

基于知识图谱的食品包装领域研究进展可视化分析

张月美¹, 韩炬¹, 宁皓月²

(1.华北理工大学 机械工程学院, 河北 唐山 063000; 2.江南大学 机械工程学院, 江苏 无锡 214000)

摘要: **目的** 研究食品包装领域的主要研究方向、发展态势以及前沿热点。**方法** 利用核心期刊引文索引数据库 Web of Science 检索主题为“Food Packaging”的文献数据; 筛选、剔重后导出文献至 CiteSpace 引文分析软件, 从时间分布、作者分布、地域分布、期刊分布多个角度对食品包装领域概况进行研究; 再利用引文分析、词频探测、突发词检测等方法研究食品包装的重大意义文献、不同时段的研究热点及领域前沿趋势, 并通过突发词检测验证前沿热点分析结果的准确性。**结果** 2019 年食品包装领域的研究论文预计不低于 2000 篇; 2009—2019 年间食品包装领域重要影响文献的研究方向分别为纳米材料、壳聚糖薄膜、香精油、食品包装系统、乳酸、活性包装, 中心度较高的重要影响文献有 6 篇; 有食品包装的主要技术、包装材料的主要成分、被包装食品的种类共计 22 个主要的研究热点种类; 近 3 年, 食品包装领域的研究前沿呈现出由单一的包装性能研究(力学性能、抗菌性能)到丰富的包装需求研究(人体健康、灭菌性能), 再到创新性的包装材料研究(壳聚糖、纳米材料、可降解材料)的变化趋势。**结论** 基于 CiteSpace 的科学知识图谱挖掘覆盖了食品包装领域的研究概况、研究热点和前沿发展趋势。

关键词: CiteSpace; 食品包装; 可视化分析; 知识图谱

中图分类号: TS206 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)23-0075-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.23.012

Visualization of Research Progress in the Field of Food Packaging Based on Knowledge Map

ZHANG Yue-mei¹, HAN Ju¹, NING Hao-yue²

(1.School of Mechanical Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan 063000, China;

2.School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214000, China)

ABSTRACT: The work aims to study the major research direction, development trend and frontier hotspots in the field of food packaging. The core journal citation index database Web of Science was used to search the literatures titled “Food Packaging”. After selected and extracted, the literatures were exported to CiteSpace citation analysis software to study the overview of food packaging field from the perspectives of time distribution, author distribution, geographical distribution and journal distribution. Then, citation analysis, word frequency detection, burst word detection and other methods were applied to study the significant food packaging literature, research hotspots at different time periods and frontier trends in the field, and verify the accuracy of frontier hotspot analysis results by burst word detection. The research papers in the field of food packaging to be published in 2019 were expected to be no less than 2,000 articles. The research direction of important literatures in the field of food packaging in 2009-2019 were nanomaterials, chitosan films, essential oils, food packaging systems, lactic acid, active packaging, and 6 papers had high centrality. There were 22 major research hotspots, including the main technologies of food packaging, the main components of packaging materials, and the types of foods

收稿日期: 2019-05-17

基金项目: 2018 年河北省新工科交叉学科教学项目(2017GJXGK019); 华北理工大学教育教学改革重点项目(Z1619-19)

作者简介: 张月美(1997—), 女, 华北理工大学本科生, 专业方向为包装材料、包装结构设计。

通信作者: 韩炬(1982—), 男, 硕士, 华北理工大学副教授, 主要研究方向为机构动力学、数字化设计与制造。

to be packaged. In the past 3 years, the research front in the field of food packaging presented: from single packaging performance study (mechanical properties, antibacterial properties) to rich packaging needs research (human health, sterilization performance) to innovative packaging materials (chitosan, nanomaterials, biodegradable material) research. The CiteSpace-based scientific knowledge map mining covers the research overview, research hotspots and frontier development trends in the field of food packaging.

KEY WORDS: CiteSpace; food packaging; visual analysis; knowledge map

食品包装在食品生产中占据重要地位,具有保护食物免受外界物质或微生物污染、阻隔气体等作用。近年来,针对食品包装领域的综述性研究主要集中在包装材料、包装成分、包装技术^[1-3]等单一方向,全面阐述现代食品包装进展、食品包装技术及最新研究成果的综合研究并不多见。随着信息技术的发展,基于数据的信息挖掘被广泛应用于各行各业,CiteSpace是借助海量文献数据实现对研究领域研究进展、动态趋势^[4]等信息挖掘的手段之一。目前,使用CiteSpace进行的食品包装领域研究并不充分。

基于此,文中拟选取Web of Science核心数据库中的文献索引数据,主要通过引文分析、共引分析、突发词检测、耦合分析、词频分析等方法分析食品包装相关的文献,详细研究食品包装领域的总体情况、不同时期的研究热点、研究前沿及其动态趋势,提出食品包装领域的前沿科学问题及关键技术,对食品包装领域的研究进行整体性的归纳总结。

1 数据和方法

1.1 数据获取

文中数据来自核心期刊引文索引数据库Web of Science,使用“Food Packaging”为索引主题,数据主要源于SCI、SSCI和A&HCI等引文库,检索时间跨度控制为2009—2019年,共计检索到8301条,随机筛选、剔重后剩余7847条文献数据,勾选作者、标

题、来源出版物、会议信息、摘要、引用的参考文献等28项文献题录信息并导出为TXT文本文件。

1.2 研究方法

按照逻辑的分类,科学知识图谱可以分为数据层和模式层,见图1,虚线框内表示图谱的构建历程。知识图谱主要是通过“Entity-Relationship-Entity”符号形式实现对现实世界中概念及相互关系的描述^[5-6],知识图谱的主要实现流程见图1。

文中主要从文献的共同引用情况、耦合情况、词频探测情况、突发词检测情况等方面出发,绘制关于食品包装的科学知识图谱,进而借助科学知识图谱对食品包装研究范畴前沿、重要的课题进行剖析。

引文分析:在数学统计的基础上,通过归纳、概括等逻辑方法实现对科学期刊、论著等引用和被引用情况的描述,可以揭示引文的数据特征^[7]及隐含规律。

共引分析:1973年,Small^[8]提出将文献被引用情况纳入文献关系的计量中,文献共引是反映计量文献间关系的重要指标,在进行共引分析时,引用的文献数量越多,则该文献的共引强度越大,说明文献之间具有较高的关联性。

耦合分析:与共引分析对应,文献耦合关系^[9]是指文章中具有相同的参考文献,参考文献的数据相同,则说明存在耦合,相同的文献数量越多,则耦合强度越大。

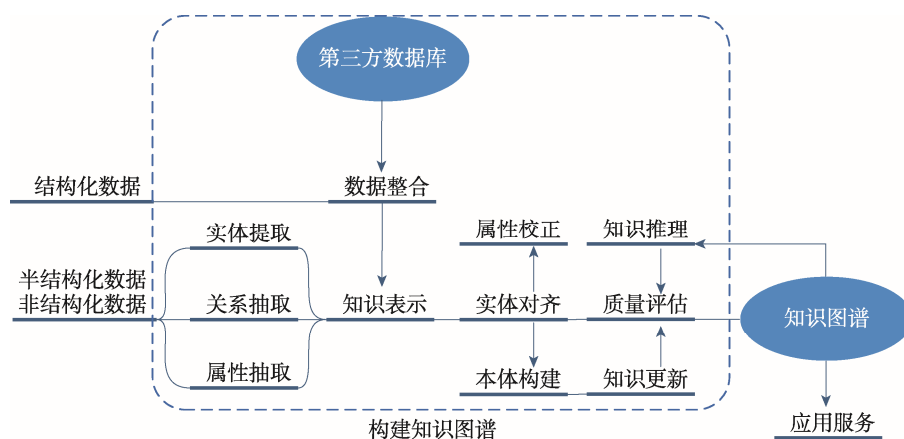


图1 科学知识图谱构建流程

Fig.1 Scientific knowledge map construction process

3) 地域分布。文中主要通过论文来源国、主要研究机构两方面对食品包装领域的地域分布进行研究,利用知识图谱中的年轮图^[11]进行分析:年轮颜色表示研究时间,年轮半径与相应时间分区内的引文数量成正比。此外,中介中心性是度量测度节点在图谱网络中重要程度的指标,在 CiteSpace 中采用紫色圈对重要节点进行标注。2009—2019 年的论文来源国及研究机构分析结果见图 4—5。由图 4—5 可知,相

2.2.4 乳酸薄膜

Young 等对 α -生育酚, BHT 和聚乙二醇的抗氧化聚乳酸(PLA)薄膜的浇铸挤出制作^[17]开展了研究, 以提升食品包装的抗氧化性、气体阻隔能力和活性清除能力。

2.3 食品包装当前的研究热点分析

研究热点主要反映了研究领域的学术趋势^[18]。文献关键词是文献较为重要的词汇, 主要反映了文章的研究方法和研究方向, 具有较高的概括性和总结性。随着时间推移, 高频率的关键词可以反映发展趋势和研究热点。

为尽量精准把握当前食品包装领域的研究热点, 在进行研究热点聚类分析时, 文中选取 2016—2019 年间的 4001 篇论文进行聚类分析, 关键字选择文档目录中的关键字, 设置最小生成树算法^[19]来处理共引网络路径, 在可视化结果呈现模式中选择静态和合并网络, 并对稳定关键字网络进行聚类, 结果见图 8。

分析图 8 可知, 研究热点知识图谱中出现了 4 处节点较大的关键词, 即可食用薄膜、纳米复合材料、力学性能和物理特性、包装质量, 词频探测结果最高的是可食用薄膜。可食用包装发展于 20 世纪初期, 随着“可降解材料”^[20—21]研究力度的增加, 可食用包装发展迅速, 其主要应用方向包括保鲜膜、包装薄膜、糕点包装、调味包装等。知识图谱词频统计结果说明

可食用包装薄膜是近 4 年可食性包装的重要研究方向。频次略低于可食用薄膜的节点是纳米复合材料, 纳米材料指三维空间中至少一维处于纳米尺度范围内的材料^[22—23], 该节点的频次情况说明食品包装领域的材料研究依赖纳米材料技术, 二者联系密切。包装性能(力学性能和物理性能)与包装质量^[24—25]的节点频次相当, 说明食品包装的研究除关注包装本身性能外, 包装后对产品质量的影响也是重点关注对象。

为了挖掘不同时段的研究热点, 对粗聚类结果进行降重、再聚类处理, 最终确定食品包装领域 2016—2019 年的主要文献类别有 22 类, 结果见表 4。

观察表 3 可知, 食品包装领域研究热点可归结为包装主要技术、包装主要物质、包装食品种类等 3 大类。包装主要技术包括食品包装的设计、食品包装的阻隔性能测试、灭菌技术、食品包装的生命周期评估等; 包装主要物质指食品包装中的产品以及具体成分, 包括不同成分的包装薄膜(PLA 薄膜、淀粉基薄膜)、二苯甲酮(塑料包装中的光引发剂)浓度、纳米木质素和埃洛石纳米管等。

包装主要技术: 针对包装技术聚类结果, 文中重点介绍了“气体转移多场耦合”。气体转移多场耦合相关的文献主要研究了食品包装垃圾填埋中气体转移的多场耦合情况^[26—28], 从产品包装生命周期终点对食品包装的环境污染程度进行评价分析, 该理论研究拓宽了食品包装的研究领域。

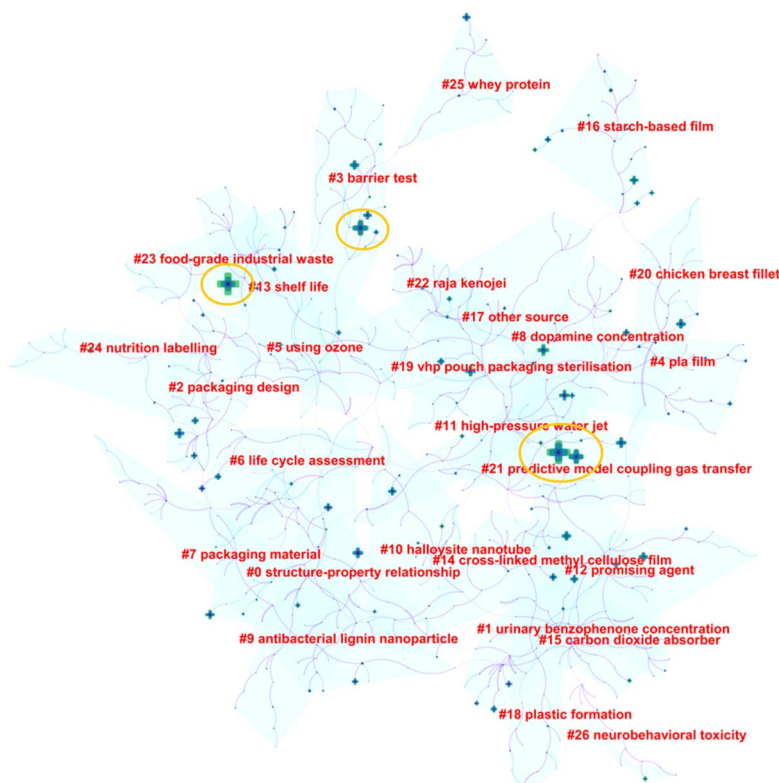


图 8 研究热点知识图谱

Fig.8 Research hotspot knowledge map

表 4 2016—2019 年食品包装研究热点精聚类结果
Tab.4 2016—2019 food packaging research hotspot clustering results

序号	数量	轮廓系数	类别(LSI)	序号	数量	轮廓系数	类别(LSI)
0	46	0.97	二苯甲酮浓度	12	24	0.978	催化剂
1	43	0.924	包装设计	13	24	0.989	保质期
2	38	0.936	阻隔性能测试	14	23	0.987	二氧化碳吸收剂
3	36	0.983	PLA 薄膜	15	23	1	淀粉基薄膜
4	32	0.994	臭氧	16	22	1	VHP 小包装灭菌
5	32	0.986	生命周期评估	17	21	0.988	鸡胸脯肉
6	30	0.952	包装材料	18	21	1	气体转移多场耦合
7	29	0.985	多巴胺浓度	19	21	0.991	斑鲛
8	27	0.991	纳米木质素	20	21	0.973	食品级工业废料
9	25	0.969	埃洛石纳米管	21	23	1	塑料成型
10	24	0.947	高压水射流(切割)	22	17	1	乳清蛋白

包装主要物质：二苯甲酮浓度的出现频次为 46，在所有聚类结果中属于高频类别，以二苯甲酮^[29]为代表的光引发剂具有气味小、无毒害、无环境污染、廉价易得等诸多优点，说明绿色包装的关注度、曝光度有所增加，是目前最重要的研究热点之一；值的关注的是，乳清蛋白是一种高营养的蛋白物质却出现在食品包装研究热点类别当中。对聚类中的 17 篇文献^[30—46]进一步分析发现，乳清蛋白可应用于食品工业，乳清蛋白薄膜对芳香类、脂类、氧气等阻隔性能较好，可应用于抗菌剂、防腐剂中，可以预见，随着“可降解”、“绿色包装”等环保理念的普及，乳清蛋白作为生物高分子材料，具有取代传统阻氧合成包装材料的潜力。

包装食品种类：在研究热点类别分析中出现了“鸡胸脯肉”和“斑鲛（一种鱼类）”等 2 种食品类型。分析类别内部文献发现，2 种类别中均出现较高频次的“运输”、“包装”等关键词。“鸡胸脯肉”是常见的高

蛋白肉类食品，需求量普遍较大；“斑鲛”^[47]作为海鲜的一种，具有明显的地域特征，仅在部分地区出产。这至少说明鱼肉类食品包装研究重点关注 2 个方面：需求量大出产量大的短途运输食品包装；需求量少出产量少的长途运输食品包装。

2.4 食品包装研究前沿趋势分析

学科领域的前沿趋势主要是研究当前新兴主题或新兴理论。文中主要采取扩展词方式检测食品包装范畴的研究前沿，通过调查主题词的时间分布特点，并依赖主题词频率的波动趋势，最终确定食品包装范畴的研究前沿和趋势。设定网络节点为主题词“Term”，网络阈值分别为(2,2,10)(3,3,10)(3,3,20)，选择膨胀名词短语，并选择探测膨胀词，运行 CiteSpace，以时间轴方式呈现食品包装研究前沿趋势的知识图谱，见图 9。



图 9 研究前沿趋势知识图谱
Fig.9 Research frontier trend knowledge map

在 2016 年,频次较高的主题词分别为力学性能、抗拉强度、抗菌性能、活性包装、食品安全,被引频次分别为 708, 547, 313, 258, 256, 主题词探测结果与研究热点分析结果基本一致。频次变化较高的主题词为力学性能、抗拉强度以及抗菌活性。结果表明,食品包装领域 2016 年研究前沿的重心在食品包装的物理、力学性能^[48—49]方面,与研究热点分析结果统一。

在 2017 年,红外光、人体健康、灭菌分析等词汇涌现并具有较高的词频变化率,包装性能频次仍维持在较高水平,壳聚糖、纳米粒子、可食用薄膜等概念出现。以上变化说明了食品包装领域的以下改变:一方面,随着新材料、新技术的产生,新型的、可食用的或可循环材料逐渐出现并成功应用于食品包装;另一方面,随着新型材料或新型包装^[50]的产生,对此类包装产品的包装性能进行分析发现,这类产品产生是 2017 年产品包装性能分析仍处于较高水平(相较于 2016 年)的原因。此外,“杀菌”、“人体健康”等主题词频次变化明显从侧面反映出食品包装在包装技术方面趋于成熟,研究重心偏移至产品包装对食品质量、人体健康的影响。

在 2018 年,相较于 2017 年,2018 年出现聚乳酸、食品接触材料、药物包装、可降解材料、抗菌性等频次变化明显的词汇。聚乳酸类、食品接触材料^[51]、可降解材料代表新型的包装材料或物质;药物包装的出现表明食品包装研究方向具有多样性;抗菌性在 2016 年、2017 年均为频次较高的名词,说明食品包装抗菌性是衡量食品包装性能的重要指标。

2016—2019 年间食品包装领域突发词检测结果见表 5,突发词检测结果与主题词检测结果基本一致。

表 5 研究前沿突发词检测结果
Tab.5 Detection results of research on the frontier burst word

类别	年份	强度	开始	结束
Migration	2016	7.9089	2016	2017
Oxygen permeability	2016	8.3769	2016	2017
Mechanical properties	2016	13.0744	2016	2017
Human health	2016	3.0348	2016	2017
Chitosan	2016	2.5784	2016	2017
Food packages	2016	2.1011	2016	2017
Packaging	2016	7.7744	2016	2017
Food quality	2016	7.6750	2016	2017

3 结语

包装领域的创新性和前沿性决定其未来的发展,文中基于 CiteSpace 科学知识图谱软件对 2009—2019 年间 Web of Science 收录的重要期刊开展了研究,并得出以下结论。

1) 从时间分布、作者分布、地域分布、期刊分布等 4 方面出发,对食品包装领域研究概况展开分析,发现以食品包装为主题的文献成上升趋势,并明确了食品包装领域文献的重要来源国(美国、中国)、来源机构(包装研究机构、大学等)以及重要期刊(《J FOOD SCI》等)。

2) 从共被引分析的结果出发,挖掘 2009—2019 年食品包装领域的重要影响文献,重点对食品包装领域高频共引文献结果中中心度大于 1 的聚类结果进行分析,明确了食品包装领域的关键节点文献。

3) 从关键词出发,利用聚类功能对食品包装领域 2016—2019 年间的研究热点进行了归纳总结,发现包装领域研究热点集中于包装主要技术、包装主要物质、包装食品种类等三大类,挖掘出食品包装的阻隔性能测试、灭菌技术、包装薄膜(PLA 薄膜、淀粉基薄膜)、二苯甲酮(塑料包装中的光引发剂)浓度、纳米木质素和埃洛石纳米管等共计 22 类研究热点。

4) 从食品包装文献数据的“主题词”出发,采用频次分析、突发词检测方法,深度挖掘食品包装领域当前重点关注的前沿及发展趋势,发现了食品包装领域研究前沿由单一的包装性能研究(力学性能、抗菌性能)到丰富的包装需求研究(人体健康、灭菌性能),再到创新性的包装材料(壳聚糖、纳米材料、可降解材料)的变化趋势。

参考文献:

- [1] GAO S, WANG Z W, CHANGYING H U. Research Progress in Ink Migration from Packaging Materials to Foods and Food Stimulants[J]. Food Science, 2012, 33(11): 317—322.
- [2] HELANTO K E, MATIKAINEN L, TALJA R, et al. Bio-based Polymers for Sustainable Packaging and Biobarriers: a Critical Review[J]. BioResources, 2019, 14(2): 4902—4951.
- [3] KUSWANDI B, WICAKSONO Y, JAYU S, et al. Smart Packaging: Sensors for Monitoring of Food Quality and Safety[J]. Sensing & Instrumentation for Food Quality & Safety, 2011, 5(4):137—146.
- [4] SU X, LI X, KANG Y. A Bibliometric Analysis of Research on Intangible Cultural Heritage Using Cite Space[J]. Sage Open, 2019, 9(2): 1—18.
- [5] QI J, HAO P T, TANG X Q. Review of Green Infrastructure Research from the Perspective of

- Scientific Knowledge Map[J]. Journal of Beijing Forestry University (Social Sciences), 2015, 14(4): 39—44.
- [6] SATTARI S, BACKHAUS W, HENNING K. The Web-based Knowledge Map: the Combination of Practise-oriented and Scientific Knowledge[C]// Proceedings of the IASTED International Conference Web-based Education, Chamonix, France, 2007(2): 475—480.
- [7] GARFIED E. Citation Analysis as a Tool in Journal Evaluation[J]. Science, 1972, 178(4060): 471—479.
- [8] SMALL H. Co-citation in the scientific literature: a New Measure of the Relationship between Two Documents[J]. Journal of the American Society for Information Science, 1973, 24, 265—269.
- [9] VALAFAR H, PRESTEGARD J H. Redcat: a Residual Dipolar Coupling Analysis Tool[J]. Journal of Magnetic Resonance, 2004, 167(2): 228—241.
- [10] VONGPUMIVITCH V, HUANG J Y, CHANG Y C. Frequency Analysis of the Words in the Academic Word List (AWL) and Non-AWL Content Words in Applied Linguistics Research Papers[J]. English for Specific Purposes, 2009, 28(1): 33—41.
- [11] 陈超美, 陈悦, 侯剑华, 等. CiteSpace II: 科学文献中新趋势与新动态的识别与可视化[J]. 情报学报, 2009, 28(3): 401—421.
CHEN Chao-mei, CHEN Yue, HOU Jian-hua, et al. Cite Space II: Identification and Visualization of New Trends and New Dynamics in Scientific Literature[J]. Journal of the China Society for Scientific Information, 2009, 28(3): 401—421.
- [12] SILVESTRE C, DURACCIO D, CIMMINO S. Food Packaging Based on Polymer Nanomaterials[J]. Progress in Polymer Science, 2011, 36(12): 1766—1782.
- [13] DUNCAN T V. Applications of Nanotechnology in Food Packaging and Food Safety: Barrier Materials, Antimicrobials and Sensors[J]. Journal of Colloid Interface Science, 2011, 363(1): 1—24.
- [14] MARTINS J T, CERQUEIRA M A, VICENTE A A. Influence of A-tocopherol on Physicochemical Properties of Chitosan-based Films[J]. Food Hydrocolloids, 2012, 27(1): 220—227.
- [15] REZAEI M, OJAGH S M, RAZAVI S H, et al. Development and Evaluation of a Novel Biodegradable Film Made from Chitosan and Cinnamon Essential Oil with Low Affinity Toward Water[J]. Food Chemistry, 2010, 122(1): 161—166.
- [16] COFRE D C, AZOCAR M I, ENRIONE J, et al. Influence of Glassy or Rubbery State on the Antimicrobial Activity of Chitosan-gelatin Films[J]. Journal of Food Research, 2012, 1(1): 184—193.
- [17] YOUNGJAE B, YOUNG T K, WHITESIDE S. Characterization of an Antioxidant Polylactic Acid (PLA) Film Prepared with A-tocopherol, BHT and Polyethylene Glycol Using Film Cast Extruder[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 100(2): 239—244.
- [18] PU Q H, LYU Q J, LIU H, et al. Bibliometric Analysis of the Top-cited Articles on Islet Transplantation[J]. Medicine, 2017, 96(44): 1—12.
- [19] 朱利, 邱媛媛, 于帅, 等. 一种基于快速 k-近邻的最小生成树离群检测方法[J]. 计算机学报, 2017(12): 224—238.
ZHU Li, QIU Yuan-yuan, YU Shuai, et al. A Minimum Spanning Tree Outlier Detection Method Based on Fast k-nearest Neighbors[J]. Chinese Journal of Computers, 2017(12): 224—238.
- [20] NIE X H, GONG Y D, WANG N N, et al. Preparation and Characterization of Edible Myofibrillar Protein-based Film Incorporated with Grape Seed Procyanidins and Green Tea Polyphenol[J]. LWT-food Science and Technology, 2015, 64(2): 1042—1046.
- [21] SINGH P, MAGALHAES S, ALVES L, et al. Cellulose-based Edible Films for Probiotic Entrapment[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 88: 68—74.
- [22] MAMATHA G, RAJULU A V, MADHUKAR K. Development and Analysis of Cellulose Nanocomposite Films with in Situ Generated Silver Nanoparticles Using Tamarind Nut Powder as a Reducing Agent[J]. International Journal of Polymer Analysis and Characterization, 2019, 24: 219—226.
- [23] UMMARTYOTIN S, JUNTARO J, SAIN M, et al. Development of Transparent Bacterial Cellulose Nanocomposite Film as Substrate for Flexible Organic Light Emitting Diode (Oled) Display[J]. Industrial Crops and Products, 2012, 35(1): 92—97.
- [24] KASSAB Z, AZIZ F, HANNACHE H, et al. Improved Mechanical Properties of K-carrageenan-based Nanocomposite Films Reinforced with Cellulose Nanocrystals[J]. International Journal of Biological Macromolecules 2019(123): 1248—1256.
- [25] SHCHETININ Y, KOPYLOV Y, ZHIRKOV A. The Effect of Surface Active Substances on the Mechanical Properties of a Copper-matrix Nanocomposite[J]. Materials Science Forum, 2019, 945: 493—497.
- [26] WU C H, LI Y Z, DU Y, et al. Preparation and Characterization of Konjac Glucomannan-based Bionanocomposite Film for Active Food Packaging[J]. Food Hydrocolloids, 2019(89): 682—690.
- [27] PAULA M, DIEGO I, DIONISIO R, et al. Gamma Irradiation Effects on Polycaprolactone/Zinc Oxide Nanocomposite Films[J]. Polimeros-ciencia E Tecnologia, 2019, 29(1): 1—13.
- [28] SOGUT E, SEYDIM A C. The Effects of Chitosan-and Polycaprolactone-based Bilayer Films Incorporated with Grape Seed Extract and Nanocellulose on the Quality of Chicken Breast Fillets[J]. Lebensmittel-wissenschaft Und-technologie/Food Science and Technology, 2018, 101: 799—805.
- [29] HE X J, DENG H, WANG H M. The Current Application of Nanotechnology in Food and Agriculture[J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2019, 27: 1—21.
- [30] CHEN L, GNANRAJ C, ARULSELVAN P, et al. A

- Review on Advanced Microencapsulation Technology to Enhance Bioavailability of Phenolic Compounds: Based on Its Activity in the Treatment of Type 2 Diabetes[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 85: 149—162.
- [31] PEREIRA R C, CARNEIRO J, BORAGES S V, et al. Preparation and Characterization of Nanocomposites from Whey Protein Concentrate Activated with Lycopene[J]. *Journal of Food Science*, 2016, 81(3): 637—642.
- [32] SOUKOULIS C, BEHBOUDIJOBBEHDAR S, MACNAUGHTAN W, et al. Stability of Lactobacillus Rhamnosus GG Incorporated in Edible Films: Impact of Anionic Biopolymers and Whey Protein Concentrate[J]. *Food Hydrocolloids*, 2017, 70: 345—355.
- [33] MULCAHY E M, FARGIER-LAGRANGE M, MULVIHILL D M, et al. Characterisation of Heat-induced Protein Aggregation in Whey Protein Isolate and the Influence of Aggregation on the Availability of Amino Groups as Measured by the Ortho-phthalaldehyde (OPA) and Trinitrobenzenesulfonic Acid (TNBS) Methods[J]. *Food Chemistry*, 2017, 229: 66—74.
- [34] ABAEE A, MADADLOU A. Niosome-loaded Cold-set Whey Protein Hydrogels[J]. *Food Chemistry*, 2016, 196: 106—113.
- [35] RIBEIRO-SANTOS R, SANCHES-SILVA A, MOTA J F G, et al. Combined Use of Essential Oils Applied to Protein Base Active Food Packaging: Study in Vitro and in a Food Simulant[J]. *European Polymer Journal*, 2017, 93: 75—86.
- [36] SUKYAI P, ANONGJANYA P, BUNYAHWUTHAKUL N, et al. Effect of Cellulose Nanocrystals from Sugar-cane Bagasse on Whey Protein Isolate-based Films[J]. *Food Research International*, 2018, 154: 112—120.
- [37] CARVALHO R A, SANTOS T A, AZEVEDO V M D, et al. Bio-nanocomposites for Food Packaging Applications: Effect of Cellulose Nanofibers on Morphological, Mechanical, Optical and Barrier Properties[J]. *Polymer International*, 2017, 67(4): 386—392.
- [38] SUKHIJA S, SINGH S, RIAR C S. Physical, Mechanical, Morphological, and Barrier Properties of Elephant Foot Yam Starch, Whey Protein Concentrate and Psyllium Husk Based Composite Biodegradable Films[J]. *Polymer Composites*, 2018, 39: 407—415.
- [39] TAI H K, JUSOH S A, SIU S W I. Chaos-embedded Particle Swarm Optimization Approach for Protein-ligand Docking and Virtual Screening[J]. *Journal of Cheminformatics*, 2018, 10(1): 1—13.
- [40] ANDERSON G H, FABEK H, AKILEN R, et al. Acute Effects of Monosodium Glutamate Addition to Whey Protein on Appetite, Food Intake, Blood Glucose, Insulin and Gut Hormones in Healthy Young Men[J]. *Appetite*, 2018, 120: 92—99.
- [41] OZER B B P, UZ M, OYMACI P, et al. Development of a Novel Strategy for Controlled Release of Lysozyme From Whey Protein Isolate Based Active Food Packaging Films[J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, 61(3): 877—886.
- [42] ALEHOSSEINI A, GOMEZ-MASCARAQUE L G, MARTINEZ-SANZ M, et al. Electrospun Curcumin-loaded Protein Nanofiber Mats as Active/Bioactive Coatings for Food Packaging Applications[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 87: 758—771.
- [43] ROMANI V P, OLSEN B, COLLARES M P, et al. Improvement of Fish Protein Films Properties for Food Packaging Through Glow Discharge Plasma Application[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 87: 970—976.
- [44] AYDOGDU A, YILDIZ E, AYHAN Z, AYDOGDU Y, et al. Nanostructured Poly (Lactic Acid)/Soy Protein/HPMC Films by Electrospinning for Potential Applications in Food Industry[J]. *European Polymer Journal* 2019, 112: 477—486.
- [45] ZHANG Z, ARRIGHI V, CAMPBELL L, et al. Properties of Partially Denatured Whey Protein Products: Viscoelastic Properties[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 80: 298—308.
- [46] SILVA K S, MAURO M A, GONCALVES M P, et al. Synergistic Interactions of Locust Bean Gum with Whey Proteins: Effect on Physicochemical and Microstructural Properties of Whey Protein-based Films[J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, 54: 179—188.
- [47] TINACCI L, ARMANI A, GUIDI A, et al. Histological Discrimination of Fresh and Frozen/Thawed Fish Meat: European Hake (*Merluccius Merluccius*) as a Possible Model for White Meat Fish Species[J]. *Food Control*, 2018, 92: 154—161.
- [48] RIBEIRO-SANTOS R, ANDRADE M, MELO N R D, et al. Use of Essential Oils in Active Food Packaging: Recent Advances and Future Trends[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2017, 61: 132—140.
- [49] MAKAREMI M, PASBAKHS P, CAVALLARO G, et al. Effect of Morphology and Size of Halloysite Nanotubes on Functional Pectin Bionanocomposites for Food Packaging Applications[J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2017, 9(20): 17476—17488.
- [50] LATORRESANCHEZ A, JOHANSSON M, ZHANG Y, et al. Active Quinine-based Films Able to Release Antimicrobial Compounds via Melt Quaternization at Low Temperature[J]. *Journal of Materials Chemistry B*, 2018, 6(1): 98—104.
- [51] TORRES A, ILABACA E, ROJAS A, et al. Effect of Processing Conditions on the Physical, Chemical and Transport Properties of Polylactic Acid Films Containing Thymol Incorporated by Supercritical Impregnation[J]. *European Polymer Journal*, 2017, 89: 195—210.