

基于 CiteSpace 的果蔬壳聚糖保鲜研究热点和可视化分析¹

李俐, 刘亚平*, 王伟, 曹亚楠, 狄建兵, 王愈, 张立新

(山西农业大学·山西省果蔬贮藏保鲜与加工技术创新中心, 山西太谷 030800)

摘要:【目的】为分析壳聚糖在果蔬保鲜中的应用研究热点,【方法】本文基于文献计量学方法,利用 1991-2023 年 CNKI 和 WOS 数据库,对壳聚糖在果蔬保鲜领域的 930 篇中文和 803 篇英文文献进行可视化分析,使用 CiteSpace 作图,分别从年代、作者、机构、国家、研究热点、演进趋势等几个层面进行归纳统计。【结果】结果表明:1991 年到 2023 年发文量整体呈上升趋势,到 2022 年底,中文和英文文献发文量分别为 47 篇和 100 篇,CNKI 数据库发文量排名前三的期刊是《食品工业科技》《食品科学》《食品研究与开发》,WOS 数据库发文量排名前三的期刊是《Food Chemistry》(42 篇)、《Scientia Horticulturae》(41 篇)和《Postharvest Biology And Technology》(39 篇)。发文量排名前 3 的国家是中国、印度、美国。研究机构主要为高校和研究所。研究热点来看,主要集中在壳聚糖复合膜、壳聚糖保鲜机制、与新兴科技手段结合、壳聚糖结合其他处理等领域。【结论】本文对文献的分析总结了目前壳聚糖在果蔬保鲜领域的发展,为后续研究提供帮助。

关键词: 壳聚糖, 果蔬, CiteSpace, 知识图谱, 保鲜, 热点

中图分类号: S66 文献标志码: A 文章编号: 1009-9980(2024)09-0001-08

Research hotspots and visualization analysis of fruit and vegetable chitosan preservation based on CiteSpace

LI Li, LIU Ya Pin*, WANG Wei, CAO Ya Nan, DI Jian Bing, WANG Yu, ZHANG Li Xing

(Shanxi Agricultural University/Shanxi Center of Technology Innovation for Storage and Processing of Fruit and Vegetable, Taigu 030800, China)

Abstract: 【Objective】Fruits and vegetables contain various nutrients and are essential for people's diets. However, post-harvest fruits and vegetables are prone to decay and spoilage, so extending the shelf life of fruits and vegetables has always been a research direction. Chitosan is widely used in fruit and vegetable preservation due to its good biocompatibility, biodegradability, safety, film-forming properties, and antibacterial properties, which can extend the storage period of fruits and vegetables. In recent years, research has reported the successful application of chitosan biofilm in fruit and vegetable preservation. CiteSpace has been used to create a scientific knowledge map of chitosan's application in fruit and vegetable preservation research, and quantitative comparative analysis has been conducted on domestic literature on chitosan's application in fruit and vegetable preservation research. The aim is to grasp the current research status of chitosan's application in fruit and vegetable preservation and provide reference value for future research on chitosan's application in

收稿日期: 2024-04-07 接受日期: 2024-06-19

基金项目: 山西省重点研发计划项(202102140601017)。

作者简介: 李俐, 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 果蔬加工与贮藏。E-mail: 2673855252@qq.com。

*通信作者 Author for correspondence. E-mail: lyp0357@126.com

fruit and vegetable preservation. **【Methods】** This work employs the bibliometric approach to visualize and analyze 930 Chinese and 803 English works of literature from 1991 to 2023. Citespace is used to create graphs, and statistics from various dimensions, including authors, institutions, countries, research hotspots, and evolutionary trends, are summarized.

【Results】 The general pattern of publications from 1991 to 2023 indicates an upward trend in terms of quantity, by the end of 2022, there will be 47 publications in Chinese and 100 publications in foreign languages. The number of publications increased to more than 30 per year in Chinese and more than 80 per year in foreign languages. Science and Technology of Food Industry, Food Science, and Food Research and Development are the top three journals in the CNKI database for publications, while *Food Chemistry* (42 articles), *Scientia Horticulturae* (41 articles), and *Postharvest Biology and Technology* (39 articles) are the top three journals in the WOS database for publications. The writers' distribution indicates that the main authors interact and collaborate closely in the groups they have already formed, exchanging messages regularly. However, generally speaking, there is less cross-institutional cooperation—mostly between single people. Universities and institutes make up the majority of research institutions. Brazil, India, and China are the top 3 nations in terms of publications. The freshness preservation impact, shelf life, edible coating film, and other factors are where domestic and foreign hotspot areas are similar, according to an analysis of the clustering of research hotspots. The foreign literature on chitosan-related research is more extensive, covering topics like microencapsulation and chitosan quaternary ammonium salt. The primary focus of Chinese research hotspots is the impact of chitosan on the freshness preservation and storage quality of fruits and vegetables. Here is a summary of the research hotspots in this area, which fall into the following categories: composite chitosan film, chitosan preservation mechanism, the combination with emerging technological means, chitosan composite treatment, and other fields. Due to its shortcomings—poor moisture barrier, limited air permeability, weak mechanical qualities, etc.—a single chitosan membrane finds it challenging to meet all of the requirements for preserving fresh fruits and vegetables after harvest. The research demonstrates the advantages of several composite antimicrobial membrane types over single chitosan membranes, as well as the notable enhancement of their antibacterial characteristics. In fruit and vegetable preservation, combining chitosan with other treatments is also one of the hotspots for preservation research. Examples of these treatments include the use of chitosan in combination with ethanol and a magnetic field treatment, chitosan and ultrasonic treatment, chitosan and salicylic acid, and chitosan in combination with other treatments, which increase the effect compared to a single treatment. In vitro experiments and complex food matrices have revealed the broad-spectrum antibacterial characteristics of chitosan. Its antimicrobial activity is dependent on its molecular weight, degree of deacetylation, concentration, microorganism, and environmental variables (pH, temperature). Chitosan's antioxidant qualities as a preservative have been proven in vitro, and to some extent, these qualities are favorably connected with the level of deacetylation. Food quality decline is mostly caused by enzymatic reactions, and chitosan can have an impact on enzyme activity. It lessens the amount of fruit and vegetable enzymatic browning that occurs during storage. Lastly, chitosan's barrier quality is critical to the preservation of fruits and vegetables. The chitosan layer not only blocks exogenous microorganisms but also has selective permeability to oxygen and water vapor to a certain extent, which directly affects the shelf life of food. As a result of the increasing use of composite active ingredients and technological integration, the field has grown quickly between 2020 and the present. New developments include the development of layers of self-assembled edible coated films and the polycrystalline phase transition cold burst

phenomenon. Research has also focused more on the preservation mechanism and effective targeted inhibition. Researchers concentrate on the impact of chitosan on the freshness and quality of fruits and vegetables. Other new research hotspots include disease resistance mechanisms, fresh fruits and veggies insurance effect, biopolymer nanoparticles, polysaccharide-based composite film, and others. 【Conclusion】 Because of its special qualities, chitosan has gained a lot of attention in the fruit and vegetable preservation business. Chitosan has a lot of potential for preserving fruits and vegetables, as seen by the good response to its widespread application. The study of chitosan has advanced recently thanks to advancements in science and technology, and current research topics include polysaccharide-based composite membranes, disease resistance mechanisms, preservation mechanisms, layer self-assembled edible coatings, and biopolymer nanoparticles. This paper concluded by summarizing the findings of recent studies on chitosan in the field of fruit and vegetable preservation laying the groundwork and offering support for further research.

Key words: chitosan; fruit and vegetable; CiteSpace; knowledge map; storage; hotspots

果蔬含有各种营养素，是人们饮食的必需品。然而采后的果蔬受到呼吸作用、蒸腾作用、单线态氧的破坏和细菌、霉菌影响容易产生腐烂变质^[1]，因此延长果蔬的保鲜期是一直以来的研究方向。壳聚糖由于具有良好的生物相容性、可生物降解性、安全性、成膜性、抗菌性，可延长果蔬贮藏期，在果蔬保鲜中运用广泛^[2]。上世纪九十年代开始，国内外研究者开展了关于壳聚糖在果蔬保鲜中的研究工作^[3-4]，随着研究的深入，对于壳聚糖的研究不断丰富^[5]。伴随着纳米技术、微胶囊技术、自组装技术等方法学和技术不断发展，壳聚糖保鲜技术迎来了新的发展。这些先进的科技手段为壳聚糖在果蔬保鲜领域的应用提供了更广阔的可能性。纳米材料在改善壳聚糖薄膜的性能方面有巨大潜力。含有微胶囊抗菌复合物的多层食用涂层利用微胶囊技术在提高鲜切菠萝质量方面有效果^[6]。同时，自组装技术是基于带相反电荷的聚合电解质的交替沉积的周期性过程，壳聚糖作为一种聚阳离子多糖被广泛用作膜的成分。总体而言，壳聚糖保鲜技术在不断融合先进的科技手段的同时，为食品保鲜领域带来了更高效、可持续的解决方案。近年来，研究报道了壳聚糖生物基膜在果蔬保鲜中的成功应用，例如草莓^[7]，杏^[8]和胡萝卜^[9]，然而，有关壳聚糖在果蔬保鲜的综述文章仍然较少。

科学知识图谱能够显示科学知识的发展进程和关联差异，CiteSpace 知识图谱有一目了然的鲜明特征，对于某一领域的信息可以全面展示。因此，本文基于 WOS（Web of science）和 CNKI（China national knowledge infrastructure）数据库，运用 CiteSpace 制作壳聚糖在果蔬保鲜运用研究的科学知识图谱，对国内外壳聚糖在果蔬保鲜运用研究领域的文献进行量化对比分析，以期掌握目前壳聚糖在果蔬保鲜运用研究现状，并为未来壳聚糖在果蔬保鲜运用科研提供参考价值。

1 数据来源及研究方法

1.1 数据来源

本研究选择 Web of science (WOS) 数据库和中国知网 (CNKI) 数据库, 数据采集于 2023 年 7 月 1 日。具体的检索条件及获得的文献数见表 1, 为了确保研究的准确性并避免信息的重复, 对筛选出来的文章进行人工筛选, 除去不符合主题的文章, 以提高选用文献的质量和研究的精度。其中, 文献年份为 1991—2023 年。去重后最终获得中文文献 930 篇、外文文献 803 篇, 每条检索记录都包含了所需数据信息。

表 1 数据来源及检索策略

Table 1 Data source and retrieval strategy

数据库 Data base	检索策略 Retrieval strategy	年份 Year	数量 Number
CNKI	标题: ①“壳聚糖 保鲜”	1991—2023	930
Web of science	Title: ①“Chitosan, storage”	1991—2023	803

1.2 研究方法及工具

对检索到的文献统计分析, 文章作图的研究工具是 CiteSpace (版本号: 6.2.R4), 选择作者、国家、机构、发文期刊、关键词、突现词进行文献计量分析, 将分析结果作图导出。发文量趋势图用 Excel 2016 绘制。

2 国内外壳聚糖在果蔬保鲜运用研究的文献统计分析

2.1 年度发文量

图 1 展示了 CNKI 和 WOS 数据库中壳聚糖在果蔬保鲜运用研究文献的年度发文量变化。从图中可以看出该领域的发文数量整体呈上升趋势, 主要可分为三个阶段: a. 在 1991—2005 年间, 该阶段文献数量处于较低水平, 主要原因是壳聚糖在保鲜领域的早期研究处于起步阶段, 研究并发表的文章较少, 每年发文量维持在 15 篇左右。b. 在 2005—2015 年间, CNKI 和 WOS 数据库中壳聚糖在果蔬保鲜运用的相关研究呈现缓慢上升趋势, 期间该领域的研究重点集中在壳聚糖对果蔬贮藏保鲜效果的影响。c. 在 2015—2023 年间, 该阶段保持较高的发文量, 文献数量比之前显著增多且保持稳定, 与壳聚糖保鲜相关的研究不断发展, 研究水平更加深入。2022 年中文文献总发文量为 47 篇, 外文文献总发文量为 100 篇, 中文文献发文量增至每年 30 篇以上, 外文文献增长至每年 80 篇以上。

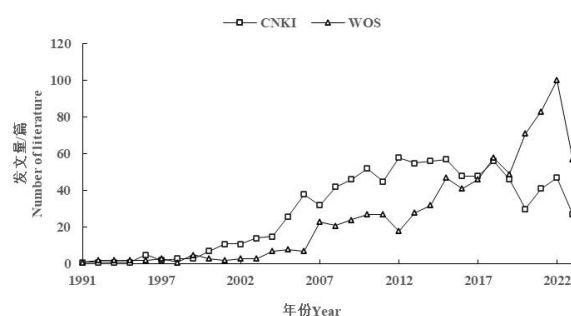


图 1 壳聚糖在果蔬保鲜运用发文量

Fig. 1 Volume of publications of the literatures on chitosan in fruits and vegetables storage

2.2 发文期刊

对壳聚糖在果蔬保鲜运用的相关发文期刊进行统计分析，国内有 296 种不同的期刊发表了相关的研究成果。CNKI 数据库中发文量前十的期刊分别是《食品工业科技》《食品科学》《食品研究与开发》《食品与发酵工业》《食品科技》《食品工业》《北方园艺》《安徽农业科学》《保鲜与加工》《中国食品添加剂》，其中《食品工业科技》和《食品科学》发文量最高，发文量有 54 篇，占比 5.81%。国际有 228 种不同的期刊发表相关的研究成果，发文量前十的期刊分别是《Food Chemistry》、《Scientia Horticulturae》、《Postharvest Biology And Technology》、《LWT-Food Science and Technology》、《Coatings》、《Journal of Food Measurement and Characterization》、《International Journal of Biological Macromolecules》、《Journal of The Science of Food and Agriculture》、《Foods》、《International Food Research Journal》。其中《Food Chemistry》、《Scientia Horticulturae》和《Postharvest Biology And Technology》发文量分别为 42、41 和 39 篇，远高于其他期刊，表明壳聚糖相关的学术质量和影响力受到国际权威杂志认可。

2.3 作者分布

本文通过分析核心作者和作者之间的合作两方面来讨论壳聚糖在果蔬保鲜运用研究作者的分布情况。核心作者通常是指在该领域内频繁发表高质量论文，产生重要学术影响并受到同行认可的一群作者。这些核心作者在特定领域内具有较高的专业知识、经验和研究贡献，其研究成果和观点在学术界具有一定的权威性，对该领域的研究方向和发展趋势产生重要影响。而不同作者之间的合作促进知识交流、加强研究深度，并丰富学术成果。运用 Citespace 软件绘制作者合作分布图。

表 2 CNKI 和 WOS 数据库作者分布情况

Table 2 Distribution of core authors in CNKI and WOS database

排序 Order	WOS		CNKI	
	作者 Author	发文量/篇 Number of publications/articles	作者 Author	发文量/篇 Number of publications/articles
1	Bautista-banos Silvia	6	王明力 Wang Mingli	12
2	Sami Rokayya	6	孙彤 Sun Tong	9
3	Helal Mahmoud	6	励建荣 Li Jianrong	8
4	Magnani Marciane	5	邢亚阁 Xing Yage	7
5	Chen Jinyin	5	郝文婷 Hao Wenting	7
6	Chen Chuying	5	张洪 Zhang Hong	6
7	Ali Asgar	5	林河通 Lin Hetong	6
8	Elhakem Abeer	4	谢晶 Xie Jing	6
9	Xing Yage	4	李亚娜 Li Yana	6
10	Scortichini Marco	4	毛玉涛 Mao Yutao	6

表 2 展示了发文量前十的作者，WOS 数据库中发文量最多的作者是 Bautista-banos Silvia，共发文 6 篇；CNKI 数据库发文量最多的作者是王明力，共发文 12 篇。通过 Citespace 软件制作知识图谱可以清晰展示了外文作者之间的合作网络共现图，图中节点之间的连线代表节点间的合作程度，节点的大小代表发文数量（见图 2）。可知 Alshehry Garsa、Al mushhin、Amina A M、Aljumayi Huda 等形成了一个研究群体，其中节点之间的连接非常紧密，这表明该群体内的作者之间存在着很强的合作研究关系。此外，Rokayya Sami、Jia Fuguo、Elhakem Abeer、Khojah Ebtihal 等也形成了一个研究群体，合作关系紧密。总的来说，目前国际上壳聚糖在果蔬保鲜运用研究形成的群体数量有 16 组，在已经形成的群体中交流合作紧密，但群体和群体之间交流较少。图 3 展现了中文文献作者的合作图谱，目前基本形成了以孙彤、励建荣、郝晗、吴朝凌、张璇、葛永红、谢晶、王明、韩英等为核心的作者群，还形成了以朱丹实、冯叙桥、曹雪慧、刘立岩、杨方威为核心的作者群，核心作者之间的交流非常频繁。但整体而言，跨机构合作较少，多为单个个体。



图 2 外文作者合作分布图

Fig. 2 Distribution of cooperation among foreign authors



图 3 中文作者合作分布情况

Fig. 3 Distribution of cooperation among Chinese authors

2.4 机构分布

国际机构分布：借助软件制作国际机构的合作分布图（图 4），得到埃及知识库、塔伊夫大学、农业农村部位居前三，中国农业科学院和中国热带农业科学院发文量排名靠前。印度农业研究理事会和中国农业科学院有交流合作，与印度蔬菜研究所交流密切，尽管图谱存在分散的节点，但基本形成了一个网络，有十多个团体进行交流，团体间也有合作。

国内机构分布：由图 5 可知，中国农业大学、上海海洋大学和西南大学是国内排名前三的机构。中国农业大学关注点为壳聚糖减缓果实采后衰老的潜在机制^[10]，上海海洋大学关注点为壳聚糖复合膜的制备和应用^[11]，西南大学关注点为复合涂膜保鲜效果及机制研究^[12]。在合作关系方面，有 25 组节点存在合作关系，在图中，我们可以观察到大多数机构之间的联系呈现出分散而精细的特点，多数情况下是两到三个节点之间建立了合作关系。这些机构之间的合作相对集中在同一城市或同一部门，形成了一种紧密而局部的协作模式。如贵州大学和贵州省分析测试研究院、海南大学和海南省热带园艺产品采后生理与保鲜重点实验室等；从机构的合作研究情况看，地域近的合作关系好。

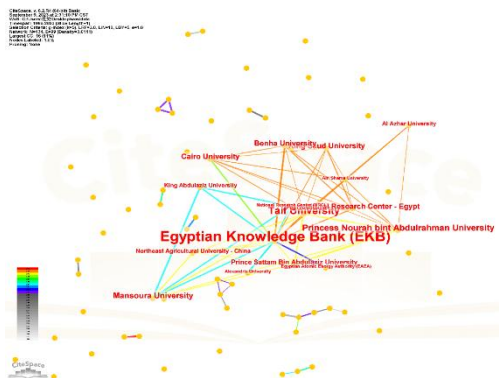


图 4 国际机构分布

Fig. 4 Distribution of international institutions

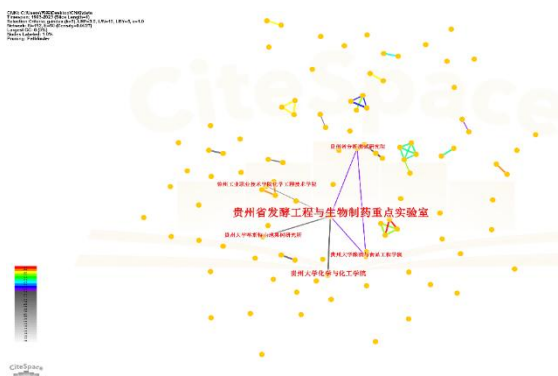


图 5 国内机构分布

Fig. 5 Distribution of Chinese institutions

2.5 国家分布

国家合作图谱如图 6 展示了全球国家/地区合作关系，各国家间合作交流研究紧密，其中中国、印度、美国、巴基斯坦等国家展现出较大的节点，表明这些国家研究体量较大，文献数量较多。



图 6 国家分布

Fig. 6 Country distribution

经统计文献发表国家来源得到表 3，表 3 展示了排名前八的国家发文量。由表可知，中国的发文数量多（218 篇），占发文总量的 27.1%，反映出我国学者对于壳聚糖在果蔬保鲜领域的运用研究关注度较高，重视相关的研究发展；其次是印度，发文量为 58 篇，占发文总量的 7.2%；第 3 名是巴西，发文量为 52 篇，占发文总量的 6.5%。

表 3 排名前 8 位的国家发文量

Table 3 The top 8 countries in terms of volume

排序 Order	国家 Country	发文量 Number of published papers
----------	------------	--------------------------------

1	中国 CHINA	218
2	印度 INDIA	58
3	巴西 BRAZIL	52
4	伊朗 IRAN	51
5	美国 USA	49
6	意大利 ITALY	48
7	埃及 EGYPT	35
8	墨西哥 MEXICO	32

3 壳聚糖在果蔬保鲜运用研究热点与演进趋势分析

3.1 研究热点聚类分析

为了挖掘研究的热点，采用了关键词共现的方法。文章中的关键词是对文章主题的精炼，它反映了文章的核心思想。因此，可以通过统计关键词的出现频次和进行聚类分析，来更好地了解这个研究领域的焦点问题。由关键词聚类图谱（图 7）可知，形成了 8 类热点词聚类，modularity Q 值为 0.44，说明聚类图谱符合要求；silhouette S 值为 0.74，说明聚类结果具有高信度（表 5），显示出聚类效果不错。其中，#1（edible coating）聚集于壳聚糖涂膜是壳聚糖目前最广泛的应用形式，#4（food packaging）和#6（chitosan coating）聚焦于壳聚糖涂膜作为果蔬包装的应用，#7（nanostructure）和#0（antioxidant activity）聚焦于壳聚糖涂膜在果蔬保鲜方面的机制研究，#2（botrytis cinerea）聚焦于灰霉菌与壳聚糖在果蔬方面的保鲜相关联。

表 4 外文文献壳聚糖在果蔬保鲜运用研究热点聚类

Table 4 Clustering of research hotspots of chitosan in fruits and vegetables storage in foreign literature

聚类号 Cluster number	包含节点个数 Number of contained nodes	轮廓值 Contour value	平均年份 Mean year	聚类名称 Cluster name
#0	31	0.641	2014	抗氧化活性 Antioxidant activity
#1	22	0.664	2013	可食用涂层 Edible coating
#2	22	0.857	2004	灰霉菌 Botrytis cinerea
#3	21	0.635	2008	葡萄糖酸钙 Calcium gluconate
#4	21	0.545	2009	食品包装 Food packaging
#5	15	0.843	2012	凝固 Coagulation
#6	12	0.918	2007	壳聚糖涂层 Chitosan coating

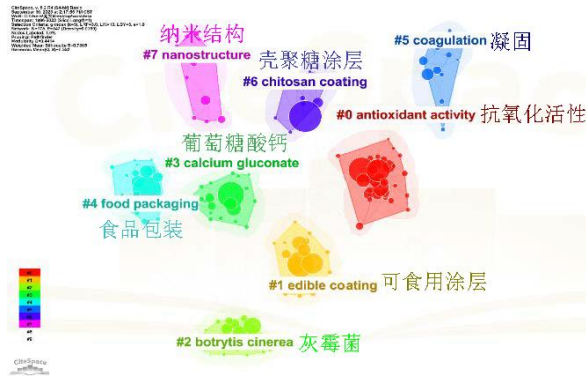


图 7 外文文献壳聚糖在果蔬保鲜运用研究的热点词聚类

Fig. 7 Clustering of hot words in chitosan in fruits and vegetables storage research in foreign literature

关键词聚类图谱（图 8）显示了 7 类聚类，对图中结果进行分析，结果见表 5。经过聚类分析计算，模块化 $Q=0.5427 > 0.3$ 、 $S=0.8738 > 0.5$ ，数据显示聚类是有效的，通过聚类分析，得到 7 个聚类模块，#2（贮藏品质）和#4（品质）聚焦于壳聚糖对果蔬品质的影响，#0（涂膜）聚焦于壳聚糖作为涂膜在果蔬保鲜方面的应用，#5（复合膜）聚焦于壳聚糖和其他物质复合作为膜材料在果蔬保鲜上的应用，#6（保鲜剂）聚焦于壳聚糖作为保鲜剂在果蔬保鲜上的应用。各聚类间有较小程度的重叠，可见聚类区分明显。

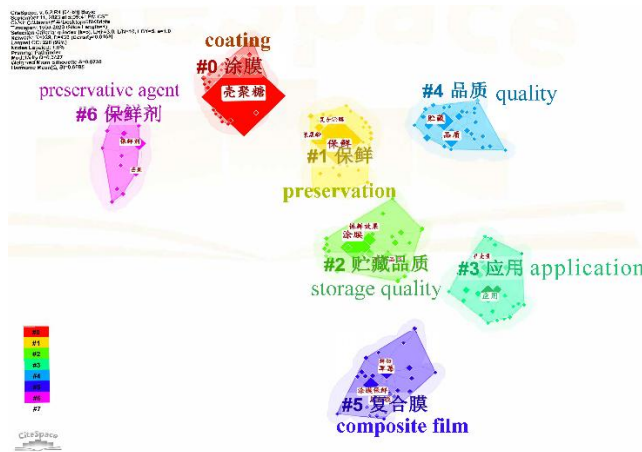


图 8 中文文献壳聚糖在果蔬保鲜运用研究的热点词聚类

Fig. 8 Clustering of hot words in chitosan in fruits and vegetables storage research in Chinese literature

表 5 中文文献壳聚糖在果蔬保鲜运用研究热点聚类

Table 5 Clustering of research hotspots of chitosan in fruits and vegetables storage in Chinese literature

聚类号	包含节点个数	轮廓值	平均年份	聚类名称
Cluster number	Number of contained nodes	Contour value	Mean year	Cluster name
#0	61	0.933	2010	涂膜 Coating
#1	36	0.851	2009	保鲜 Preservation
#2	31	0.842	2013	贮藏品质 Storage quality
#3	28	0.916	2007	应用 Application
#4	28	0.768	2009	品质 Quality
#5	27	0.812	2010	复合膜 Composite film
#6	14	0.962	2002	保鲜剂 Preservative

3.2 关键词突现分析

图 9 为 CNKI 数据库壳聚糖在果蔬保鲜中的关键词突现分析结果，早期的关键词为“芒果”、“贮藏”、“鲜切”、“莲藕”、“冬枣”，表明突现词集中在具体的某种果蔬上，早期研究重点是研究壳聚糖在各种果蔬上的保鲜运用，2010 年以后，“活性氧”、“贮藏效果”、“涂膜保鲜”、“海藻酸钠”出现，这一阶段主要关注保鲜效果、保鲜机制等方面的研究，2015 年后，随着“复合涂膜”、“食品保鲜”、“酶活性”等关键词的突现，表明关于壳聚糖的研究进一步深入，主要关注复合膜和保鲜机制中对酶活性的影响。

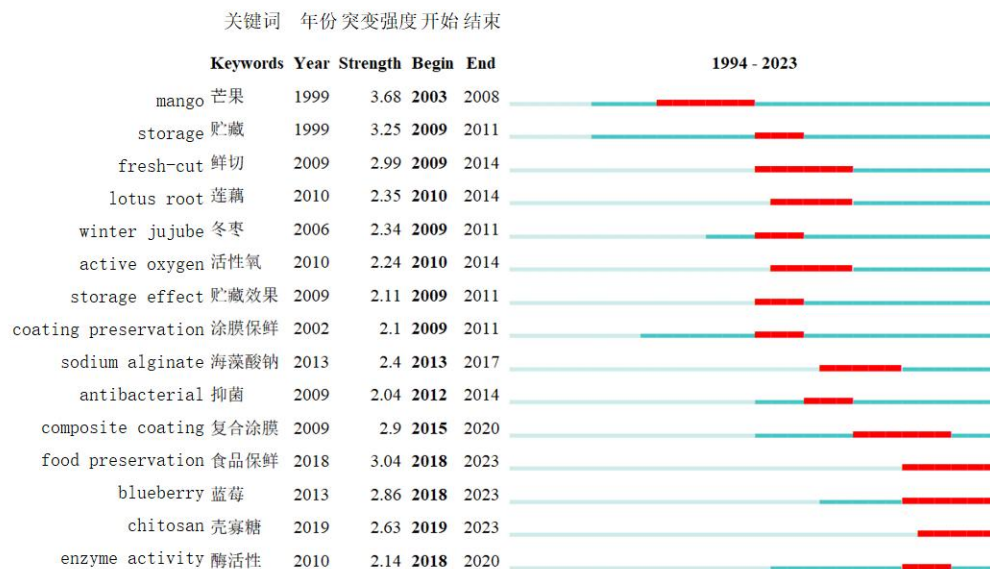


图 9 CNKI 数据库中壳聚糖在果蔬保鲜运用关键词突现分析

Fig. 9 Burst keyword analysis of chitosan in fruits and vegetables storage research in CNKI database

图 10 为 WOS 数据库中壳聚糖在果蔬保鲜研究领域的关键词突现分析结果，早期的关键词为“chitosan coating”、“decay”、“physiological responses”、“gray mold”，在此期间，用壳聚糖膜来延缓

果蔬的腐烂和抑制灰霉菌的生长是研究的重点，2012 年开始，“chitin”、“atmosphere”、“in vitro”、“storage life”、“postharvest diseases”逐渐成为研究热点。此后，“cold storage”、“antibacterial activity”、“postharvest storage”相继出现，表明在室温和冷藏条件下的果蔬储存机制受到重视，国际上壳聚糖在果蔬保鲜研究领域的研究更加深入，更深入探究抗菌机制。2020 年开始，“quality attributes”的出现表明果蔬的质量属性成为国际研究的重点，且持续到现在。通过对比 CNKI 和 WOS 的关键词图谱，发现国际上关于壳聚糖的研究领先于国内，对于研究热点的探索先于中国。

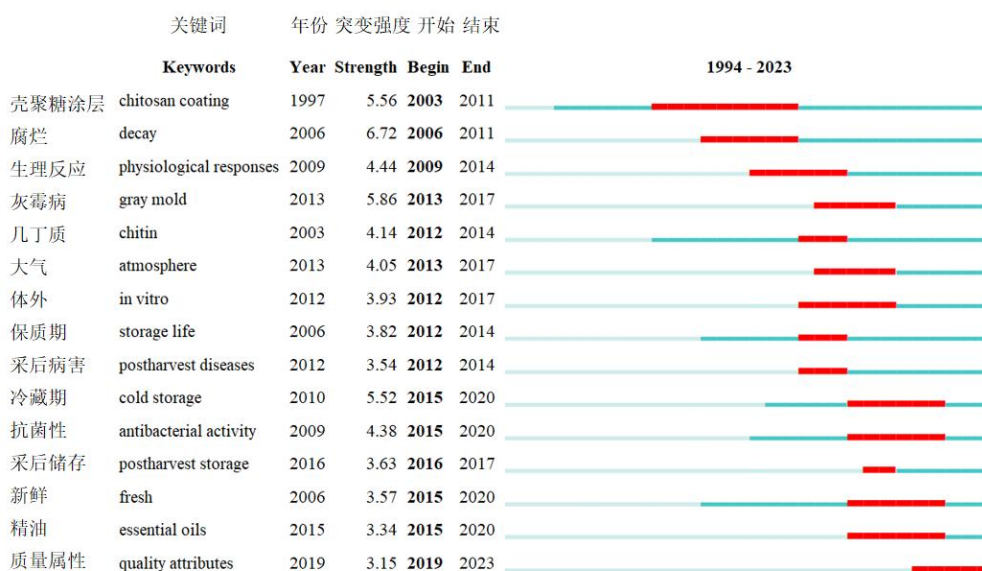


图 10 外文文献壳聚糖在果蔬保鲜运用关键词突现分析

Fig. 10 Burst keyword analysis of chitosan in fruits and vegetables storage research in foreign literature

3.3 热点词演进趋势分析

CiteSpace 可以进行热点聚类 and 热点词演进趋势分析，时区视图（Timezone）是一种注重以时间为主要维度展示知识发展的视图，通过呈现关键词热点的变迁趋势，揭示了知识演进的动态过程^[13]。CiteSpace 绘制的果蔬保鲜运用研究热点演进时区图谱见图 11 和图 12。从图 11 可知，壳聚糖在果蔬保鲜运用的热点词演进趋势在国际上大概可以划分为 4 个阶段：

第一阶段为 2004—2005 年，为研究初始阶段，关键词是 shelf life 保质期。第二阶段为 2005—2010 年，为研究起步阶段，其关键词有 chitosan 壳聚糖、improve 改善、antimicrobial activity 抗菌活性等^[14]。第三阶段为 2010—2020 年，此阶段平稳发展，可食性涂膜得到重点关注。2015 年首次出现关键词 edible coatings 可食用涂料和 edible films 可食用薄膜^[15]，2017 年开始探究抗氧化性能，2018 年开始探究抗机械性能。第四阶段为 2020 年至今，伴随科技手段的更新迭代，壳聚糖研究进入飞速发展阶段。Antibrowning agents 抗褐变剂、carboxymethyl cellulose 羧甲基纤维素、discoloration 变色、alginate coating 海藻酸盐涂层、bioactive compounds 生物活性化合物作为热点词

于 2020 年首次出现，Postharvest quality 采后质量出现频次高达 17 次。

由图 12 可知，国内壳聚糖在果蔬保鲜运用研究也可分为 4 个阶段，第一阶段为 1991—2010 年，为起始阶段，关键词有纳米技术、果蔬、抗病性失水处理、制备方法改性、果蔬保鲜、包装、生理贮藏、脂质可食膜、化学保鲜^[16]；2010—2015 年为研究发展阶段，有不少关键热点词出现，如低温乳酸菌工艺、发酵、提取复配液、保鲜薄膜袋；2015—2020 年为进一步发展阶段，每年都有新的热点词出现，2017 年有可食共混膜应用前景、进展、前处理、原儿茶酸、鲜切、微生物污染抗氧化能力、冻藏、保鲜包装，2018 年有保鲜剂种类、复合膜液感官鉴评、冷链贮藏分离鉴定、多糖类抗菌性、天然抑菌剂、抑菌保鲜^[17]，2019 年有改性壳聚糖展望、护色剂、聚乙烯醇生理代谢、功能性食品单宁酸、主成分分析、智能包装检测技术；2020 年至今，学科迅猛发展，研究越来越多地集中在对保鲜机制的探索和高效的靶向抑制上，复合活性成分的增加和技术的集成推动了这一研究，涌现出层层自组装可食性涂膜^[18]、多晶相变冷爆现象、采前调节处理剂^[19]、抗病机制、新鲜果蔬保险效应、生物聚合物纳米粒子、多糖基复合膜^[20]等研究新热点，科研工作者重点关注壳聚糖对果蔬保鲜效果和品质的影响。

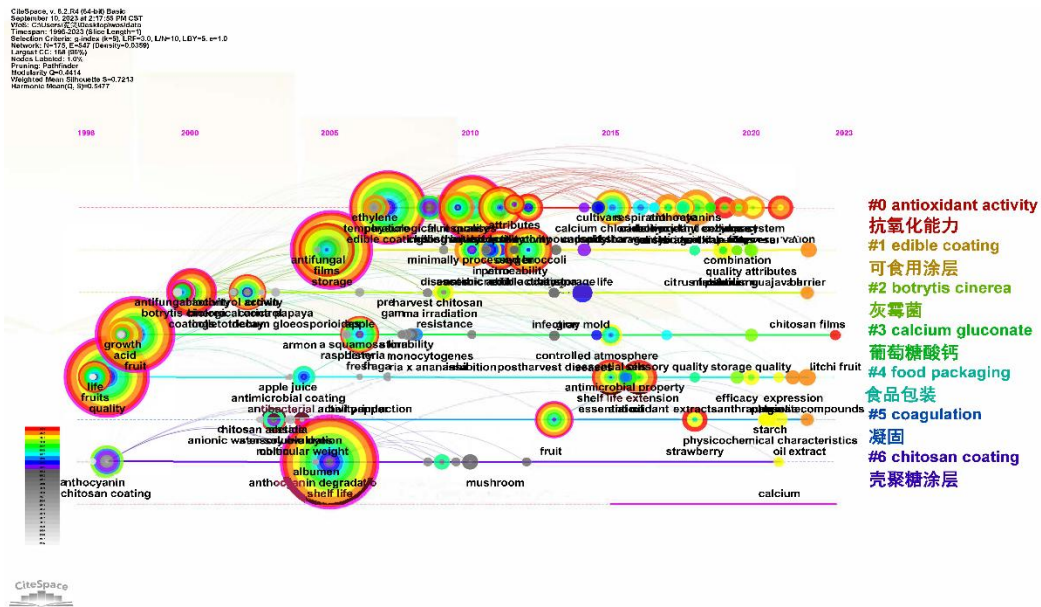


图 11 外文文献壳聚糖在果蔬保鲜运用研究热点词演进

Fig. 11 Evolution of hot words in chitosan in fruits and vegetables storage research in foreign literature

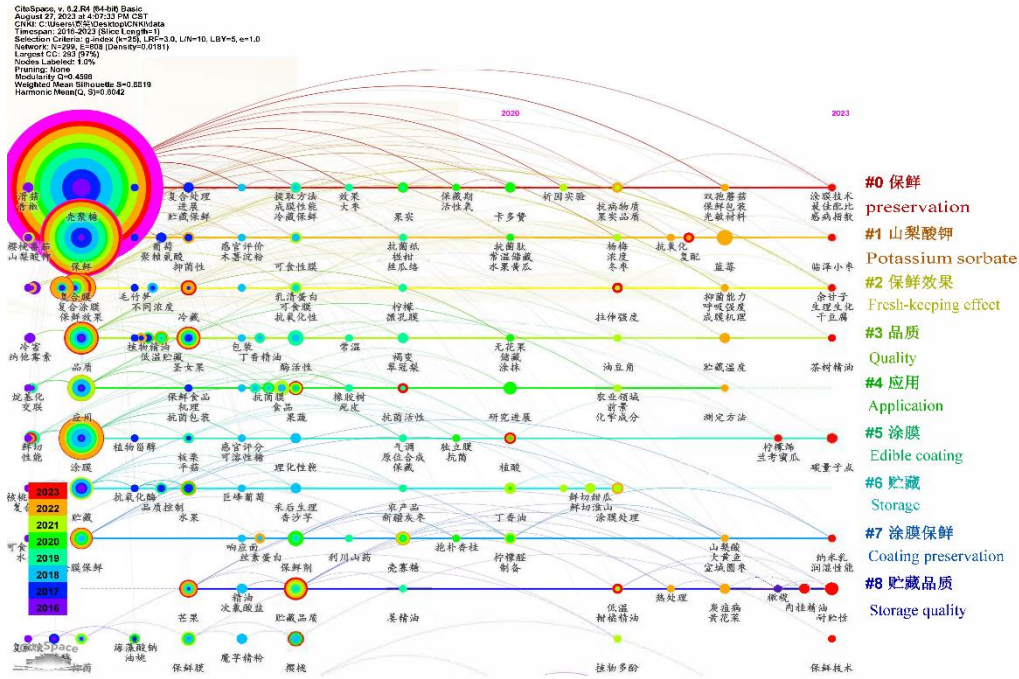


图 12 中文文献壳聚糖在果蔬保鲜研究热点词演进

Fig. 12 Evolution of hot words in chitosan in fruits and vegetables storage research in Chinese literature

3.4 壳聚糖在果蔬保鲜运用研究热点分析

对研究热点聚类进行分析，发现国内外研究热点领域的相同点有都集中体现在保鲜效果、保质期、可食涂膜等方面。中文的研究热点主要集中在关注壳聚糖对果蔬贮藏品质和保鲜效果的影响，然而，外文文献对于壳聚糖的相关研究更加进一步，涵盖了微胶囊化、纳米粒子、以及壳聚糖季铵盐等领域。为了对这一领域的研究热点进行更为深入的探讨，研究热点可以被总结为以下几类。

3.4.1 壳聚糖复合膜

壳聚糖是一种天然、无毒且具有可生物降解及优异成膜性的碱性多糖，使用不同分子量的壳聚糖涂层可以有效地延缓西番莲果实的老化过程，减少西番莲果实因失水而产生的皱缩，从而确保西番莲果实的高品质^[21]。壳聚糖作为新的可食用包装材料在食品工业中具有广阔的发展前景，但单一壳聚糖膜存在阻湿性差、透气性小、机械性能弱等不足，难以满足采后新鲜果蔬保鲜的综合需求^[22]。利用壳聚糖和明胶这两种化学物质作为基础，以天然京尼平作为交联剂，成功制造了一种复合型的抗菌膜，较单一复合膜有优势^[23]。与对照组和壳聚糖（CS）涂膜相比，壳聚糖-氢化咖啡酸（CS-HCA）共聚物涂膜处理能更有效地减少樱桃番茄的质量损失及腐烂速度，对樱桃番茄有更好的保鲜效果^[24]。皮克林乳液-壳聚糖复合涂膜可以提高涂膜的阻隔性能、力学性能和抗菌能力，有利于黄山楂的保鲜贮藏，较壳聚糖膜效果增强^[25]。

3.4.2 壳聚糖复合处理

壳聚糖在果蔬保鲜过程中结合其他处理的保鲜研究也是热点之一，如结合磁场处理，与仅使用壳聚糖相比，壳聚糖结合弱磁场处理组对延缓采后李果实营养物质消耗有效果，还能减缓李果实衰老进程^[26]。在常温储存条件下，与仅使用乙醇或壳聚糖处理相比，壳聚糖和乙醇的组合处理能有效提升甜瓜果实的储存质量并减缓其老化过程^[27]。经超声波处理后，碳量子点和壳聚糖复合涂膜剂展现出最佳的保鲜效果，这有助于减少鲜切莲藕中的失重率和抗坏血酸等成分的损失^[28]。乳酸菌发酵液-壳聚糖复合涂膜处理对于保持香梨的品质有良好的作用^[29]。适宜的热处理结合壳聚糖涂膜对采后芒果有明显的保鲜效果，在生产上有较好的应用前景^[30]。与仅使用水杨酸或壳聚糖处理相比，水杨酸和壳聚糖处理保留了白萝卜芽较高的总酚浓度，提高了抗坏血酸浓度和抗氧化酶如 CAT（过氧化氢酶）的活性^[31]。柠檬醛纳米乳和壳聚糖形成的涂层不仅增强了涂层对蜜桔果皮的展开性能以优化涂层的结构，而且通过柠檬醛的释出能够减少微生物对果实的污染，这一过程显著提升了蜜桔果实的保存质量^[32]。

3.4.3 与新兴科技手段结合

新兴科技手段的出现层出不穷，使得壳聚糖在果蔬保鲜方面的应用迎来了新的发展。文献表明，纳米技术指的是材料在纳米尺度上制造和应用的科学技术，材料在纳米尺度上使用时可以提供改进的功能。例如壳聚糖纳米粒（ChNP）被认为是一种新型的食品保鲜涂层材料，壳聚糖纳米颗粒的尺寸从 1 nm 变化到 100 nm，可提高膜的机械性能、阻隔性和热稳定性^[33]。丁香酚-壳聚糖纳米颗粒抑制 SO₂ 诱导的巨峰葡萄脱落^[34]。此外，无机纳米颗粒因具有抗菌性、高稳定性、无毒等特征和壳聚糖复合使用增强了壳聚糖在果蔬保鲜方面的效果。微胶囊技术是指用聚合物基质封装生物活性材料来保护核心材料使用的技术。采用微胶囊技术可以使得活性物质包埋起来免受外界干扰，将天然抗菌物质包埋后加入壳聚糖膜可以显著提高膜的抑菌性能。层层自组装技术是利用逐层交替吸附的原理，两种及以上材料通过相互作用力自发形成复合膜的技术。壳聚糖是一种聚阳离子多糖，经常和其他物质联合使用，被广泛用作膜的成分。

3.4.4 保鲜机制

壳聚糖的广谱抗菌特性已经通过体外试验和复杂的食物基质得到证实，其抗菌活性取决于其分子量、脱乙酰度、浓度、微生物和环境因素（pH、温度）等^[35]。壳聚糖基薄膜在食品表面起到玻璃纸状结构的作用，从而有效地建立起保护层，防止食品受到外部微生物的攻击^[36]。菌丝生长抑制实验中，壳聚糖对菌丝生长有抑制作用；孢子萌发实验中，壳聚糖具有较强的抑制孢子萌发的能力^[37]。酵母和霉菌的生长也在具有壳聚糖涂层的蓝莓中受到抑制^[38]，壳聚糖的抗真菌活性主要归因于抑制产孢和孢子萌发^[39]。关于其对细菌的抑菌模式，目前尚无共识，为了解释壳聚糖的抑菌活性提出了几种假说，归纳起来是由于其与细菌和食物系统的相互作用^[40]。

壳聚糖作为防腐剂，其抗氧化性能已在体外得到验证，其抗氧化性能与去乙酰化程度在一定程度上呈正相关。短波紫外线（UV-C）和壳聚糖（CH）联合处理降低了哈密瓜中抗坏血酸的损失，贮藏结束时，处理抑制了果实中 O₂ 产生速率和 H₂O₂ 含量的增加。UV-C 和 CH 联合处理通过维持哈

蜜瓜果实较强的抗氧化能力，有效抑制了活性氧含量的增加，降低了活性氧对细胞膜造成的损伤^[41]。食物表面的壳聚糖层起到氧气屏障的作用，从而阻碍氧气的转移，减轻氧化反应^[42]。研究也支持，由于壳聚糖中活性羟基和氨基的相互作用，壳聚糖通过清除羟基自由基表现出抗氧化能力。据报道，壳聚糖的抗氧化能力与分子量有关，壳聚糖分子量越低，抗氧化活性越强^[43]。

酶反应在食品质量恶化中起着不可忽视的作用，壳聚糖可以影响酶活性。采用壳聚糖涂膜处理苹果切块，降低了冷藏过程中苹果切块的酶促褐变程度^[44]。壳聚糖涂层的抗褐变作用已经在多种水果中得到了报道，比如鲜切的苹果和枇杷，处理过的样品中多酚氧化酶活性的增长速度相应低于对照组^[45-46]。壳聚糖处理通过调节淀粉和蔗糖代谢减少冷藏哈密甜瓜的软化和冷害^[47]。月桂酰精氨酸乙酯-壳聚糖（LAE-CS）涂膜的应用能有效地削减车厘子在储存过程中的呼吸强度，减缓超氧化物歧化酶、过氧化物酶和苯丙氨酸解氨酶的活性下降，同时也能降低丙二醛的生成。此外，它还可以抑制多酚氧化酶和果胶酶的活性，这样便能延缓车厘子的腐败进程^[48]。壳聚糖涂膜处理通过减轻活性氧伤害来延缓马家柚采后汁胞粒化过程，提高超氧化物歧化酶（SOD）活性，改变相关基因表达来延缓马家柚采后汁胞粒化的发生^[49]。壳聚糖涂膜的使用对保持草莓较高浓度的总酚类物质和总花青素具有积极作用，同时也保持了较低的细胞壁降解酶如聚半乳糖醛酸酶（PG）、纤维素酶、果胶甲酯酶（PME）和 β -半乳糖苷酶（ β -Gal）的活性^[50]。壳聚糖基涂层在保持新鲜无花果的品质方面，提高了无花果的总多酚、花青素和类黄酮含量以及抗氧化活性。抗氧化酶的较高活性可以减少氧化应激并防止褐变反应^[51]。壳聚糖涂膜的使用延缓了草莓的变质，保持了较高的超氧化物歧化酶活性和过氧化氢酶活性，与蔗糖代谢、可滴定酸度积累、抗病性以及合成代谢茉莉酸和脱落酸途径相关的基因受到不同程度的调节，表明壳聚糖参与草莓的免疫信号网络，并通过激素调节抗病性途径^[52]。壳聚糖百里香油涂膜调节了聚半乳糖醛酸酶（PG）和果胶甲基酯酶（PME）活性的降低，抑制细胞壁多糖降解，延缓了蓝莓的采后软化和衰老^[53]。

最后，壳聚糖的阻隔性能对果蔬保鲜十分重要。壳聚糖层不仅可以阻挡外源微生物，而且在一定程度上对氧气和水蒸气具有选择性的渗透性，这直接影响了食品的保质期^[54]。目前，壳聚糖基的阻隔性能是在严格的食品包装中应用时必须表征的。目前，对水、氧气、二氧化碳、氮气、紫外线等的详细阻隔性能已经进行了广泛的研究^[55]。壳聚糖基膜对水蒸气有阻隔性，许多有机材料（例如，多酚）可以通过键合与壳聚糖建立相互作用，这样可以有效地限制壳聚糖中的亲水基团与水分子的交互作用^[56]。壳聚糖基薄膜可以起到氧气屏障的作用，阻碍氧气的传递，从而抑制呼吸活动和食品中细菌的生长^[57]。

4 结论

本文基于文献计量学方法，检索了 WOS 和 CNKI 数据库 1991—2023 年与壳聚糖在果蔬保鲜领域有关的文献进行可视化分析，使用 Citespace 作图，分别从年代、作者、机构、国家、研究热点、演进趋势等几个层面进行归纳统计。对国内外进行对比分析作图，较为直观科学地呈现了该领域的

研究热点及趋势。国内外壳聚糖在果蔬保鲜研究在发文量上趋势较相似，总体呈上升趋势且该领域在自 2006 年以后，研究不断深入，相关文献的数量也呈现出急剧上升的态势。发文机构中，中国农业大学、上海海洋大学是主要研究机构；国际上埃及知识库、塔伊夫大学、农业农村部位居前三。此外，机构间的合作研究大多集中在在同一地区或部门。发文国家中，中国和印度排名前列，其次是巴西。研究热点来看，主要集中在壳聚糖复合膜、壳聚糖保鲜机制、壳聚糖复合处理等领域。热点词演进趋势来看，目前随着科技手段的更新迭代，壳聚糖相关的研究进一步深入发展，层层自组装、可食性涂膜、抗病机制、保鲜机制、生物聚合物纳米粒子、多糖基复合膜是研究的热点关注领域。

壳聚糖因其独特的性能优势而引起了果蔬保鲜行业的极大关注。广泛应用壳聚糖进行保鲜的积极反馈表明，其在果蔬保鲜方面具有巨大的潜力。这种前景吸引了学术界的广泛关注，并在实践中得到了充分验证，为果蔬保鲜领域的进一步发展提供了有力支持。在过去对壳聚糖的研究中，以壳聚糖为基础的保鲜技术不断进步，在未来的研究中，壳聚糖和各种新兴技术的复合使用将给壳聚糖的发展带来新的机遇，例如：薄膜自组装技术因其有利于提供纳米尺度和功能多层膜的厚度控制可以形成壳聚糖和其它聚阴离子材料的多层膜。总之，本文总结了目前阶段壳聚糖在果蔬保鲜领域的研究成果，为后续研究奠定基础 and 提供帮助。

参考文献 References:

- [1] 卜红宇. PBAT 基气调呼吸膜对沙葱的保鲜效果及保鲜机理研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021.
BU Hongyu. Study on preservation effects and mechanism of PBAT based spontaneous modified atmosphere packaging on *Allium mongolicum* Regel[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2021.
- [2] 王安杏, 曹川, 张庆, 张瑜, 张晓晴. 壳聚糖复合膜在果蔬保鲜中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(5): 164-172.
WANG Anxing, CAO Chuan, ZHANG Qing, ZHANG Yu, ZHANG Xiaoqing. Application of chitosan composite film in fruits and vegetables preservation[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(5): 164-172.
- [3] 张亦飞. 壳聚糖果蔬保鲜剂的研究[J]. 食品工业科技, 1996, 17(4): 13-15.
ZHANG Yifei. The study of chitosan-based fruit and vegetable Preservatives[J]. Science and Technology of Food Industry, 1996, 17(4): 13-15.
- [4] 林宝凤. 壳聚糖成膜剂特性的研究[J]. 食品与发酵工业, 1998, 24(1): 44-47.
LIN Baofeng. The Study of characteristics of chitosan film-forming agents [J]. Food and Fermentation Industries, 1998, 24(1): 44-47.
- [5] 王颖, 曾霞, 王春. 壳聚糖在果蔬保鲜中的应用研究进展[J]. 食品工业, 2012, 33(5): 107-109.
WANG Ying, ZENG Xia, WANG Chun. Progress in chitosan and its application on fruit and vegetable fresh keeping[J]. The Food Industry, 2012, 33(5): 107-109.
- [6] MANTILLA N, CASTELL-PEREZ M E, GOMES C, MOREIRA R G. Multilayered antimicrobial edible coating and its effect on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*)[J]. LWT - Food Science and Technology, 2013, 51(1): 37-43.

- [7] WANG K, LI T T, CHEN S Q, LI Y L, RASHID A. The biochemical and molecular mechanisms of softening inhibition by chitosan coating in strawberry fruit (*Fragaria × ananassa*) during cold storage[J]. *Scientia Horticulturae*, 2020, 271: 109483.
- [8] 闫莹莹. 壳聚糖一没食子酸衍生物的制备、功能性质及对赛买提杏保鲜效果的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2023.
- YAN Yingying. Preparation, functional properties and preservation effect of chitosan-Gallic acid derivatives of Saimaiti Apricot[D]. Shihezi: Shihezi University, 2023.
- [9] 董文丽, 巩雪, 侯理达, 安丽娟, 聂义然, 杨春莉. 壳聚糖/柠檬酸复合涂膜对胡萝卜的保鲜效果[J]. *包装工程*, 2021, 42(9): 72-78.
- DONG Wenli, GONG Xue, HOU Lida, AN Lijuan, NIE Yiran, YANG Chunli. Effects of chitosan and citric acid composite film on preservation of carrot[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(9): 72-78.
- [10] 刘帅民, 王淋靓, 冯春梅, 黎新荣, 刘港帅, 黄燕婷, 陈蕊蕊, 檀业维. 壳聚糖调节膜透性和能量代谢减缓沃柑果实采后品质劣变[J]. *中国食品学报*, 2023, 23(1): 250-258.
- LIU Shuaimin, WANG Linliang, FENG Chunmei, LI Xinrong, LIU Gangshuai, HUANG Yanting, CHEN Ruirui, TAN Yewei. Chitosan alleviates postharvest quality deterioration in fertile orange fruit by regulating membrane permeability and energy metabolism[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2023, 23(1): 250-258.
- [11] 李雪. 壳聚糖与纳米 TiO₂ 对淀粉复合膜力学强度和阻隔性能的影响及复合膜在果蔬中的涂膜保鲜应用[D]. 上海: 上海海洋大学, 2021.
- LI Xue. The effect of chitosan and nano-TiO₂ on the mechanical strength and barrier properties of the starch composite film and the application of the composite film in the reservation of fruits and vegetables[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2021.
- [12] 曹思源. 蒙脱土/纳米纤维素/壳聚糖复合涂膜对柑橘保鲜效果及其机理研究[D]. 重庆: 西南大学, 2022.
- CAO Siyuan. Study on the effect of montmorillonite/nanocellulose/chitosan composite coating on citrus preservation and its mechanism[D]. Chongqing: Southwest University, 2022.
- [13] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 胡志刚, 王贤文. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. *科学学研究*, 2015, 33(2): 242-253.
- CHEN Yue, CHEN Chaomei, LIU Zeyuan, HU Zhigang, WANG Xianwen. The methodology function of Cite Space mapping knowledge domains[J]. *Studies in Science of Science*, 2015, 33(2): 242-253.
- [14] PARK S K, BAE D H. Antimicrobial properties of wheat gluten-chitosan composite film in intermediate-moisture food systems[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2006, 15(1): 133-137.
- [15] FRÁGUAS R M, SIMÃO A A, FARIA P V, DE RESENDE QUEIROZ E, DE OLIVEIRA JUNIOR Ê N, DE ABREU C M P. Preparation and characterization chitosan edible films[J]. *Polímeros*, 2015, 25: 48-53.
- [16] 陈宁生, 叶舒娅. 壳聚糖对保鲜果蔬收获的研究[J]. *安徽农业科学*, 1996, 24(2): 190-192.
- CHEN Ningsheng, YE Shuya. Research on Chitosan for Preserving Fruit and Vegetable Harvest[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 1996, 24(2): 190-192.
- [17] 胡可. 壳聚糖一直链玉米淀粉一肉桂醛复合薄膜制备及对草莓保鲜效果的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2018.
- HU Ke. Study on the effect of chitosan straight chain cornstarch cinnamaldehyde composite film on strawberry preservation[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2018.
- [18] 严嘉玮. 层层自组装可食性膜对草莓代谢产物的调控研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.

- YAN Jiawei. The regulation of Layer-by-layer self-assembled edible coating on strawberry metabolites[D]. Hangzhou : Zhejiang University, 2019.
- [19] 孙闽子, 张坤, 吴光斌, 陈发河, 倪辉, 陈兴麟, 许旻, 林河通. 采前调节剂处理对采后果实保鲜效应的研究进展[J]. 果树学报, 2022, 39(6): 1111-1120.
- SUN Minzi, ZHANG Shen, WU Guangbin, CHEN Fahe, NI Hui, CHEN Xinglin, XU Min, LIN Hetong. Advances in the effects of preharvest treatments on fresh-keeping of postharvest fruits[J]. Journal of Fruit Science, 2022, 39(6): 1111-1120.
- [20] 余学鹏. 壳聚糖纳米颗粒增强多糖基活性复合膜的制备及性能研究[D]. 无锡: 江南大学, 2023.
- YU Xuepeng. Preparation and properties of polysaccharide-based active composite films reinforced with chitosan nanoparticles[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2023.
- [21] 黎星延, 黄丽金, 刘汉美, 陶守奎, 姜悦, 於智前, 陈叶珍, 潘永贵. 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(22): 319-326.
- LI Xingyan, HUANG Lijin, LIU Hanmei, TAO Shoukui, JIANG Yue, YU Zhiqian, CHEN Yezhen, PAN Yonggui. Effect of chitosan coating with different molecular weights on the storage quality of postharvest passion fruit (*Passiflora edulis* Sims)[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(22): 319-326.
- [22] 王玉. 多功能壳聚糖复合膜的制备及其在板栗防腐保鲜中的应用研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- WANG Yu. Preparation of multifunctional chitosan composite film and its application on storage and preservation of chestnut[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022.
- [23] 郑虹, 李莉娟, 陈晓凤, 邓加聪. 京尼平交联明胶蛋白与壳聚糖抗菌膜的制备及性能研究[J]. 化学工程与装备, 2019(5): 5-8.
- ZHENG Hong, LI Lijuan, CHEN Xiaofeng, DENG Jiacong. Preparation and performance study of jingnipin crosslinked gelatin protein and chitosan antibacterial films[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2019(5): 5-8.
- [24] 张宇, 陈泽世, 王浩, 黎顺洋, 陈上岑. 壳聚糖-氢化咖啡酸接枝共聚物的制备及其应用[J]. 食品科技, 2021, 46(8): 233-237.
- ZHANG Yu, CHEN Zeshi, WANG Hao, LI Shunyang, CHEN Shangcen. Preparation and application of chitosan-hydrocaffeic acid grafting copolymer[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(8): 233-237.
- [25] 李娜, 张海锋, 曹金锋, 滕慧颖, 王庆辉, 聂宗省. 纤维素纳米晶-肉桂精油-壳聚糖复合涂膜制备及其对黄山植金如意的保鲜效果[J]. 果树学报, 2023, 40(3): 556-565.
- LI Na, ZHANG Haifeng, CAO Jinfeng, TENG Huiying, WANG Qinghui, NIE Zongsheng. Preparation of cellulose nanocrystal cinnamon essential oil chitosan composite coating and its effect on fruit preservation of *Crataegus pinnatifida* Bge. var. major N. E. Br[J]. Journal of Fruit Science, 2023, 40(3): 556-565.
- [26] 张婷婷, 郝义, 纪淑娟, 郝邢维, 邢英丽, 李珊珊, 周倩. 采前壳聚糖处理结合磁场冷藏对采后李果实果肉褐变的调控作用[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(24): 52-61.
- ZHANG Tingting, HAO Yi, JI Shujuan, HAO Xingwei, XING Yingli, LI Shanshan, ZHOU Qian. Effects of preharvest chitosan treatment combined with magnetic refrigeration on browning of post-harvest plum fruit flesh[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(24): 52-61.
- [27] 孙浩轩, 王佳江, 李岩, 张冲. 壳聚糖和乙醇复合处理对薄皮甜瓜采后贮藏品质的影响[J]. 北方园艺, 2023(14): 105-111.

- SUN Haoxuan, WANG Jiajiang, LI Yan, ZHANG Chong. Effects of chitosan and ethanol compound treatments on postharvest storage quality of thin-skinned muskmelon[J]. Northern Horticulture, 2023(14): 105-111.
- [28] 李素云, 袁维雪, 王雪纯, 于林静. 超声处理碳量子点/壳聚糖复合膜在鲜切莲藕片保鲜中的应用[J]. 食品科技, 2023, 48(3): 44-49.
- LI Suyun, YUAN Weixue, WANG Xuechun, YU Linjing. Application of carbon quantum dots/chitosan composite film treated by ultrasound on fresh-cut *Lotus* root slices[J]. Food Science and Technology, 2023, 48(3): 44-49.
- [29] 开比努尔·艾合买提, 张锐利, 刘华英. 乳酸菌发酵液-壳聚糖复合处理对香梨品质的影响[J]. 农产品加工, 2023(5): 34-37.
- Kaibinuer·Aihemaiti, ZHANG Ruili, LIU Huaying. Effect of lactic acid bacteria fermentation broth-chitosan composite coating on the quality of pears[J]. Farm Products Processing, 2023(5): 34-37.
- [30] 谷会, 方静, 叶建敏, 姚全胜. 热处理结合壳聚糖涂膜对‘台农1号’芒果常温贮藏品质的影响[J]. 食品科技, 2022, 47(6): 37-43.
- GU Hui, FANG Jing, YE Jianmin, YAO Quansheng. Effect of heat treatment composite chitosan coating on ‘Tainong No. 1’ mango storage quality at room temperature[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(6): 37-43.
- [31] SUPAPVANICH S, ANAN W, CHIMSONTHORN V. Efficiency of combinative salicylic acid and chitosan preharvest-treatment on antioxidant and phytochemicals of ready to eat daikon sprouts during storage[J]. Food Chemistry, 2019, 284: 8-15.
- [32] 邹丽娜, 李晓楠, 周小婉, 周倩怡, 黄霜霜, 曹思源, 吴习宇, 任丹, 徐丹. 柠檬醛纳米乳对壳聚糖涂膜性能和保鲜效果的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(9): 179-185.
- ZOU Lina, LI Xiaonan, ZHOU Xiaowan, ZHOU Qianyi, HUANG Shuangshuang, CAO Siyuan, WU Xiyu, REN Dan, XU Dan. Effect of citral nanoemulsion on properties of chitosan coating and preservation performance[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(9): 179-185.
- [33] 陈达佳, 赵利, 袁美兰, 苏伟, 刘华, 陈丽丽. 胶原蛋白与壳聚糖复合膜的机械性能[J]. 食品科学, 2014, 35(9): 112-117.
- CHEN Dajia, ZHAO Li, YUAN Meilan, SU Wei, LIU Hua, CHEN Lili. Mechanical properties of collagen-chitosan composite film[J]. Food Science, 2014, 35(9): 112-117.
- [34] 孟祥轩, 杨盛迪, 李旭飞, 郭大龙, 裴茂松, 刘海楠, 韦同路, 余义和. 丁香酚-壳聚糖纳米颗粒抑制 SO₂ 引起巨峰葡萄采后脱落的转录调控网络预测[J]. 果树学报, 2022, 39(6): 1099-1110.
- MENG Xiangxuan, YANG Shengdi, LI Xufei, GUO Dalong, PEI Maosong, LIU Hainan, WEI Tonglu, YU Yihe. Transcriptional regulatory network prediction of eugenol-loaded chitosan nanoparticles inhibiting SO₂-induced postharvest abscission in Kyoho grape[J]. Journal of Fruit Science, 2022, 39(6): 1099-1110.
- [35] CONFEDERAT L G, TUCHILUS C G, DRAGAN M, SHA' AT M, DRAGOSTIN O M. Preparation and antimicrobial activity of chitosan and its derivatives: A concise review[J]. Molecules, 2021, 26(12): 3694.
- [36] KUMARI P, BARMAN K, PATEL V B, SIDDIQUI M W, KOLE B. Reducing postharvest pericarp browning and preserving health promoting compounds of litchi fruit by combination treatment of salicylic acid and chitosan[J]. Scientia Horticulturae, 2015, 197: 555-563.
- [37] 邱苗. 壳聚糖对绿芦笋保鲜和抑菌机理的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2013.
- QIU Miao. Effect of chitosan on postharvest green *Asparagus* quality and antimicrobial mechanism against pathogen in vitro[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2013.

- [38] MANNOZZI C, TYLEWICZ U, CHINNICI F, SIROLI L, ROCCULI P, DALLA ROSA M, ROMANI S. Effects of chitosan based coatings enriched with procyanidin by-product on quality of fresh blueberries during storage[J]. Food Chemistry, 2018, 251: 18-24.
- [39] HERNÁNDEZ-LAUZARDO A N, BAUTISTA-BAÑOS S, VELÁZQUEZ-DEL VALLE M G, MÉNDEZ-MONTEALVO M G, SÁNCHEZ-RIVERA M M, BELLO-PÉREZ L A. Antifungal effects of chitosan with different molecular weights on *in vitro* development of *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb. : Fr.) Vuill[J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 73(4): 541-547.
- [40] SAHARIAH P, MÁSSON M. Antimicrobial chitosan and chitosan derivatives: A review of the structure-activity relationship[J]. Biomacromolecules, 2017, 18(11): 3846-3868.
- [41] 宋昕昕. UV-C 辐照-壳聚糖涂膜对哈密瓜贮藏效果的影响[D]. 石河子: 石河子大学, 2023.
- SONG Xinxin. Effects of UV-C combined with chitosan coating on storage of cantaloupe[D]. Shihezi: Shihezi University, 2023.
- [42] ALISHAHI A, AİDER M. Applications of chitosan in the seafood industry and aquaculture: a review[J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(3): 817-830.
- [43] CHANG S H, WU C H, TSAI G J. Effects of chitosan molecular weight on its antioxidant and antimutagenic properties[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 181: 1026-1032.
- [44] SHYU Y S, CHEN G W, CHIANG S C, SUNG W C. Effect of chitosan and fish gelatin coatings on preventing the deterioration and preserving the quality of fresh-cut apples[J]. Molecules, 2019, 24(10): 2008.
- [45] LIN Y Z, LI N, LIN H T, LIN M S, CHEN Y H, WANG H, RITENOUR M A, LIN Y F. Effects of chitosan treatment on the storability and quality properties of Longan fruit during storage[J]. Food Chemistry, 2020, 306: 125627.
- [46] ÖZDEMİR K S, GCOKMEN V. Effect of chitosan-ascorbic acid coatings on the refrigerated storage stability of fresh-cut apples[J]. Coatings, 2019, 9(8): 503.
- [47] ZHANG Q, TANG F X, CAI W C, PENG B, NING M, SHAN C H, YANG X Q. Chitosan treatment reduces softening and chilling injury in cold-stored Hami melon by regulating starch and sucrose metabolism[J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 1096017.
- [48] 繆嘉琪, 蔡寅川, 章彦楷, 黄琪, 陈春雨, 郝刚. 月桂酰精氨酸乙酯-壳聚糖涂膜对车厘子保鲜效果及保鲜机理的研究[J]. 食品与发酵科技, 2022, 58(5): 19-24.
- MIAO Jiaqi, CAI Yinchuan, ZHANG Yankai, HUANG Qi, CHEN Chunyu, HAO Gang. Study on the effect of lauryl arginine ethyl ester-chitosan coating on preserving freshness of cherries and its mechanism[J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2022, 58(5): 19-24.
- [49] 聂正朋. 壳聚糖延缓马家柚采后汁胞粒化发生的作用机理[D]. 南昌: 江西农业大学, 2020.
- NIE Zhengpeng. Effect of chitosan on postharvest juice sac granulation in Majiayou pummelo and the possible mechanisms[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2020.
- [50] GOL N B, PATEL P R, RAMANA RAO T V. Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 85: 185-195.
- [51] ADILETTA G, ZAMPELLA L, COLETTA C, PETRICCIONE M. Chitosan coating to preserve the qualitative traits and improve antioxidant system in fresh figs (*Ficus carica* L.)[J]. Agriculture, 2019, 9(4): 84.

- [52] WANG Y H, YAN Z M, TANG W H, ZHANG Q, LU B, LI Q, ZHANG G. Impact of chitosan, sucrose, glucose, and fructose on the postharvest decay, quality, enzyme activity, and defense-related gene expression of strawberries[J]. Horticulturae, 2021, 7(12): 518.
- [53] SUN H Y, HAO D Q, TIAN Y, HUANG Y G, WANG Y L, QIN G W, PEI J J, ABD EL-ATY A M. Effect of chitosan/thyme oil coating and UV-C on the softening and ripening of postharvest blueberry fruits[J]. Foods, 2022, 11(18): 2795.
- [54] CAZÓN P, VÁZQUEZ M. Mechanical and barrier properties of chitosan combined with other components as food packaging film[J]. Environmental Chemistry Letters, 2020, 18(2): 257-267.
- [55] WANG H X, QIAN J, DING F Y. Emerging chitosan-based films for food packaging applications[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(2): 395-413.
- [56] SUN L J, SUN J J, CHEN L, NIU P F, YANG X B, GUO Y R. Preparation and characterization of chitosan film incorporated with thinned young apple polyphenols as an active packaging material[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 163: 81-91.
- [57] SWAIN S K, DASH S, KISKU S K, SINGH R K. Thermal and oxygen barrier properties of chitosan bionanocomposites by reinforcement of calcium carbonate nanopowder[J]. Journal of Materials Science & Technology, 2014, 30(8): 791-795.