

CiteSpace 对淀粉基塑料研究进展的 可视化计量分析



徐梓航¹, 王知瀚¹, 刘雨蒙^{1,*}, 刘亚琳¹, 宁月婷¹, 孙梓皓², 赵媛², 陈嘉洲¹

¹ 青岛科技大学高分子科学与工程学院, 山东青岛 266061

² 青岛科技大学化工学院, 山东青岛 266061

摘要: 淀粉基生物降解塑料一般是改性淀粉与生物降解聚酯的共混物, 它能够完全生物降解, 可堆肥, 因具有对环境无污染, 废弃物适合堆肥、填埋等诸多优点一直受到社会青睐。本文通过文献计量的研究方法, 检索 2013-2023 年 Web of science 数据库中有关淀粉基塑料研究的相关文献信息, 采用 CiteSpace 计量分析软件可视化分析近十年间相关文献中关键词、发文量、高被引频次、合作关系及共词聚类等信息变化趋势, 剖析近年来淀粉基塑料领域的研究态势, 总结阐述可降解塑料的研究现状、进展和研究热点。分析结果表明, 淀粉基塑料材料是一个新兴的材料研究领域, 自 2020 年起发文量迅速增长, 2019-2022 年间的发文量约占研究期内总量的 76%, 相关研究多刊载在 ACS NANO, ADVANCED FUNCTIONAL MATERIALS, NANOSCALE 等期刊上, 具有较高的学术研究价值。淀粉基塑料的热点研究领域多集中于聚乳酸材料及其机械性能等方面。各种不同的研究热点之间联系十分密切, 有较强的关联性和互补性。

关键词: 生物聚合物; 淀粉基塑料; 天然填料; 玉米淀粉

DOI: 10.57237/j.mater.2024.02.001

Visual Econometric Analysis of Research Progress on Starch Based Plastics by CiteSpace

Zihang Xu¹, Zhihan Wang¹, Yumeng Liu^{1,*}, Yalin Liu², Yueting Ning², Zihao Sun², Zhao Yuan², Jiazhou Chen¹

¹ School of Polymer Science and Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China

² Chemical Engineering Institute, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China

Abstract: Starch-based biodegradable plastic is generally modified starch and biodegradable polyester blend, it can be completely biodegradable, can compost, no pollution to the environment, waste suitable for composting, landfill and many other advantages have been favored by the society. Through the bibliometric research method, retrieve the Web of science database in 2013-2023, using CiteSpace measurement analysis software visual analysis in the relevant literature keywords, publications, high cited frequency, cooperation and word clustering information change trend, analyze the research situation in the field of starch based plastics in recent years, summarizes the research status, progress and research hotspot of biodegradable plastics. The analysis results show that starch-based plastic materials is an emerging material research field, and the number of publications has increased rapidly since 2020. From 2019 to 2022, the publications accounted for about

*通信作者: 刘雨蒙, 12090348944@163.com

76% of the total in the research period. Related studies are mostly published in ACS NANO, ADVANCED FUNCTIONAL MATERIALS, NANOSCALE and other journals, and have high academic research value. The hot research fields of starch-based plastics mostly focus on polylactic acid materials and their mechanical properties. A variety of different research hotspots are very closely related, with strong correlation and complementarity.

Keywords: Biopolymers; Starch Based Plastics; Natural Fillers; Corn Starch

1 引言

淀粉基塑料的研发对取代传统石油基塑料，扩大在农业生产和生活等方面的应用有重要意义。由于淀粉本身存在结构缺陷，在热加工和生产使用时均受到了局限。[5]近年来，人们通过制备热塑性淀粉实现了淀粉的热加工，并通过改性的手段提高了热塑性淀粉的性能。目前，以淀粉为原料，经过改性或共混的方法制备的生物可降解材料及其应用存在成本较高、市场竞争能力较弱和社会认可程度较低等缺，相关产业化进程仍处于起步阶段。[1]

淀粉是地球上产量仅次于纤维素的天然高分子，它来源丰富、可再生、价格低廉，通过改性塑化可用于生产淀粉基塑料。[2]淀粉基塑料作为生物基材料中的一个重要品类，已经成功实现产业化生产和应用。淀粉基塑料是以淀粉为主要原材料，经过改性塑化后再与其它聚合物共混加工而成的一种塑料产品，属于生物塑料的一种。[3]淀粉基生物塑料可分为生物基塑料和生物降解塑料两大类。[4]

淀粉是一种天然高分子聚合物，其分子中含有大量羟基（分子结构为 II 和 III），因此淀粉大分子间相互作用力很强，导致原淀粉难以熔融加工，而且在和其他聚合物共混加工中和其他聚合物的相容性也差。[5]但这些羟基能够发生酯化、醚化、接枝、交联等化学反应。[6]利用这些化学应对淀粉进行化学改性，减少淀粉的羟基、改变其原有的结构，从而改变淀粉相应的性能，把原淀粉变成热塑淀粉。[7]

淀粉基生物降解塑料一般是改性淀粉与生物降解聚酯（如 PLA/PBAT/PBS/PHA/PPC 等）的共混物，它能够完全生物降解，可堆肥，对环境无污染，废弃物适合堆肥、填埋等处理方式。[8]以淀粉为基础的生物基塑料一般是改性淀粉与聚烯烃（如 PP/PE/PS 等）的混合物，它的环保意义在于能够减少石化资源的使用，减少二氧化碳排放，废弃物适合焚烧处理。[9]这两种材料都可以代替传统石油基塑料，广泛用于塑料包装

材料、防震材料、塑料膜及塑料袋、一次性餐饮具、食品容器、玩具等。[10]

2 数据来源和研究分析方法

2.1 数据来源

本文数据基于 Web of Science（WOS）核心合集数据库，设置检索时间为出版日期的 2013 年 1 月 1 日至 2023 年 1 月 1 日，检索式为”Starch based plastics”，共检索得到 500 篇相关文献。以记录内容为“全记录与引用的参考文献”的纯文本文件格式进行导出，以此为样本进行分析。[11]

2.2 研究方法

将数据导入 CiteSpace 后，利用“Remove Duplicates”进行文献去重分析，可得 200 篇均独立的来源于 WOS 的文献，其中据统计独立的实体（Unique Entities）如表 1 所示。再利用所得数据，通过 Excel 进行年发文量柱状图的绘制（表 1 统计的独立实体的及数量）。作者的发文量、作者合作关系等分析均以论文中所列出的全部作者为准，即将同一篇论文中所有作者列入分析。国家、地区和机构的归属按照论文标注的所有位置进行统计。使用 CiteSpace 6.2.R3 (64-bit) Basic 版本进行可视化分析。通过“Author”、“Institution”、“Country”、“Keyword”、“Cited Author”以及“Cited Journal”等节点，进行作者、机构、国家、关键词、作者共被引、期刊共被引的可视化分析。

表 1 统计的独立实体及数量

类别	数量
Articles 文章	200
Journals 期刊	103
Authors 作者	926
Institutions 机构	539
Countries/Regions 国家/地区	73

3 基于 CiteSpace 的可降解塑料文献研究的可视化分析

3.1 发文量

统计 2013-2023 年 Web of Science 核心合集数据库中塑料在可降解方面的研究的年发文量（图 1），2017-2020 年间 WOS 数据库的发文量缓慢上升，可降解塑料研究处于初步发展阶段；2021-2022 年间与可降解塑料相关文章的发文量大幅上升，表明研究热度持续升高，可降解塑料的优异性能已被发掘。其中 2020-2021 期间发文量增长率达到惊人的 95.8%，研究属于快速发展阶段，其中 2021 年发表的相关文章达到最多，说明近两年关于可降解塑料的研究理论正在进行当中，研究热度持续高涨。

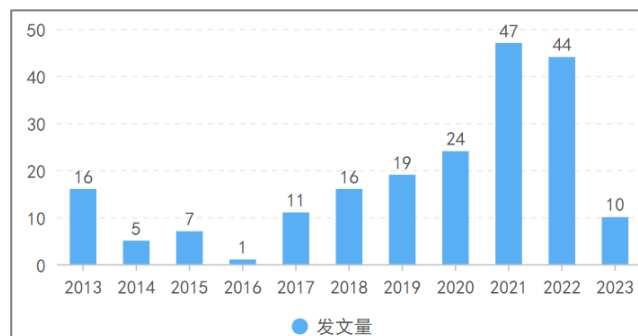


图 1 2013-2023 年淀粉基塑料研究文献年发文量

3.2 机构与国家的发文情况

通过 CiteSpace 软件对发文作者的所属机构进行分析，发现在 2013-2023 年间发文作者分布在 539 个机构中。发文数量排名前 10 的机构如表 2 所示，其中 Univ Sao Paulo 总发文量最多。

表 2 发文量前 10 机构

排名	机构	数量	占比/ %
1	Univ Sao Paulo 圣保罗大学	7	1.30
2	South China Univ Technol 华南科技大学	5	0.93
3	Islamic Azad Univ 伊斯兰阿扎德大学	4	0.74
4	Clemson Univ 克莱姆森大学	4	0.74
5	Univ Malaya 马来亚大学	4	0.74
6	Jiangnan Univ 江南大学	4	0.74
7	Univ Putra Malaysia 马来西亚普特拉大学	4	0.74
8	Univ Queensland 昆士兰大学	3	0.56
9	Univ Cattolica Sacro Cuore 意大利天主教圣心大学	3	0.56
10	Lublin Univ Technol 卢布林科技大学	3	0.56



图 2 研究机构合作关系图

经 CiteSpace 统计相关发文所属国家/地区共 51 个，发文量排名前 11 的国家/地区如表 3 所示。整体发文量较少，没有完整的研究体系。中国在可降解塑料方面研究发文量最多，占比 17%，这与中国高校、科研机构众多以及从事相关方向的科研人员多有较大关系，同时在淀粉基塑料方面研究发文量整体数量较多，中国机构的联系密度很强。[12]与 USA、ITALY、CANADA、JAPAN、BRAZIL 相比在基础研究、技术方面已经出现部分领先，相关领域已经有了较大的发展，研究也较深入。在国家/地区关系图(图 3)中能够看得到 N=51，E=101，另一方面，从中心度观察，中心度值大于等于 0.1 的节点被视为关键性的节点，这些节点通常被视为导致研究领域发生变化的重要因素。并且中心度相比于研究机构合作关系的中心度大很多，表明国家/地区

之间对于淀粉基塑料方面研究联系比机构之间的联系要变的更加密切。[13]

表 3 发文量前 10 国家/地区

排名	国家	数量	占比/%
1	PEOPLES R CHINA 中华人民共和国	34	0.17
2	INDIA 印度	24	0.12
3	USA 美利坚合众国	21	0.11
4	BRAZIL 巴西联邦共和国	20	0.10
5	ITALY 意大利共和国	18	0.09
6	MALAYSIA 马来西亚	13	0.07
7	POLAND 波兰	13	0.07
8	MEXICO 墨西哥	10	0.05
9	FRANCE 法国	9	0.04
10	AUSTRALIA 澳大利亚	8	0.04

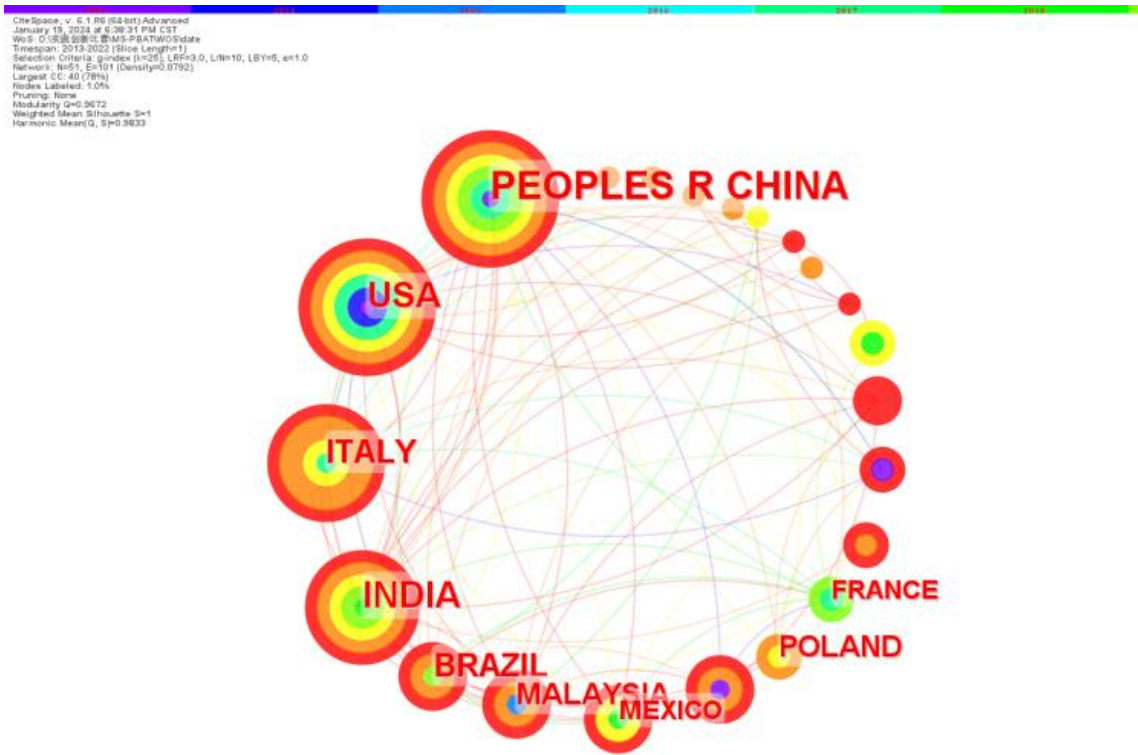
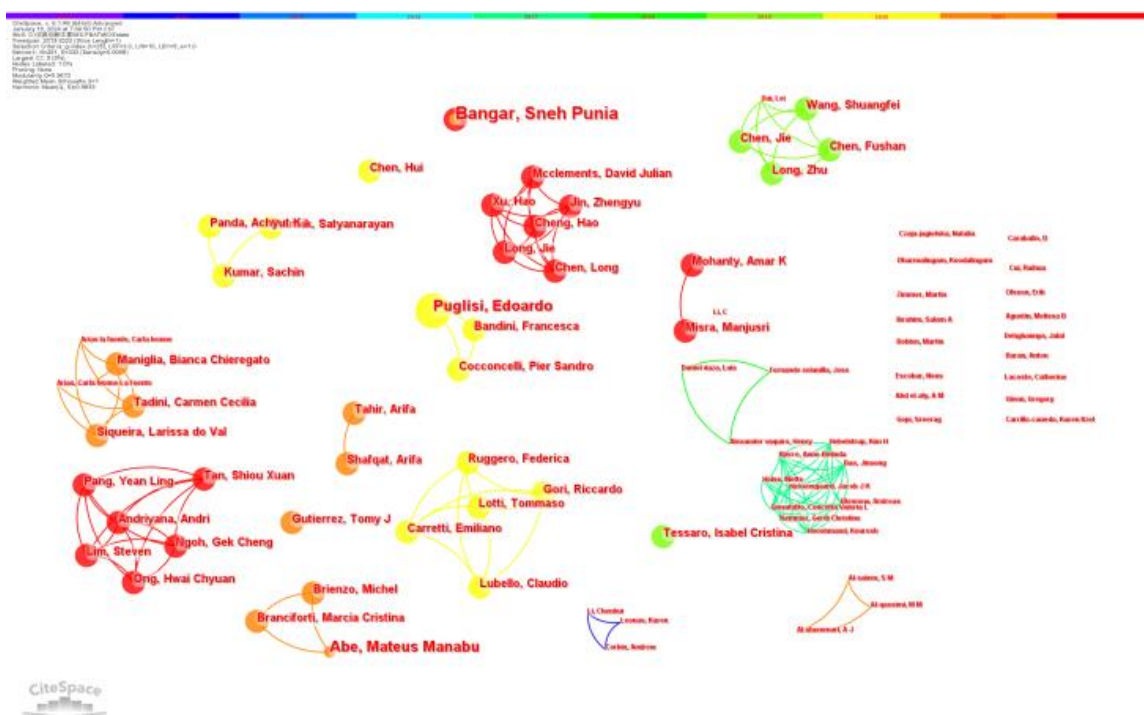


图 3 国家/地区合作关系图

3.3 研究领域作者的分析

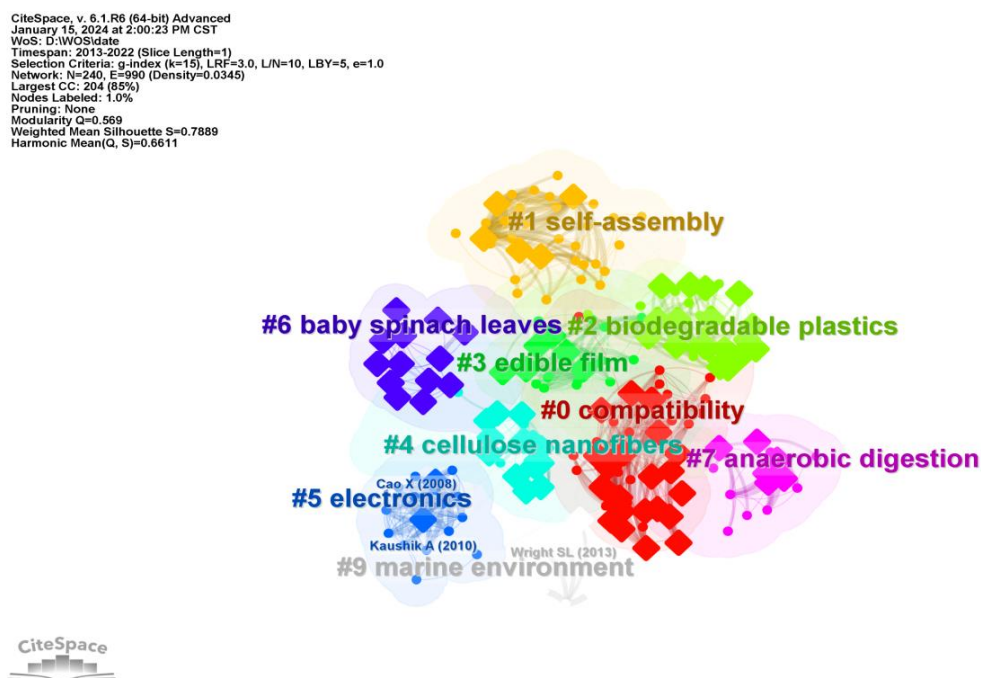
图 4 中的节点大小代表作者所发表的论文数目，连线则代表相互的协作关系。通过对该领域发文作者统计分析，可以得到对该领域有较大的贡献者和作者之间的联系情况。数据显示，2013-2023 年该领域的发文作者形成合作网络，图型显示，该领域的发文作者

形成 261 个节点和 332 条连线的合作网络，密度 Density 为 0.0098。这表明近 10 年来，共有 261 位作者在该研究领域发表论文，但作者之间的合作关系较分散，处于独立研究的状态较多。整体发文数量较为平均，大家还处于研究的初级阶段，领域合作关系较为紧密，该领域的研究力量处于比较分散的状态，各个学者之间联系需要密切。



3.4 关键词聚类分析

关键词是文章高凝练的点,从根本上反应文章的主要内容,出现频率越高的关键词则说明在此研究方面占据着越高的地位。基于Citespace软件可视化分析“Biodegradable plastics”研究中的关键词,共有240个关键词,其中频次出现20次以上的关键词共有96个。如图5所示被分为了9个聚类,且同一聚类的关联性较大。



首先来说, L. Egghe 提出 g 指数, 作为 H 指数的改进, 说明作者热门文章的表现等。 g 指数对引频非常敏感。在关键词的聚类分析和时间线图分析, 采用将 Selection Criteria 中的 g -index 由默认值 25 改为 15 的方法照顾到了低被引文章, 同时控制了高被引文章的作用。

通过对关键词的研究, 可以得到文章的强调的核心内容与突出内容。CiteSpace 是通过算法将关系紧密的关键词进行聚类, 给每个关键词一个值, 同一聚类中值最大的为该类别的代表, 并给它进行标签。如**错误!未找到引用源。**所示关键词的聚类是利用 CiteSpace 在 pathfinder 剪切算法中简化关键词网络并凸显出其重要的结构特征绘制而成的。由图知 $Q=0.569>0.4$ 的聚类结构是显著的, $S=0.7889>0.7$ 的聚类是高效率令人信服的, 分析可得, 关键词可分为 9 类, 分别为: 兼容性、自组装、可降解生物塑料、纤维素、纳米纤维、可使用薄膜、厌氧氧化、电子、海洋环境。从中可以了解到可生物降解塑料的相关研究是比较多的, 并且围绕淀粉基塑料的研究也相当火热。

第一类聚类出现频次较高的关键词有 polylactic acid (聚乳酸)、polyvinyl alcohol (聚乙烯醇)、microplastic (塑料微粒)、Biodegradable plastics (生物降解塑料)、edible film (可食性膜) 等, 这一部分主要是对淀粉基塑料原料和机理的研究。研究表明, 聚乳酸 (PLA) 是生态环境聚合物的重要组成之一, 具有易成型、高强度、高模量、生物相容性较好等特点, 在薄膜、包装领域、生物医疗、纤维纺丝、3D 打印耗材等领域中应用广泛。李桂丽在可降解塑料聚乳酸共混增韧改性进展一文中提出与弹性体或柔性聚合物共混是增韧 PLA 的有效方法。PLA 作为连续相, 使共混材料力学强度保持在较高水平; 柔性聚合物或弹性体作为分散相, 受到外力作用时能引发大量微裂纹/银纹, 抑制或减缓裂纹扩张速率, 具有增韧作用。R. A. Iiyas 在 "Natural Fiber-Reinforced Polylactic Acid, Polylactic Acid Blends and Their Composites for Advanced Applications" 一文中提出与其他生物聚合物相比, PLA 具有许多优点, 包括环保, 即可生物降解、可堆肥和可回收。PLA 生产消耗二氧化碳, 它来自可再生资源, 如甘蔗、玉米、土豆、木薯、小麦和大米。在几个月到几年内, PLA 通过水解乳酸分解为水, 一氧化碳和腐殖质, 被微生物代谢而发生。Urayama 等人发现, 在土壤中放置 20 个月后, PLA 板的分子量降低了 20%。Teixeira 等人认为, PLA 的降解不仅受试样结晶度、分

子量、试样形态、分子结构等特性的影响, 还受周围环境条件的影响。此外, PLA 的表面具有很强的渗透性。因此, 自然界中的微生物很容易进入, 有助于 PLA 的快速自然分解。此外, PLA 具有通过水解或醇解回收乳酸的能力, 因此使 PLA 成为一种有吸引力的生物聚合物选择。

第二类聚类出现频次较高的关键词有 mechanical behavior (机械性能)、self-assembly (自组装)、biodegradation (生物降解)、tensile strength (拉伸强度)、thickness (厚度)、anaerobic digestion (厌氧消化) 等, 这一部分主要是对淀粉基塑料的性能的研究。而其中一个典型的研究热点是对淀粉基料力学性能的研究, 王礼建在共混技术在淀粉塑料中的应用研究进展一文中提出聚乳酸 (PLA) 是一种热塑性、高强度、高弹性模量的脂肪族聚酯, 它有着良好的力学性能、生物相容性和成型加工性能。目前, PLA/淀粉共混物的主要研究方向是改善亲水性的淀粉颗粒与疏水性的 PLA 之间的界面相容性。以甲基丙烯酸缩水甘油酯接枝的聚(乙烯辛烷)(GPOE)作为增容剂制备 PLA/TPS (热塑性淀粉) 共混物。研究指出, GPOE 能够提高 PLA 和 TPS 之间的相容性, 随着 GPOE 含量的增加, 共混物的力学性能提高, 且当 GPOE 含量为 10%~15% (质量分数) 时, 共混物的力学性能显著提高, 冲击强度达到 10 MPa。团队利用接枝共聚物增容方法将马来酸酐 (MAH) 接枝到 PLA 上, 然后与甘油塑化的 TPS 共混。同未增容的 PLA/TPS 共混物相比, 分散相 TPS 的颗粒尺寸由 5~30 μ m 减小到 1~3 μ m, 体系的断裂伸长率由 5%~20% 提高到 100%~200%, 材料的脆性得到很大改善。将环氧化的天然橡胶 (ENR) 加入 PLA/淀粉 (80/20) 共混物中, 通过环氧基起到了增容作用。当 ENR 含量为 5% 时, 共混物的拉伸强度和断裂伸长率最高。

3.5 关键词时间线图谱

通过对时间线图谱的研究可以演绎可降解塑料方面的研究的演进脉络并预测未来发展趋势, 并且通过多维呈现聚类 and 关键词信息, 将同年份的热点按时间顺序进行排列并集合在指定区域, 有助于研究者了解重要关键词演进的时间路径。在图谱中, 圆表示关键词节点, 圆越大说明对应主题出现的频次越高。节点年轮颜色及厚度表示出现时段, 即圆内色环越厚, 表

明该颜色对应年份出现的频次越高。由图错误!未找到引用源。得到淀粉基, 可生物降解, 疏水性, 食品包

装等近十年来一直有人研究,其中“生物可降解塑料”、“生物降解”等关键词与其他聚类中的关键词联系密切。

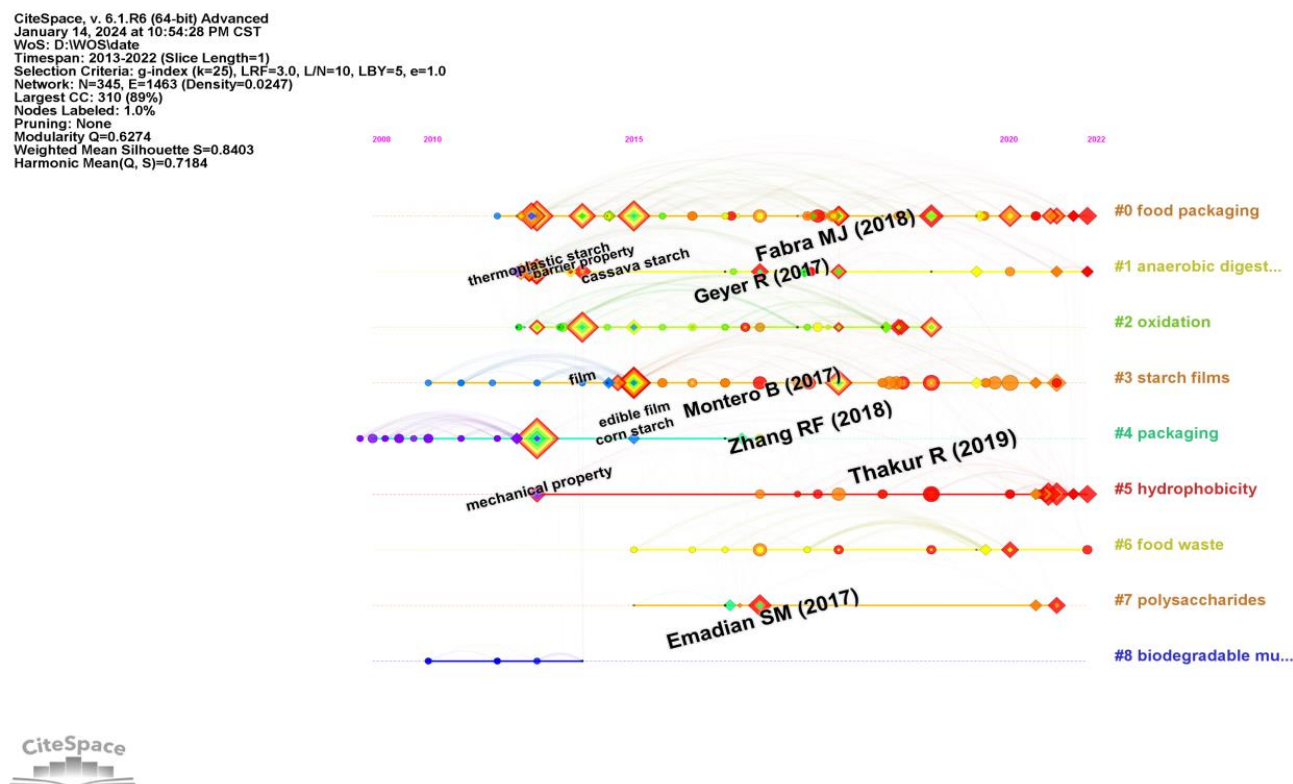








图 6 关键词时间线谱图

3.6 关键词突显分析

通过关键词的突显分析,可以得到在统计时间内某个特定时间段内某个词的运用频次,反映该特定时间内的研究前沿和随时间发展的历史演变情况。如表 4 Top 24 Keywords with the Strongest Citation Bursts, 分析引用爆发最强的前 24 个关键词可知对于淀粉基塑料的物理化学性质研究最为广泛,且作为研究前沿持续时间为 2015 年至 2020 年。研究人员会选择可降解淀粉基材料的原料,这些原料可以来自植物、动物或微生物等。常见的淀粉基塑料材料包括聚乳酸(PLA)、

聚羟基烷酸酯（PHA）、聚乙烯醇（PVA）等。研究人员进一步会研究不同的聚合方法，以获得高质量的淀粉基塑料。同时对所得到的淀粉基塑料进行物理性质和机械性能的测试和分析，包括密度、熔融流动性、热稳定性、拉伸强度和断裂韧性等方面的评估。并且进行降解性能的评估，以了解材料在不同环境条件下的降解速率和机制。这可以通过体外和体内的实验来进行，监测塑料的质量损失、分子结构变化和降解产物的生成等。此外，还有一些标准和测试方法可以用来评估淀粉基塑料的降解性能，如 ISO 14852 和 ASTM D5988 等。

表 4 Top 24 Keywords with the Strongest Citation Bursts

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2013 - 2022
citric acid	2013	1.17	2013	2017	
biodegradable mulch film	2014	1	2014	2018	
chemical composition	2015	1.21	2015	2017	
blend film	2017	0.67	2017	2018	
antimicrobial activity	2017	0.67	2017	2018	
barrier property	2014	1.36	2018	2019	
blend	2013	1.24	2018	2019	

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2013 - 2022
accumulation	2018	1.02	2018	2019	
cassava starch	2015	0.91	2018	2019	
biocomposite	2014	0.86	2018	2020	
acid	2018	0.81	2018	2019	
thermoplastic starch	2013	0.64	2018	2019	
biodegradable polymer	2013	0.48	2018	2019	
physical property	2019	1.85	2019	2020	
potato starch	2015	1.85	2019	2020	
barrier	2013	1.85	2019	2020	
baked foam	2019	0.92	2019	2020	
bionanocomposite film	2019	0.92	2019	2020	
acid	2019	0.92	2019	2020	
water	2019	0.44	2019	2020	
nanocomposite	2020	1.02	2020	2022	
antioxidant property	2020	0.63	2020	2022	
bag	2020	0.63	2020	2022	
active packaging	2020	0.57	2020	2022	

4 结束语

淀粉基可降解塑料满足减量化、再资源化、无害化等可持续发展要求，作为环境友好型材料，可有效缓解传统塑料制品所造成石油资源匮乏、土壤的污染、地下水资源污染、白色污染等问题。因而淀粉基可降解塑料的研究意义重大，在全球都提倡绿色发展的前提下，如果淀粉基可降解塑料可以取代传统的塑料，将为中国环境保护工作做出巨大贡献。[14]

聚乙烯醇（PVA）分子上含有大量的羟基，是一种可水溶、可水解降解的环境友好材料，它具有较好的力学性能，能弥补全淀粉材料的不足。目前，对于该类共混材料，研究大多集中于增塑剂和交联剂对共混材料性能的影响。[15]增塑剂的相对分子质量和体积较小，能够自由进入淀粉和 PVA 分子的空隙，使分子间的距离增大，破坏淀粉、PVA 的氢键和结晶结构，进而提高材料的断裂伸长率，降低拉伸强度和结晶度。周向阳等比较了甘油、乙二醇、乙酰胺 3 种增塑剂对 PVA/淀粉共混物流动性能、力学性能的影响[16]。由于乙酰胺结构单元上的酰胺基团与淀粉、PVA 分子上羟基强的相互作用，有效改善共混体系的加工流动性能，使乙酰胺增塑的共混物的熔融指数低于乙二醇、甘油增塑的共混物[17]。氯化钙能破坏淀粉、PVA 原有分子内及分子间的氢键，提高了分子运动能力，改善了流动性，降低了 PVA/淀粉共混薄膜的玻璃化转变温度。交联处理能有效提高 PVA/淀粉共混材料两相之间的相容性以及材料的力学性能。[18]采用紫外辐照的方法，

对热塑性 PVA/淀粉共混薄膜进行表面交联。表面交联使共混膜的亲水特性发生改变，降低含水量和溶胀度，提高耐水性能。采用溶液浸泡方法制备了交联 PVA/淀粉共混薄膜。[19]结果发现，交联后材料的耐水性能提高，拉伸强度和弹性模量也增大，但断裂伸长率降低。戊二醛能够与 PVA 分子上的羟基发生反应，生成交联网状结构，提高了共混膜的拉伸强度和弹性模量，降低了断裂伸长率。[20]对于 PVA/淀粉共混材料，交联处理能有效提高淀粉与 PVA 的相容性以及力学性能。

参考文献

[1] 胡晓兰, 梁国正. 生物降解高分子材料研究进展 [J]. 化工新型材料, 2002, (03): 7-10.

[2] Zhong Y, Godwin P, Jin Y, et al. Biodegradable polymers and green-based antimicrobial packaging materials: A mini-review [J]. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 2020, 3(1): 27-35.

[3] Hanashiro I. Fine structure of amylose [M]. Nakamura Y. Starch. Tokyo: Springer, 2015: 41- 60.

[4] Steeneken P. Reactivity of amylose and amylopectin in potato starch [J]. Starch-Stärke, 1984, 36(1): 13-18.

[5] Case S E, Capitani T, Whaley J K, et al. Physical properties and gelation behavior of a lowamylopectin maize starch and other high-amylose maize starches [J]. Journal of Cereal Science, 1998, 27(3): 301-314.

[6] Banga S, Leea E, Koa Y G, et al. Injectable pullulan hydrogel for the prevention of postoperative tissue adhesion [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 87: 155-162.

- [7] Svihus B, Uhlen A K, Harstad O M. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2005, 122(3-4): 303-320.
- [8] 杨晋辉, 于九皋, 马晓飞. 热塑性淀粉的制备、性质及应用研究进展 [J]. *高分子通报*, 2006, (11): 78-84.
- [9] 李桂丽, 许京生, 冯巧等. 可降解塑料聚乳酸共混增韧改性进展 [J]. *塑料*, 2023, 52(05):
- [10] Battegazzore D, Bocchini S, Nicola G, et al. Isosorbide, a green plasticizer for thermoplastic starch that does not retrograde [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2015, 119: 78-84.
- [11] Masina N, Choonara Y E, Kumar P, et al. A review of the chemical modification techniques of starch [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 157: 1226-1236.
- [12] Lekniute-Kyzike E, Bendoraitiene J, Danilovas P P, et al. A novel way to obtain effective cationic starch flocculants [J]. *Desalination and Water Treatment*, 2016, 57(50): 23728-23738.
- [13] Zhu J, Lu K, Liu H, et al. Influence of moisture content on starch esterification by solventfree method [J]. *Starch-Stärke*, 2021, 73: 7-8.
- [14] Simsek S, Ovando-Martínez M, Whitney K, et al. Effect of acetylation, oxidation and annealing on physicochemical properties of bean starch-science direct [J]. *Food Chemistry*, 2012, 134(4): 1796-1803.
- [15] 李燕, 曹朵, 贾凤安, 等. 生物基可降解塑料及其在农业领域的研究进展 [J]. *应用化工*, 2020, 49(9): 2397-2440.
- [16] 闫美珍. 疏水化改性淀粉/PVA 生物降解塑料地膜的研究 [D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2008.
- [17] 刘秉智. 缓释复合肥料制备工艺研究 [J]. *华工科技*, 2012, 20(1): 16-18.
- [18] 杨月, 陆丹英, 凌静, 等. 交联木薯淀粉对蜜橘涂抹保鲜效果研究[J]. *食品科学*, 2011, 32(6): 275-278.
- [19] 福建农林大学. 一种魔芋葡甘聚糖药片瓶: CN 107236354 A [P]. 2017-07-21.
- [20] 雷俊华. 交联酶制备新型淀粉药物赋性剂及其应用 [D]. 广州: 华南理工大学, 2015.