University)	275	20	13.75
3	西班牙科学研究最高委员会 (Spanish National Research Council)	259	30	8.63
4	阿里坎特大学 (The University of Alicante)	197	15	13.13
5	沙希德·贝赫什提医科大学 (Shahid Beheshti University)	123	8	15.38
6	东北林业大学 (Northeast Forestry University)	121	30	4.03
7	瓦伦西亚理工大学 (Universidad Politcnica de Valencia)	121	12	10.08
8	乌尔米耶大学 (Urmia University)	111	25	4.44
9	清迈大学 (Chiang Mai University)	110	26	4.32
10	庆熙大学 (KyungHee University)	105	17	6.18

2.3 WoS 主要期刊分布

期刊分布能在一定程度上反映出某一研究领域在文献发表方面的集中度,也是反映发展现状的重要指标。表 4 汇总了纤维素基食品包装膜领域发文量最多的 10 种期刊。在 1985—2020 年 WoS 核心合集纤维素基食品包装膜领域的总计 1 285 篇文章中,有 137 篇发表在《Carbohydrate Polymers》上,占比 10.66%,是发表文献最多的期刊,而且该期刊的影响因子最高 (IF=9.381);《International Journal of Biological Macromolecules》

期刊排在第 2 位,发文量高达 104 篇,占比 8.09%;排在第 3 位的是《Food Hydrocolloids》,发文量为 69 篇,占比 5.60%。从篇均被引次数来看,虽然《Journal of Food Science》的总发文数量相对较低,但其篇均被引次数最高,《Carbohydrate Polymers》和《Food Hydrocolloids》紧随其后。可见,上述几种期刊在纤维素基食品包装膜的研究中具有较高影响力,读者可以通过集中阅读这几种期刊来达到快速、准确了解该领域的目的。

表 4 1985—2020 年纤维素基食品包装膜领域发文量排名前 10 的期刊
Table 4 Top 10 journals on the number of articles published in the field of cellulose-based food packaging films from 1985 to 2020

序号	期刊	发文量/篇	占比/%	影响因子	篇均被引/次
1	Carbohydrate Polymers	137	10.66	9.381	5.26
2	International Journal of Biological Macromolecules	104	8.09	6.953	2.35
3	Food Hydrocolloids	72	5.60	9.147	4.67
4	Cellulose	55	4.28	5.044	2.60
5	Food Packaging and Shelf Life	37	2.87	6.429	0.97
6	Polymers	35	2.72	4.329	0.49
7	Journal of Applied Polymer Science	33	2.56	0.892	1.21
8	LWT – Food Science and Technology	28	2.17	4.952	4.07
9	Journal of Food Science	25	1.94	3.167	5.88
10	Journal of Agricultural and Food Chemistry	21	1.63	5.279	3.62

2.4 关键词分析

图3是WoS核心数据库中2010—2020年全球纤维素基食品包装膜研究的主要关键词分布。由于1985—2009年期间的发文量较少且不具有显著的代表性,因此基于文献计量学分析原则,选择2010—2020年间数据文本进行关键词分析。由图3可知,出现频次最高的关键词依次为food packaging(食品包装)、mechanical properties(机械特征)、chitosan(壳聚糖)。

对WoS核心合集数据库中的2833个关键词进行共现分析,对含义重复的词组进行合并、去除,选择关键词聚类,筛选出频次排名前6的关键词聚类。如图4a所示,排名前2位的Food packaging(食品包装)、Packaging(包装)代表该领域始终围绕食品包装这一基本方向进行研究。Pectin(果胶)、Cellulose(纤维素)均为天然高分子物质,在文献报道中主要作为基础原料参与复合薄膜的构建,同时也反映出该研究领域绿色环保、可再生、可持续的生态特点。Intelligent packaging(智能包装)、Active packaging(活性包装)是近几年提出的2新型包装理念^[21]。智能包装是指那些在通信和营销功能方面具有增强功能的包装系统,例如向消费者提供关于产品实际质量的动态反馈^[22]。活性包装是一种经过人为设计的包装系统,在包装材料中添加某些物质使其能够参与到包装过程中来,进而达到既定的目的和要求^[23]。其中,为了抑制食品中微生物带来的不利影响而添加的抗菌

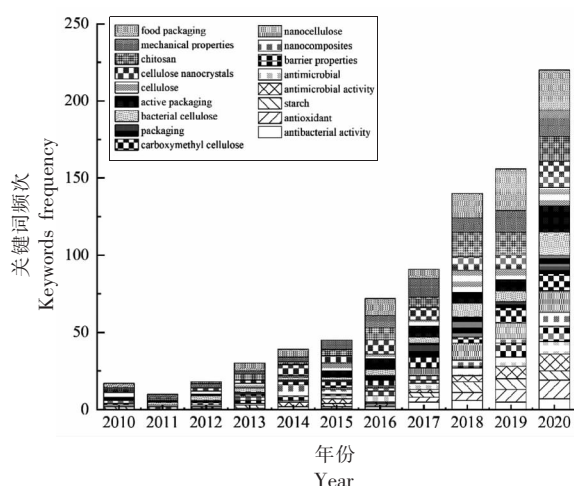


图3 WoS全球纤维素基食品包装膜研究主要关键词分布(2010—2020)

Fig.3 Distribution of main keywords in WoS global cellulose-based food packaging film research (2010—2020)

剂颇受国内外学者关注。抑菌膜的主要制备方法包括:1)通过加入各种金属(银、锌)颗粒或金属氧化物【二氧化钛(TiO_2)、氧化锌(ZnO)、二氧化硅(SiO_2)和氧化镁(MgO)】来破坏微生物细胞结构进而达到抗菌目的;2)采用本身就具有抗菌能力的原材料(壳聚糖等)来制备薄膜;3)将提取的蜂胶、肉桂精油等天然物质结合到膜制备过程。

另一方面,关键词的突现强度能反映出研究领域的热点特征,向上具有阐述性,向下具有统领

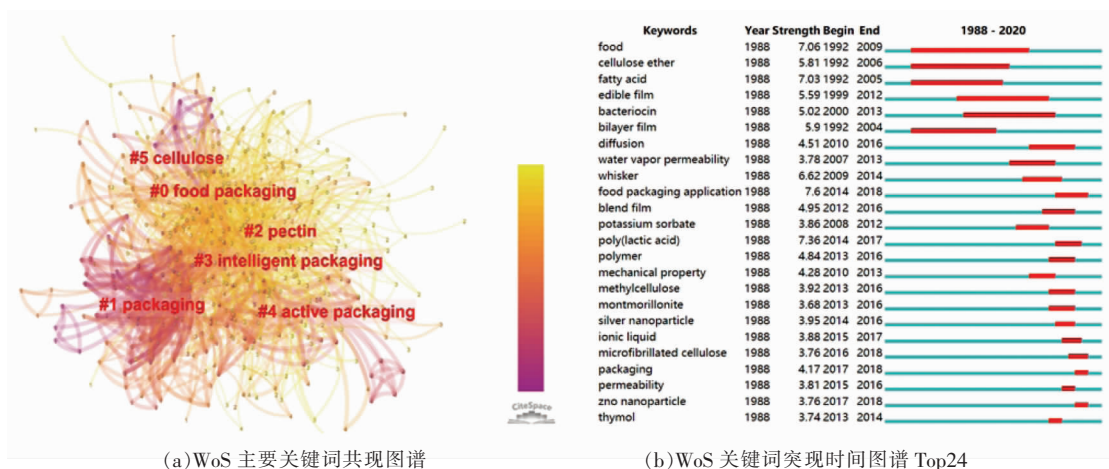


图4 基于Citespace的WoS关键词分析图

Fig.4 Keyword analysis diagram of WoS based on Citespace

全文的作用,承载着最核心的信息,是掌握全文的关键,而相似性、关键程度较高的关键词还能通过聚类形成研究主题^[24],有助于了解该领域的研究热点。Food (食品)、Cellulose ether (纤维素醚)、Fatty acid (脂肪酸)等关键词持续时间较长,代表了该领域主要的研究内容。由图 4b 可知,2010—2018 年关键词变化最为剧烈,数量急剧增多,说明该研究领域正逐渐步入深水区,尤其是近几年随着 Food packaging application (食品包装应用)、Microfibrillated cellulose (微纤化纤维素)、Diffusion (扩散)等主题和指标的不断更新,使纤维素基食品包装膜的研究逐渐从制膜工艺优化转向多功能、实用性复合薄膜的应用。

2.5 高被引文章分析

文章的被引用次数在一定程度上能反映出研究领域的热点和潮流,高被引文章说明其成果在

该领域有较大的影响力或可见性^[25]。引用次数可能与发文时间、主题热度、发文期刊有关^[26]。结合 WoS 数据库分析,被引次数最高的文章为 Gontard 等^[27]于 1992 年发表的《Edible Wheat Gluten Films: Influence of the Main Process Variables on Film Properties using Response Surface Methodology》,被引次数为 636 次,然而由于其年代久远,在被引方面具有一定的局限性。为准确反映高被引文献发表情况,本文选择 2015—2020 年高被引文章(表 5)进行分析,发现前 5 篇高被引文章中有 2 篇来自韩国的 Shankar 教授,研究内容包括膜的制备工艺、物理性能测定和抑菌能力测定。总体而言,大部分研究内容还停留在制膜工艺与性能测定层面,实际应用还不是研究主体,这也给本领域科研工作者提供了新的研究增长点。

表 5 基于 WoS 的高被引文章 Top 5(2015—2020)
Table 5 Top 5 highly cited articles based on WoS database in 2015 to 2020

序号	作者	年份	国家	总被引/次	期刊	研究内容
1	Azeredo 等 ^[28]	2017	巴西	195	《Industrial Crops and Products Industrial》	总结了纳米纤维素在食品包装(包括活性包装)中使用生物基材料的研究结果和预期应用
2	Shankar 等 ^[29]	2015	韩国	193	《Food Hydrocolloids》	研究了明胶和纳米氧化锌复合薄膜的物理性能和抑菌性能
3	Arrieta 等 ^[30]	2015	意大利	187	《Carbohydrate Polymers》	熔融共混制备食品包装的光学透明增塑聚乳酸基生物纳米复合薄膜
4	Shankar 等 ^[31]	2016	韩国	162	《Carbohydrate Polymers》	由微晶纤维素制备纳米纤维素并测试其对琼脂基复合膜性能的影响
5	Jebel 等 ^[32]	2016	伊朗	146	《Carbohydrate Polymers》	采用细菌薄膜纤维素和纳米氧化锌混合制备薄膜并进行物理性能和抑菌测试

3 结论与展望

天然纤维素及其衍生物均具有良好的成膜特性,且含有活跃的羟基基团和特殊的网络结构,能够与抑菌剂、抗氧化剂等功能活性物质高效结合,形成具有一定功能活性的包装膜材料。本文基于文献计量学,通过对比分析 WoS 核心合集数据库中纤维素基食品包装膜的文献资料,得出以下结论:

1) 纤维素基食品包装膜的研究虽然始于 1988 年,但直到近 5 年才得到飞速发展,成为国

际社会关注的研究热点,这与当下全球范围内日益突出的能源环境、食品安全等问题密切相关。意大利佩鲁贾大学在该领域的研究处于国际领先地位,中国学者的发文数量虽位居世界前列,但篇均被引次数的排名表现尚不突出,有待进一步扩大影响力,提升成果质量。

2) 由于天然纤维素分子以 β -(1,4) 糖苷键将大量葡萄糖单元相连接而组成线性大分子结构,内部链间分布有多个羟基活性基团,基团之间极强的氢键相互作用导致纤维素存在溶解性差、

分解温度低、熔点高、对水分子的阻隔性较差等缺陷,限制了在食品包装中的应用。通过物理、化学、生物或其它组合方法对天然纤维素进行改性处理,可降低纤维素分子间极性,提高纤维素衍生物及共聚物的溶解度与稳定性,使纤维素具有特定功能,进而最大限度发挥其应用价值,拓宽纤维素在食品包装领域的应用,这也是今后的发展方向。

3) 未来的食品包装材料要求更加安全、智能且具有一定活性,因此基于成膜基材添加某种功能性物质,使膜具有一定活性功能(如抗氧化、抑菌、防紫外线、鲜度指示)和不同特性的智能包装材料、活性包装材料,也是未来食品包装材料的研究重点。

4) 基于纤维素及其衍生物制备的食品包装膜材料,除了研究其自身的可降解性、功能活性之外,还应加强材料的阻透性、力学性能及稳定性能的研究,这是纤维素基食品包装材料能否被产业化应用的关键。

致谢:

本文得到了兰州理工大学 2021 年研究生科研探索项目(一种生物可降解“绿色”抗菌薄膜的研发制备)的支持,在此表示感谢!

参 考 文 献

- [1] ASGHER M, QAMAR S A, BILAL M, et al. Bio-based active food packaging materials: Sustainable alternative to conventional petrochemical-based packaging materials[J]. Food Research International, 2020, 137: 109625.
- [2] JEYA JEEVAHAN J, CHANDRASEKARAN M, VENKATESAN S P, et al. Scaling up difficulties and commercial aspects of edible films for food packaging: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 100: 210-222.
- [3] LIU Y, AHMED S, SAMEEN D E, et al. A review of cellulose and its derivatives in biopolymer-based for food packaging application[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 112: 532-546.
- [4] ZHANG W, ZHANG Y, CAO J, et al. Improving the performance of edible food packaging films by using nanocellulose as an additive[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 166: 288-296.
- [5] 陈璐. 纤维素基可降解抑菌食品包装材料的研究及应用进展[J]. 包装工程, 2021, 42(5): 1-12.
CHEN L. Research and progress of cellulose-based biodegradable and antibacterial food packaging materials[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(5): 1-12.
- [6] SILVA F, DOURADO F, GAMA M, et al. Nanocellulose bio-based composites for food packaging[J]. Nanomaterials (Basel), 2020, 10(10): 2041.
- [7] 康星雅. 纤维素纳米晶/羧甲基纤维素复合膜的制备及性能[J]. 纤维素科学与技术, 2020, 28(3): 32-38.
KANG X Y. Preparation and properties of cellulose nanocrystalline/carboxymethyl cellulose composite film[J]. Journal of Cellulose Science and Technology, 2020, 28(3): 32-38.
- [8] SIRVIÖ J A, ISMAIL M Y, ZHANG K, et al. Transparent lignin-containing wood nanofiber films with UV-blocking, oxygen barrier, and anti-microbial properties[J]. Journal of Materials Chemistry A, 2020, 8(16): 7935-7946.
- [9] BANSAL M, CHAUHAN G S, KAUSHIK A, et al. Extraction and functionalization of bagasse cellulose nanofibres to Schiff-base based antimicrobial membranes[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 91: 887-894.
- [10] HAI L, CHOI E S, ZHAI L, et al. Green nanocomposite made with chitin and bamboo nanofibers and its mechanical, thermal and biodegradable properties for food packaging[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 144: 491-499.
- [11] FENG Y, YIN N, ZHOU Z, et al. Physical and antibacterial properties of bacterial cellulose films supplemented with cell-free supernatant enterocin-producing *Enterococcus faecium* TJUQ1[J]. Food Microbiology, 2021, 99: 103828.
- [12] 王婷婷, 曹秀明, 魏取福, 等. 竹红菌素纳米纤维膜的制备及其光敏抗菌性能研究[J]. 化工新型材料, 2021, 49(11): 289-293.
WANG T T, CAO X M, WEI Q F, et al. Preparation and photodynamic antibacterial properties of hypocrellin nanofibrous membrane[J]. New Chemical Materials, 2021, 49(11): 289-293.
- [13] RODRÍGUEZ-ROJAS A, ARANGO OSPINA A, RODRÍGUEZ-VÉLEZ P, et al. What is the new

- about food packaging material? A bibliometric review during 1996–2016[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 85: 252–261.
- [14] OCHOA–NORIEGA C A, AZNAR–SÁNCHEZ J A, VELASCO–MUÑOZ J F, et al. The use of water in agriculture in Mexico and its sustainable management: A bibliometric review[J]. *Agronomy*, 2020, 10(12): 1957.
- [15] IRFAN M, LIU X, HUSSAIN K, et al. The global research trend on cadmium in freshwater: A bibliometric review[J/OL]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11356-021-13894-7>.
- [16] ZHANG J, JIANG L, LIU Z, et al. A bibliometric and visual analysis of indoor occupation environmental health risks: Development, hotspots and trend directions[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 300: 126824.
- [17] 陈颖. 基于文献计量的食品真伪鉴别研究态势分析[J]. *中国食品学报*, 2016, 16(6): 174–186.
- CHEN Y. A bibliometric analysis on technology innovation of food authentication[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2016, 16(6): 174–186.
- [18] 郭丽娜. 颠覆性研究文献计量识别方法述评[J]. *数字图书馆论坛*, 2020(3): 17–24.
- GUO L N. A review of disruptive work and its bibliometric identification methods[J]. *Digital Library Forum*, 2020(3): 17–24.
- [19] 严陶韬. 中国生物多样性研究文献计量分析[J]. *生态学报*, 2021(19): 1–14.
- YAN T T. Bibliometric analysis of research progress on biodiversity in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021(19): 1–14.
- [20] CASTLE L, CLOCK H R, CREWS C, et al. The migration of propylene–glycol, monoethylen, diethylene, and triethylene glycols from regenerated cellulose film into food[J]. *Z Lebensm Unters Forsch*, 1988, 187(5): 463–467.
- [21] CAMPOS–REQUENA V H, RIVAS B L, PÉREZ M A, et al. Release of essential oil constituent from thermoplastic starch/layered silicate bionanocomposite film as a potential active packaging material[J]. *European Polymer Journal*, 2018, 109: 64–71.
- [22] MIHINDUKULASURIYA S D F, LIM L T. Nanotechnology development in food packaging: A review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2014, 40(2): 149–167.
- [23] NUR HANANI Z A, AELMA HUSNA A B, NURUL SYAHIDA S, et al. Effect of different fruit peels on the functional properties of gelatin/polyethylene bilayer films for active packaging[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2018, 18: 201–211.
- [24] 韩雪莹. 中国沙漠研究进展与热点分析: 基于Vosviewer和Citespace的图谱量化分析[J]. *中国沙漠*, 2021, 41(2): 153–163.
- HAN X Y. Research progress and hotspot analysis of sand barrier in China quantitative analysis of atlas based on Vosviewer and Citespace[J]. *Journal of Desert Research*, 2021, 41(2): 153–163.
- [25] 周钰. 基于Citespace对抗食物过敏研究领域的可视化分析[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(6): 366–374.
- ZHOU Y. Visualization analysis of anti food allergy research based on Citespace[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(6): 366–374.
- [26] 王曰芬. 文献计量法与内容分析法的综合研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2007.
- WANG Y F. A synthetic research of bibliometric method and content analysis method[D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2007.
- [27] GONTARD N, GULBERT S, CUQ J L. Edible wheat gluten films: Influence of the main process variables on film properties using response surface methodology[J]. *Journal of Food Science*, 1992, 57(1): 190–195.
- [28] AZEREDO H M C, ROSA M F, MATTOSO L H C. Nanocellulose in bio–based food packaging applications[J]. *Industrial Crops and Products*, 2017, 97: 664–671.
- [29] SHANKAR S, TENG X N, LI G B, et al. Preparation, characterization, and antimicrobial activity of gelatin/ZnO nanocomposite films[J]. *Food Hydrocolloids*, 2015, 45: 264–271.
- [30] ARRIETA M P, FORTUNATI E, DOMINICI F, et al. Bionanocomposite films based on plasticized PLA–PHB/cellulose nanocrystal blends[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2015, 121: 265–275.
- [31] SHANKAR S, RHIM J W. Preparation of nanocellulose from micro–crystalline cellulose: The effect on the performance and properties of agar–based composite films[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 135:

- 18–26.
- [32] JEBEL F S, ALMASI H. Morphological, physical, antimicrobial and release properties of ZnO nanopar-

ticles-loaded bacterial cellulose films[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 149: 8–19.

Analysis of Research Situation for Cellulose-based Food Packaging Film Based on Bibliometric Evaluation

Ren Haiwei, Xu Zhihang, Guo Xiaopeng, Zhang Bingyun, Pan Lichao, Fan Wenguang*
(School of Life Science and Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050)

Abstract In recent years, cellulose-based food packaging films have become a hot topic in the food packaging sector. The research progress and the latest development situation on the cellulose-based food packaging film in 1985 to 2020 was investigated systematically by bibliometric analysis method and relevant analysis software based on the Web of Science database, in terms of number of articles published, country/region of publication, institution of publication, main journal of publication and keywords, etc. The results showed that the cellulose-based food packaging films were studied in 77 countries/regions and 1 155 institutions in the world. The pioneer research started in England in 1988 and became active in 2010. The research content and subject have been evolved from single material film-forming and simple mechanical property testing to multi-functional composite film preparation and its application performance analysis of fresh-keeping, degradation and bacteriostasis. The research focuses on food packaging technology, materials science, food safety, etc. Especially, the antimicrobial film, nanocellulose, chitosan, composite film, active packaging and mechanical properties represents the research frontier of cellulose-based food packaging film.

Keywords cellulose-based; food packaging; bibliometric; visualization