

# 基于文献计量的近红外光谱领域 研究进展与发展前沿分析

程耘康<sup>1,2</sup>, 薛志平<sup>1</sup>, 代廷广<sup>2\*</sup>, 刘庆玉<sup>1\*</sup>, 贺莉<sup>3\*</sup>

(1. 沈阳农业大学 工程学院, 辽宁 沈阳 110161; 2. 朝阳市农业农村局, 辽宁 朝阳 122000; 3. 农业农村部成都沼气科学研究所, 四川 成都 610041)

**摘要:** 近红外光谱作为一种无损、高效、便捷的检测技术,具有操作简单、分析成本低、结果重现性强等优点,是一个具有较强综合性的跨学科研究领域。基于文献计量对 CNKI 收录的近红外光谱领域 1979~2021 年的 14207 篇中文文献,以及 WOS 核心合集收录的该领域 1993~2021 年的 37244 篇外文文献从年度发文趋势、发文机构、资助基金、关键词共现、国际合作情况、热点前沿等角度进行可视化分析。结果表明,近年来,近红外光谱领域的研究在全球范围内总体上呈现出趋冷的态势,相较于一些国家,尽管我国在该领域的研究水平较为成熟,但其研究方向及覆盖领域较为单一。

**关键词:** 近红外光谱; 文献计量; 可视化分析

**中图分类号:** R45 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1166(2024)02-0020-11

**DOI:** 10.20022/j.cnki.1000-1166.2024020020

**Status and Trends of Near-infrared Spectroscopy Research Based on Bibliometrics / CHENG Yunkang<sup>1,2</sup>, XUE Zhiping<sup>1</sup>, DAI Tingguang<sup>2\*</sup>, LIU Qingyu<sup>1\*</sup>, HE Li<sup>3\*</sup> / (1. College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China; 2. Chaoyang Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Chaoyang 122000, China; 3. Biogas Institute of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chengdu 610041, China)**

**Abstract:** As a nondestructive, efficient and convenient detection technique, near infrared spectroscopy has the advantages of simple operation, low analysis cost and strong reproducibility of results, which is a highly comprehensive and interdisciplinary research field. Based on bibliometrics, 14207 Chinese literatures from 1979~2021 included in CNKI and 37244 foreign literatures from 1993~2021 included in Web of science Core Collection in the field of near infrared spectroscopy were visually analyzed in terms of annual publication trends, publication institutions, fund, co-occurrence of keywords, international cooperation, hotspot and frontier, etc. The results show that in recent years, the research of near infrared spectroscopy worldwide has generally shown a trend of cooling. Compared with some countries, China's research in this field is relatively simple in direction and coverage, though reaching a relatively mature level of research.

**Key words:** near infrared spectroscopy; bibliometrics; visualized analysis

近红外光谱是介于可见光和中红外光之间的电磁波谱,其波长范围为 780~2526 nm<sup>[1]</sup>。近红外光谱技术的原理是基于光发射的电磁辐射与样品成分之间的相互作用对样品进行分析检测<sup>[2]</sup>。当有光束通过样品照射时,样品中的分子对特定频带下光选择性地吸收,引起样品分子中的含氢基团如(C-

H、O-H、N-H、C-O 等)的电磁振动反应,产生吸收或反射光谱,从而反映出与化学基团有关的信息<sup>[3]</sup>。通常将近红外光谱技术与偏最小二乘法、人工神经网络等化学计量学工具结合,建立样品的近红外光谱与相应的待测样品的性质或数据之间的模型,实现对样品的定性和定量分析<sup>[4]</sup>。与传统分析技术

**收稿日期:** 2023-08-12

**项目来源:** 营口市“揭榜挂帅”关键技术攻关项目(2021JH3/0200003); 国家自然科学基金青年项目(31902208); 四川省科技支撑项目(2021ZDZX0012)。

**作者简介:** 程耘康(1998-),男,辽宁鞍山人,在读博士,主要研究方向为废弃物资源化利用。

**通信作者:** 刘庆玉(1967-),男,内蒙古赤峰人,教授,主要研究方向为废弃物资源化利用;

贺莉(1981-),女,重庆铜梁人,研究员,主要研究方向为废弃物资源化利用;

代廷广(1969-),男,辽宁朝阳人,副高级工程师,主要研究方向为农村节能、农村能源开发利用和生态农业、设施农业技术应用。

相比,近红外光谱分析技术具有快速、无损、高精度、强重现性、不消耗化学试剂、无需对样品进行前处理等优点<sup>[5]</sup>,目前已被广泛应用于农业、医药、食品行业等诸多领域。

文献计量学是对文献的定量研究<sup>[6]</sup>,通过对文献的产出数量和质量进行客观分析,可以了解相关领域的发展水平、研究热点、机构实力等情况,并且可以对未来的发展趋势进行预测<sup>[7]</sup>。这在一定程度上弥补了人工预测在该领域主观看法上的不足,为更好地把握学科研究态势提供参考<sup>[8]</sup>。文献计量网络分析是在文献计量学的基础上与社会网络分析相结合,来对某一学科领域进行宏观回顾的高效方式。其可通过形成网络结构的方法建立基于国家、期刊、机构、关键词等分析要素之间的知识图谱,现已被大量使用且被证明是一种定量评估学术文献的发展趋势的有效工具<sup>[9]</sup>。

本文采用 VOSviewer 和 Citespace 软件,结合数据库自带的分析功能和 Excel 的统计功能,对中国知网(CNKI)核心数据库和 Web of science 核心合集收录的近红外光谱领域相关文献进行可视化分析,以更好地了解该领域在中国以及全球范围内的研究现状和发展历程,把握该领域的研究热点及发展前景,分析国内外该领域研究水平的差距。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

本文所用数据包括中文文献和外文文献两部分<sup>[10]</sup>,二者分别以中国知网(CNKI)核心数据库和 Web of science 核心合集作为数据来源检索近红外光谱研究领域的相关文献。在中国知网(CNKI)核心数据库中,输入检索式“主题=近红外光谱”检索自 1979 年 1 月 1 日到 2021 年 12 月 31 日的中文文献;在 Web of science 核心合集中,输入检索式“SU = near-infrared spectroscopy”检索自 1993 年 1 月 1 日到 2021 年 12 月 31 日的外文文献。检索日期为 2022 年 3 月 17 日。

### 1.2 研究方法

本文采用 CNKI 及 WOS 核心合集自带的可视化计量分析功能结合 Excel 统计功能对近红外光谱领域在这两个数据库的发文进行年度发文趋势、科研机构、来源出版物及资助基金的分析 and 讨论;采用 Vosviewer 软件生成高频关键词聚类视图及世界各国发文量及合作关系视图,分析关键词共现性,讨论

近红外光谱领域在中国及全球范围内的主流研究方向,比较各国的发文量,讨论该领域的国际合作情况;采用 Citespace 软件导出关键词突现时间图谱及 Timeline 聚类分析视图,分析讨论近红外光谱领域在国内外外的研究热点及学术前沿。

## 2 结果与讨论

### 2.1 文献计量统计结果

#### 2.1.1 年度发文量及变化趋势

年发文量可以体现本研究领域的研究热度和研究水平<sup>[11]</sup>,年发文量增长率是本年度增长率基于上一年的增长情况,体现发文量增长趋势,可一定程度上反映本研究领域的发展速度及研究潜力,进而判断在何时出现新的研究方向及应用领域。

近红外光谱研究领域的中文文献最早于 1979 年开始发表,截至 2021 年末,共发表了 14207 篇文献。该领域 1979 ~ 2021 年中文文献的年发文量及增长趋势见图 1。其中,在时间跨度为 10 年的 1979 ~ 1988 年间,该领域在 1981、1982、1984、1988 年未发表文献,年均发文量不足 2 篇,说明在这段时间,国内该领域的研究热度极低,研究水平处于起步阶段,不能保证每年都有该领域的文献产出;1989 年后,该领域每年都会有一定量文献出版,直至 2001 年,年均文献出版量达 27 篇,在这一阶段,年发文量虽维持在一个较低的水平,但较上一阶段,该领域的热度及研究水平有所起色;2002 年,年发文量破百,2002 ~ 2012 年,该领域发文量在以较大的涨幅逐年递增,于 2012 年达到峰值,为 891 篇,说明近红外光谱的研究热度在这一阶段逐年升高,近红外光谱的研究水平处于一个高速发展阶段,近红外光谱技术的应用领域也在逐步扩大;2012 ~ 2017 年,发文量出现波动,但总体呈上升趋势,仅在 2013 年和 2015 年出现发文量较上一年减少的情况,在 2017 年达到峰值,为 1021 篇,这一定程度上体现出此阶段近红外光谱领域的发展潜力,在这一阶段,该领域可能出现新的研究方向和应用领域;2017 ~ 2020 年,该领域发文量开始逐年减少,但减少的幅度极小,说明这一阶段近红外光谱领域的受关注度较为稳定。2021 年,近红外光谱领域的研究热度有明显降低,其年发文量相较于前 3 年有一个较大幅度的下跌,跌至 807 篇,较 2020 年降低 16.89%。

近红外光谱研究领域的外文文献最早于 1993 年开始发表,截至 2021 年末,共发表了 37244 篇文献。

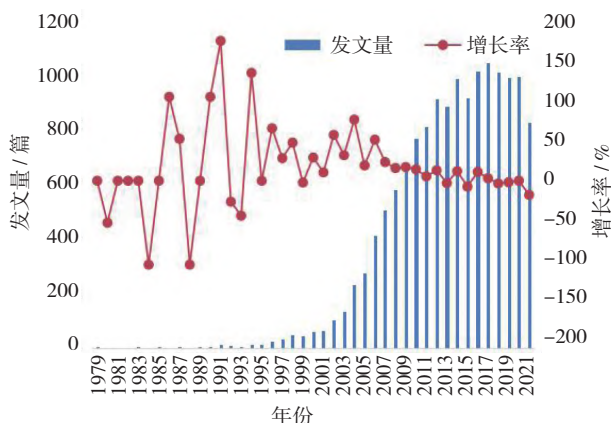


图1 近红外光谱领域 1979~2021 年中文文献年发文章量及年增长率

该领域 1993~2021 年外文文献的年发文章量及增长趋势见图 2。其中,1993~2008 年,该领域研究热度极低,年均发文章量 1.7 篇,其中 1994、1997、1999、2003 年这 4 个年份无相关文献发表;2009 年,该领域的研究热度及研究水平突然升高,年发文章量激增,较 2008 年 5 篇的年发文章量增长了 36120%,达到 1806 篇;2019~2014 年为一个快速发展的阶段,研究热度发展迅速,其年发文章量在以较大的涨幅逐年递增,在 2014 年达到峰值,为 2877 篇;2015 年,该领域研究热度有所减缓,年发文章量较 2014 年减少 39 篇,但在此后年发文章量有所回升,直至 2018 年达到峰值,为 3491 篇,说明在这一阶段近红外领域出现一些新的研究方向;2019 年研究热度再次减缓,年发文章量与 2018 年基本持平;2020 年,该领域年发文章量又以 7.90% 的增长率达到了 3757 篇,研究热度及研究水平再次有所提升;2021 年研究热度再次减缓,年发文章量减少至 3664 篇。

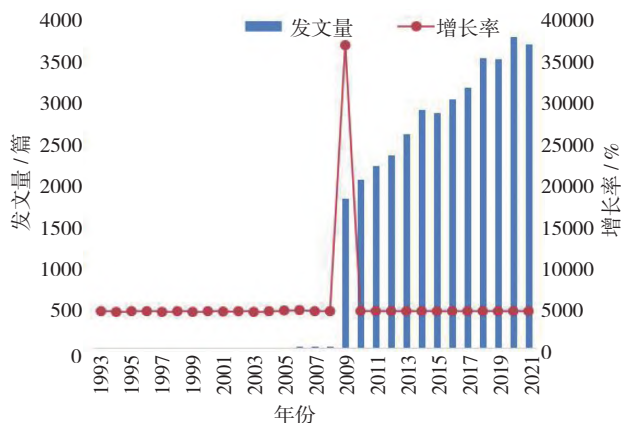


图2 近红外光谱领域 1993~2021 年外文文献年发文章量及年增长率

## 2.1.2 科研机构、来源出版物和基金分析

对科研机构发文进行定量分析,可评估机构在领域内的研究水平、权威性和影响力<sup>[12]</sup>。

近红外光谱领域 1979~2021 年中文文献总发文章量排名前 20 的机构列于表 1。由表可知,浙江大学和中国农业大学的发文章量位居首位和次位,分别为 693 篇和 635 篇,占总文献量的 4.88% 和 4.47%,远高于第三位江苏大学发表的 315 篇。由此可看出,浙江大学和中国农业大学这 2 个机构在我国近红外光谱领域的科研成果占比较大,在该领域有较高的权威性和影响力。浙江大学早在 1999 年开始讨论使用近红外光谱分析稻米表观直链淀粉含量时,不同的光谱预处理和回归统计方法对建立回归方程的影响,开启国内近红外光谱法测定稻米品质的先河;中国农业大学于 1997 年论述了近红外光谱分析技术在评定评定饲料营养价值中的应用,是国内已知最早将近红外光谱技术应用于畜牧兽医领域的研究机构之一;吉林大学早在 1996 年研究了近红外光谱的无损检测,以及基于近红外漫反射光谱技术的主成分分析,为该领域学术研究水平的发展成熟打下坚实的理论基础。在各机构中,江苏大学、山东大学、山西农业大学、南开大学、北京工商大学在近 5 年的发文章量占比超过 30%,其中江苏大学更是达到 40.24%,说明在近 5 年,以上机构在近红外光谱领域的研究较为活跃,对该领域的关注度较高,研究水平发展较为迅速。

近红外光谱领域 1993~2021 年外文文献总发文章量排名前 20 的机构见表 2。其中,法国国家学科研究中心(CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE CNRS)、加州大学系统(UNIVERSITY OF CALIFORNIA SYSTEM)、中科院(CHINESE ACADEMY OF SCIENCES)的总发文章量分别为 1215 篇、1025 篇、995 篇位于前 3 位,这 3 个机构分别占 WOS 核心合集收录近红外光谱领域发文章总量的 3.26%、2.75% 和 2.67%。说明这 3 所机构在世界范围内关于近红外光谱领域的研究水平较高,科研成果占比较大,有一定的权威性和影响力。在这 20 个机构中,有 3 个机构来自中国,分别为中国科学院(CHINESE ACADEMY OF SCIENCES, 995 篇)、浙江大学(ZHEJIANG UNIVERSITY, 643 篇)和中国农业大学(CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY, 445 篇);其余机构有 7 个来自美国、3 个来自法国、2 个来自英国、意大利、日本、德国、丹麦、西班牙

各有 1 个机构在列。在世界范围内,我国在近红外光谱领域的研究比较活跃,然而,由发文量和发文机构所体现该领域的研究水平上我国相较于美国、法国等发达国家仍存在一定差距。

表 1 近红外光谱领域中文文献总发文量排名前 20 的机构

| 机构                  | 发文量/篇 | 占总文献比例/% | 近 5 年发文量占比/% |
|---------------------|-------|----------|--------------|
| 浙江大学                | 693   | 4.88     | 16.16        |
| 中国农业大学              | 635   | 4.47     | 16.85        |
| 江苏大学                | 315   | 2.22     | 34.28        |
| 吉林大学                | 298   | 2.10     | 9.40         |
| 天津大学                | 283   | 1.99     | 20.85        |
| 西北农林科技大学            | 265   | 1.86     | 23.40        |
| 华中农业大学              | 172   | 1.21     | 25.58        |
| 山东大学                | 169   | 1.19     | 40.24        |
| 华东交通大学              | 151   | 1.06     | 27.81        |
| 西南大学                | 136   | 0.96     | 22.06        |
| 山西农业大学              | 133   | 0.94     | 37.59        |
| 北京中医药大学             | 131   | 0.92     | 23.66        |
| 南开大学                | 126   | 0.89     | 31.75        |
| 暨南大学                | 123   | 0.86     | 21.14        |
| 中国石化石油化工科学研究院       | 122   | 0.86     | 9.02         |
| 河南中医学院              | 116   | 0.82     | 0.00         |
| 北京工商大学              | 115   | 0.81     | 36.52        |
| 北京林业大学              | 114   | 0.80     | 29.82        |
| 清华大学                | 110   | 0.77     | 8.18         |
| 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 | 109   | 0.77     | 9.17         |

表 2 近红外光谱领域外文文献总发文量排名前 20 的机构

| 机构                                                         | 国家  | 发文量/篇 | 占总文献比例/% |
|------------------------------------------------------------|-----|-------|----------|
| CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE CNRS          | 法国  | 1215  | 3.26     |
| UNIVERSITY OF CALIFORNIA SYSTEM                            | 美国  | 1025  | 2.75     |
| CHINESE ACADEMY OF SCIENCES                                | 中国  | 995   | 2.67     |
| MAX PLANCK SOCIETY                                         | 德国  | 710   | 1.90     |
| ZHEJIANG UNIVERSITY                                        | 中国  | 643   | 1.73     |
| HARVARD UNIVERSITY                                         | 美国  | 636   | 1.71     |
| UNIVERSITY OF LONDON                                       | 英国  | 631   | 1.69     |
| NATIONAL AERONAUTICS SPACE ADMINISTRATION NASA             | 美国  | 609   | 1.64     |
| UNIVERSITY COLLEGE LONDON                                  | 英国  | 518   | 1.39     |
| UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM                                 | 美国  | 513   | 1.38     |
| CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY                         | 美国  | 503   | 1.35     |
| ISTITUTO NAZIONALE ASTROFISICA INAF                        | 意大利 | 478   | 1.28     |
| CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE CNR                     | 法国  | 457   | 1.23     |
| UNIVERSITE DE PARIS                                        | 法国  | 454   | 1.22     |
| UNIVERSITY OF TOKYO                                        | 日本  | 451   | 1.21     |
| UNIVERSITY OF COPENHAGEN                                   | 丹麦  | 446   | 1.20     |
| CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY                              | 中国  | 445   | 1.19     |
| CONSEJO SUPERIOR DE INVESTGACIONES CIENTIFICAS CSIC        | 西班牙 | 412   | 1.11     |
| UNITED STATES DEPARTMENTS OF AGRICULTURE USDA              | 美国  | 411   | 1.10     |
| PENNSYLVANIA COMMONWEALTH SYSTEM OF HIGHER EDUCATION PCSHE | 美国  | 388   | 1.04     |

表 3 为近红外光谱领域刊文量超过 50 篇的中文期刊,其中《农业机械学报》(161 篇)、《食品科

学》(157 篇)、《农业工程学报》(154 篇)的刊文量占比较大,分别占知网收录近红外光谱领域中文文献总量的 1.13%、1.10%、1.08%。各期刊在近红外光谱领域均有一定量的无损检测、快速检测、近红外光谱技术等主题的文献发表,同一期刊在该领域可涉及化学、轻工业手工业、农作物、中草药等多个专题,说明近红外光谱领域是具有较强综合性的跨

学科研究领域。在表 3 的期刊中,《农业工程学报》的影响因子最高,其复合影响因子为 3.446,综合影响因子为 2.615;影响因子最低的期刊为《光学学报》,其复合影响因子为 2.277,综合影响因子为 1.859。这说明我国在近红外光谱领域的研究水平较为成熟,且能够保持一定的创新能力。

表 3 近红外光谱领域刊文近量超过 50 篇的中文期刊

| 期刊名称   | 文献数<br>篇 | 占总文献比例<br>% | 篇均被引量<br>次 | 2021 年影响因子 |        |
|--------|----------|-------------|------------|------------|--------|
|        |          |             |            | 复合影响因子     | 综合影响因子 |
| 农业机械学报 | 161      | 1.13        | 23.41      | 3.327      | 2.591  |
| 食品科学   | 157      | 1.10        | 18.41      | 2.862      | 2.187  |
| 农业工程学报 | 154      | 1.08        | 36.09      | 3.446      | 2.615  |
| 中国中药杂志 | 90       | 0.63        | 19.68      | 3.076      | 2.495  |
| 中草药    | 55       | 0.39        | 20.49      | 3.160      | 2.457  |
| 光学学报   | 55       | 0.39        | 26.53      | 2.277      | 1.859  |

表 4 为近红外光谱领域刊文量超过 200 篇的外文期刊。其中发文量最多的期刊为国际光学工程学会的会议期刊(PROCEEDINGS OF SPIE),发文量达 1314 篇,占 WOS 核心合集收录近红外光谱领域文献的 3.53%;其次是《光谱学与光谱分析》(SPECTROSCOPY AND SPECTRAL ANALYSIS),发文量为 995 篇,占比 2.67%。表 4 的期刊中,发文量最多的学术期刊,即《光谱学与光谱分析》的影响因子仅为 0.5889,而影响因子最高的学术期刊《食品化学》(FOOD CHEMISTRY,影响因子 7.5146)在该领域的发文量仅为 286 篇,仅占总文献量的 0.77%。由表中的数据可知,影响因子超过 5.0 的期刊有 7 个,累计仅占总发文量的 7.21%。这说明,在世界范围内,近红外光谱领域的学术水平和创新能力尚有一定的提升空间。

期刊发文篇均被引频次可一定程度上反映期刊在某领域研究中所具有的影响力。由表 3 数据可知,国内在近红外光谱领域比较有影响力的期刊为《农业工程学报》,篇均被引量可达 36.09 次;由表 4 数据可知,从篇均被引量来看,《神经影像》(NEUROIMAGE)以 65.81 次排在首位,《传感器》(SENSORS)次之,篇均被引 54.95 次,《天体物理杂志》(ASTROPHYSICAL JOURNAL)和《食品化学》(FOOD CHEMISTRY)排第三和第四,篇均被引量分别为 42.67 次和 32.82 次。上述期刊在近红外光谱领域的发文量虽然不是最多,但其在国际上,在该领

域的研究中具有较高的影响力。由此可看出近红外光谱在国内外的侧重情况有所不同,即:国内更侧重于农业工程方面,而国际上对近红外光谱的研究已经更偏重于医学、传感等领域。

基金可反映国家和政府对某领域研究的扶持力度,基金扶持能够促进研究领域学术水平的发展和成熟<sup>[12]</sup>。

近红外光谱领域国内排名前 10 的资助基金见表 5,国家自然科学基金资助出版 2574 篇文献,占中国知网收录的近红外光谱领域的所有中文文献的 18.14% 位居榜首,远高于排名第二的国家科技支撑计划(639 篇)。在这 10 个资助基金中,国家级基金有 8 个,说明中央对该领域扶持力度很大;而浙江省自然科学基金位列第 6,也说明该省对近红外光谱领域的重视程度及研究投入优于其他省,结合对发文机构发文量的统计,这也一定程度上说明浙江大学在该领域的学术水平和研究成果为何能够在全国乃至全球范围内达到一定的高度。国内其他地区应向浙江省看齐,结合本地特色产业、特色农作物等特点,共同促进近红外光谱领域学术水平高速发展。

近红外光谱领域国际排名前 10 的资助基金情况见表 6,由数据可知中国国家自然科学基金(National Natural Science Foundation Of China Nsf)为资助发文量为 3815 篇,占 WOS 核心合集收录近红外光谱领域所有文献的 10.24%;其次为欧洲委员会(European Commission),资助发文 2103 篇,占比

表4 近红外光谱领域刊文近量超过200篇的外文期刊

| 期刊名称                                                               | 文献数<br>篇 | 占总文献比例<br>% | 篇均被引量<br>次 | 2021年影响因子 |
|--------------------------------------------------------------------|----------|-------------|------------|-----------|
| PROCEEDINGS OF SPIE                                                | 1314     | 3.53        | —          | —         |
| SPECTROSCOPY AND SPECTRAL ANALYSIS                                 | 995      | 2.67        | 2.63       | 0.5889    |
| ASTROPHYSICAL JOURNAL                                              | 639      | 1.72        | 42.67      | 5.8768    |
| ASTRONOMY ASTROPHYSICS                                             | 547      | 1.47        | 26.00      | 5.8029    |
| JOURNAL OF NEAR INFRARED SPECTROSCOPY                              | 525      | 1.41        | 10.76      | 1.3721    |
| MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY                  | 499      | 1.34        | 25.04      | 5.2871    |
| JOURNAL OF BIOMEDICAL OPTICS                                       | 402      | 1.08        | 23.49      | 3.1700    |
| SPECTROCHIMICA ACTA PART A MOLECULAR AND BIOMOLECULAR SPECTROSCOPY | 396      | 1.06        | 15.10      | 4.0983    |
| SCIENTIFIC REPORTS                                                 | 337      | 0.90        | 13.76      | 4.3804    |
| APPLIED SPECTROSCOPY                                               | 303      | 0.81        | 13.97      | 2.3880    |
| PLOS ONE                                                           | 299      | 0.80        | 19.74      | 3.2400    |
| FOOD CHEMISTRY                                                     | 286      | 0.77        | 32.82      | 7.5146    |
| ICARUS                                                             | 277      | 0.74        | 23.65      | 3.5080    |
| NEUROIMAGE                                                         | 273      | 0.73        | 65.81      | 6.5560    |
| ADVANCES IN EXPERIMENTAL MEDICINE AND BIOLOGY                      | 271      | 0.73        | —          | 2.6220    |
| SENSORS                                                            | 256      | 0.69        | 54.95      | 3.5760    |
| FRONTIERS IN HUMAN NEUROSCIENCE                                    | 247      | 0.66        | 20.15      | 3.1960    |
| BIOMEDICAL OPTICS EXPRESS                                          | 241      | 0.65        | 18.92      | 3.7320    |
| TALANTA                                                            | 240      | 0.64        | 26.23      | 6.0570    |
| CHEMOMETRICS AND INTELLIGENT LABORATORY SYSTEMS                    | 209      | 0.56        | 24.73      | 3.4910    |
| OPTICS EXPRESS                                                     | 204      | 0.55        | 21.80      | 3.8940    |
| ASTRONOMICAL JOURNAL                                               | 202      | 0.54        | 23.40      | 6.2810    |

5.65%；美国的国家科学基金会(National Science Foundation Nsf)资助发文1742篇位列第三。表中所列10个基金中,来自美国的基金有4个,累计资助发文量为6221篇;来自日本的基金有3个,累计资助发文量3536篇;剩余3个基金分别来自中国、欧洲和英国。此处可看出,虽然中国的国家自然科学基金对该领域的扶持力度最大,并远高于排名第二的欧洲委员会,但从基金资助发文量来看,在国内却没有与之资助水平相接近的其他基金,这从某种程度上反映出我国在近红外光谱领域的研究水平仍有一定的提升空间。

### 2.1.3 关键词分析

采用VOSviewer软件对中国及世界范围内近红外光谱领域进行高频关键词分析,筛选出互相之间联系较为密切、出现频次较高的关键词,生成聚类图谱如图3和图4所示。图谱的每个圆代表不同关键词,圆的大小表征关键词出现频次的高低,圆之间的

连线表征两个关键词之间的联系密切程度:连线越粗,两个关键词共现于同一篇文献的频次越高,两个关键词的联系越为密切。不同颜色代表不同的关键词聚类。

表5 近红外光谱领域国内排名前10的资助基金

| 基金名称            | 文献数/篇 | 占总文献比例/% |
|-----------------|-------|----------|
| 国家自然科学基金        | 2577  | 18.14    |
| 国家科技支撑计划        | 639   | 4.50     |
| 国家高技术研究发展计划     | 432   | 3.04     |
| 国家重点研发计划        | 270   | 1.90     |
| 高等学校博士学科点专项科研基金 | 148   | 1.04     |
| 浙江省自然科学基金       | 123   | 0.86     |
| 国家科技攻关计划        | 113   | 0.80     |
| 中国博士后科学基金       | 108   | 0.76     |
| 北京市自然科学基金       | 102   | 0.72     |
| 国家重点基础研究发展规划    | 93    | 0.65     |

表 6 近红外光谱领域国际排名前 10 的资助基金

| 基金名称                                                                   | 国家(地区) | 文献数/篇 | 占总文献比例/% |
|------------------------------------------------------------------------|--------|-------|----------|
| National Natural Science Foundation Of China Nsf                       | 中国     | 3815  | 10.24    |
| European Commission                                                    | 欧洲     | 2103  | 5.65     |
| National Science Foundation Nsf                                        | 美国     | 1744  | 4.68     |
| United States Department Of Health Human Services                      | 美国     | 1667  | 4.48     |
| National Institutes Of Health Nih Usa                                  | 美国     | 1644  | 4.41     |
| Ministry Of Education Culture Sports Science And Technology Japan Mext | 日本     | 1551  | 4.16     |
| Japan Society For The Promotion Of Science                             | 日本     | 1214  | 3.26     |
| Uk Research Innovation Uki                                             | 英国     | 1166  | 3.13     |
| National Aeronautics Space Administration Nasa                         | 美国     | 1166  | 3.13     |
| Grants In Aid For Scientific Research Kakenhi                          | 日本     | 771   | 2.07     |

表 7 和表 8。结合图 3 和图 4 可知,将近红外光谱技术与化学计量学工具相结合<sup>[13]</sup>,建立预测模型,基于样品的光学特性做无损检测,进行定性分析、定量分析、判别分析等,是近红外光谱领域在世界范围内受关注度较高的一个研究方向,其研究对象包括各种食品、作物、药物等。

此外,由表 8 和图 4 可看出,功能性近红外光谱技术在世界范围内也受到一定的关注,该项技术是通过脑功能成像,进行实时运动中对脑功能的监测,其在英国、美国、韩国等国家有一定规模的研究,多应用于神经学、精神病学、临床医学等领域。该项技术在中国起步较晚,受关注程度较低。

表 7 中文文献排名前 20 高频关键词及其出现频次

| 关键词    | 频次   | 关键词    | 频次  |
|--------|------|--------|-----|
| 近红外光谱  | 5443 | 水分     | 219 |
| 偏最小二乘法 | 934  | 鉴别     | 209 |
| 无损检测   | 490  | 模型     | 192 |
| 定量分析   | 480  | 神经网络   | 171 |
| 化学计量学  | 417  | 蛋白质    | 169 |
| 主成分分析  | 379  | 小波变换   | 154 |
| 红外光谱   | 375  | 遗传算法   | 153 |
| 支持向量机  | 290  | 聚类分析   | 145 |
| 应用     | 259  | 可溶性固形物 | 143 |
| 快速检测   | 241  | 定性分析   | 142 |

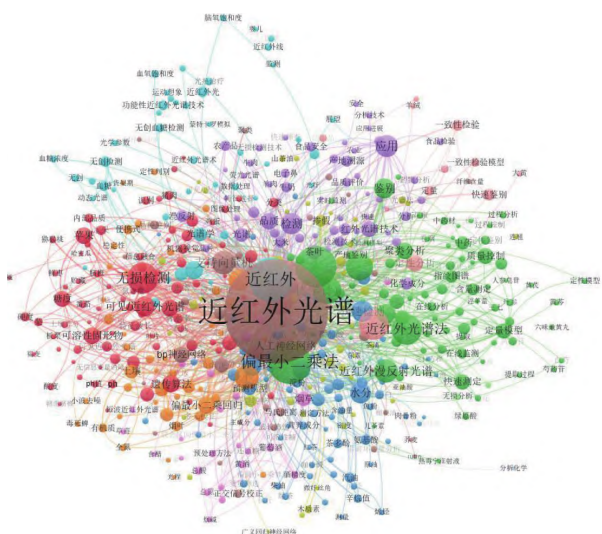


图 3 中文文献高频关键词聚类视图

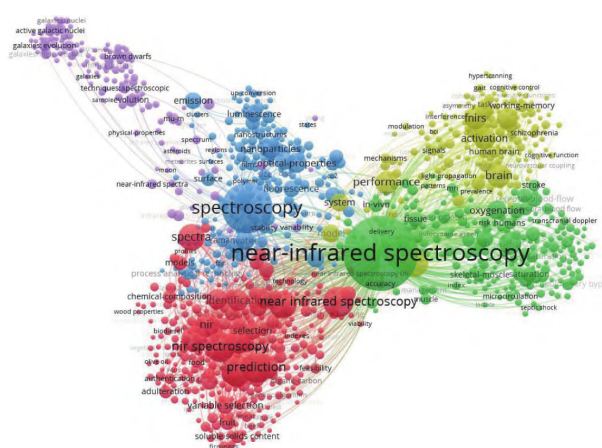


图 4 外文文献高频关键词聚类视图

对含义重复的词组进行合并、去除,分别将中国知网和 WOS 核心合集收录的近红外光谱领域发文中出现频次排名前 20 的关键词及其出现频次列于

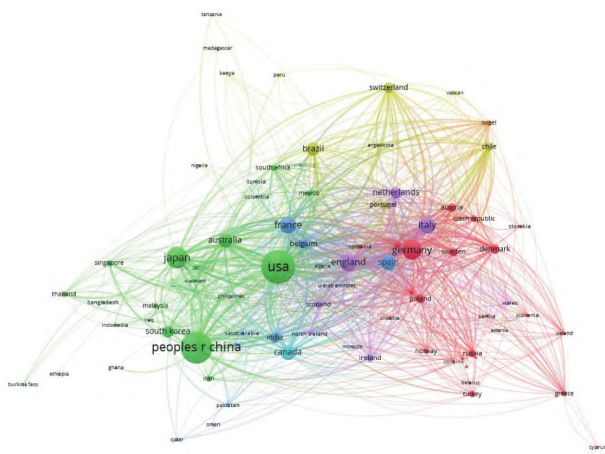
2.1.4 国际合作情况

图 5 为使用 VOSviewer 对世界各国在近红外光谱领域的发文量与合作情况分析得出的图谱。每个圆代表不同国家,圆的大小代表各国发文量的多寡,两个圆之间的连线可表征该领域发文的国际合作情况:连线越粗,两国合作发文量越大。

表 8 外文文献排名前 20 高频关键词及其出现频次

| 关键词                        | 释义    | 频次    | 关键词                | 释义           | 频次   |
|----------------------------|-------|-------|--------------------|--------------|------|
| near-infrared spectroscopy | 近红外光谱 | 11363 | activation         | 活性<br>功能性近红外 | 1005 |
| spectroscopy               | 光谱学   | 5223  | fnirs              | 光谱           | 997  |
| prediction                 | 预测    | 1876  | regression         | 回归分析         | 973  |
| quality                    | 品质    | 1803  | identification     | 鉴别           | 952  |
| classification             | 分类    | 1547  | prefrontal cortex  | 前额叶          | 903  |
| chemometrics               | 化学计量学 | 1371  | calibration        | 校正           | 825  |
| reflectance spectroscopy   | 漫反射光谱 | 1250  | optical-properties | 光学特性         | 822  |
| brain                      | 大脑    | 1170  | nanoparticles      | 纳米例子         | 792  |
| performance                | 性能    | 1111  | oxygenation        | 氧化作用         | 771  |
| blood-flow                 | 血流量   | 1024  | water              | 水            | 731  |

由图 5 可得,在近红外光谱领域,中国和美国是发文量最多的两个国家,日本、英国、德国、法国、意大利、西班牙、加拿大、澳大利亚的发文量处在第二梯队<sup>[14]</sup>。大发文量国家之间的合作更为紧密。在图中所示各国中,与美国合作发文的国家最多,且美国与澳大利亚、日本、中国、以及欧洲各国都呈现非常庞大的合作规模;而与中国存在合作关系的各国中,美国与中国呈现出的合作关系相比于其他国家明显更为紧密。中国虽然在发文量上已经达到一定的规模,但在该领域却仍有必要继续加强与其他国家之间的交流与合作,贯彻“走出去,请进来”这一战略<sup>[15]</sup>,使中国在近红外光谱领域的科研水平紧跟国际前沿,促进在该领域的发展与革新。



5 世界各国在近红外光谱领域的发文量与合作关系视图

2.2 近红外光谱技术研究热点与前沿分析

采用 Citespace 软件对近红外光谱领域相关文献生成关键词突现时间图谱和 Timeline 聚类分析视图,对该领域的研究进行热点和前沿分析。

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<sup>[16]</sup>,有助于了解该领域的研究热点<sup>[17]</sup>。图 6 和图 7 分别为近红外光谱领域,基于 CNKI 数据库和 WOS 数据库的关键词突现时间图谱,可反映该领域在中国及世界范围内的研究历程。

由图 6 可知,含量测定、饲料、定性鉴别、赖氨酸、可滴定酸等关键词持续时间较长,且其突现时间可追溯到中国在该领域研究的初始阶段,反映出在中国,近红外光谱领域的研究从何处展开,近红外光谱技术最早应用于哪些方面;在这 20 个关键词中,定量模型、快速检测、拉曼光谱、无损检测的突现强度较高,说明上述关键词及其聚类形成的研究主题在中国受到较为广泛的关注,是极具影响力的研究热点;快速检测、拉曼光谱、无损检测、模型传递等词的突现一直持续到 2021 年,说明其所对应研究主题未来几年在中国仍有可能继续保持一定的研究热度,有潜力发展成为近红外光谱领域的研究热点。



图 6 基于 CNKI 的关键词突现时间图谱 top20



由图 7 可知,2008 年起,关键词突现变化剧烈,数量急剧增多,其中也不乏许多高强度关键词,说明 2008 年后,近红外光谱领域的研究热度在世界范围内飙升。design(设计)、surface(表面)、fruit(水果)、diffuse reflectance spectroscopy(漫反射光谱)、evolution(演变)、working memory(工作记忆)、hyperspectral imaging(高光谱成像)、scattering(散射)等关键词突现强度较高,其聚类形成的研究主题可代表近红外光谱领域的重要方面,并因此受到非常广泛的关注,成为极具影响力的前沿热点;near infrared spectra(近红外光谱)、dye(染色)、fluorescence(荧光)等关键词持续时间较长,代表近红外光谱领域的主要研究内容;fruit(水果)、growth(生长)、design(设计)、working memory(工作记忆)、hyperspectral imaging(高光谱成像)、saturation(饱和)、evolution(演变)、validation(检验)、discrimination(鉴定)等关键词突现时间一直持续到 2021 年,说明上述关键词所对应的研究主题为该领域的研究前沿,其所涉及的相关技术也是我们可以持续重点关注的重要技术分支。

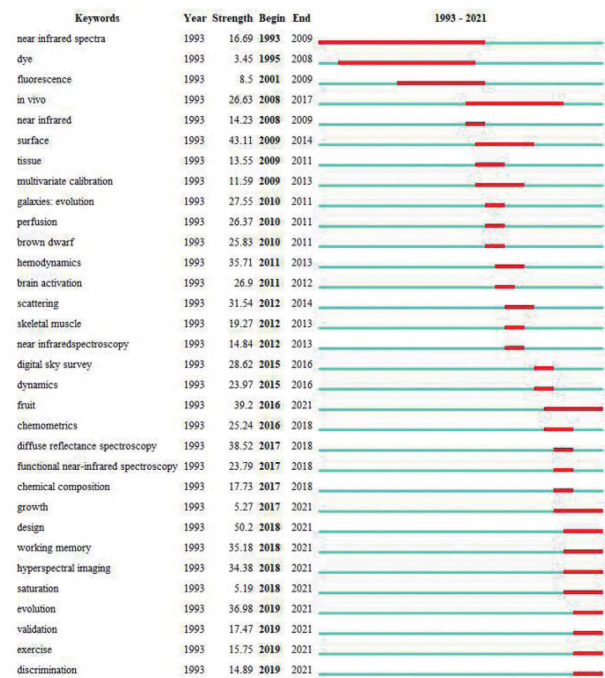


图 7 基于 WOS 的关键词突现时间图谱 top32

时间线图谱(Timeline 聚类分析视图)可直观体现领域内研究热点随时间变化的趋势,其不仅可以表达某研究领域或学科分支技术的演进脉络和历史跨度,还可以给出研究领域内不同聚类之间的关系<sup>[18]</sup>。

图 8 和图 9 分别为基于 CNKI 数据库和 WOS

数据库的近红外光谱领域 Timeline 聚类分析视图。横轴为时间轴,标明各聚类下不同关键词的诞生时间,随着时间的推移,可通过观察新关键词诞生的时间间隔来判断领域内对各聚类研究的趋热趋冷情况;在生成图谱时选择以圆盘的形式在时间轴上标注关键词,目的是通过圆盘大小筛选出各聚类中甚至是整个研究主题当中较为重要的、标志性的关键词,以更有目的地做一些针对性的研究,圆盘越大,关键词的中介中心度越高,越容易影响聚类走势。

由图 8 可知,近红外光谱领域在中国的研究自 1985 年至 2000 年是趋热的,在这段时间,新关键词频出,各聚类的成果开始增多,该领域的研究受到更多学者的重视;2000 年后,新关键词诞生时间间隔拉长,研究情况普遍趋冷,一些聚类受关注度有所降低,甚至有些聚类,如#4 相关系数、#5 红外分析、#12 小麦、#14 快速测定、#15 电动势、#17 柴油,研究热度消退,如今可能已经成为过时的研究主题<sup>[19]</sup>。但其中也有趋热的聚类,如#11 鉴别,这一聚类仍在源源不断地高频涌现出新的关键词,如模型转移、高光谱、机器学习、数据融合、特征提取等,说明该聚类对应的主题在近年来有着相当的研究热度,甚至可能是未来几年该领域的主要研究方向之一。

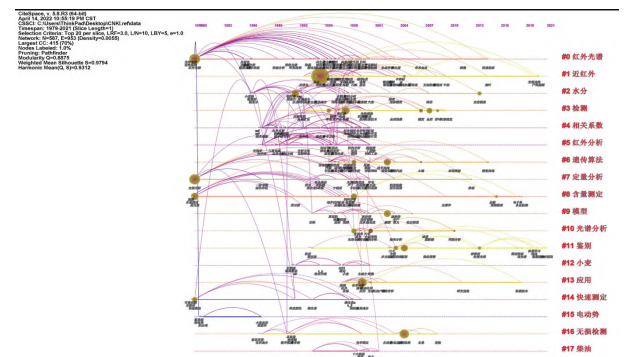


图 8 基于 CNKI 的近红外光谱领域 Timeline 聚类分析视图

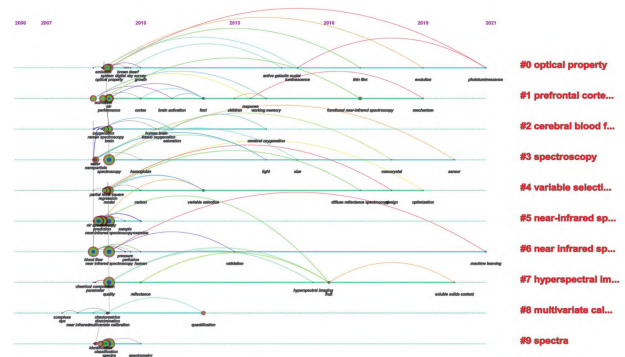


图 9 基于 WOS 的近红外光谱领域 Timeline 聚类分析视图

由图 9 可知,全球近红外光谱领域的研究主题主要集中在#0 optical property(光学特性)、#1 prefrontal cortex(前额皮质)、#2 cerebral blood flow(脑血流量)、#3 spectroscopy(光谱学)、#4 variable selection(变量选择)、#5 near-infrared spectroscopy(近红外光谱)、#6 near infrared spectroscopy(近红外光谱)、#7 hyperspectral imaging(高光谱成像)、#8 multivariate calibration(多元校正分析)、#9 spectra(光谱)10个方面<sup>[20]</sup>。其中,#0 optical property(光学特性)和#6 near infrared spectroscopy(近红外光谱)两个聚类贯穿始终,代表世界多国在该领域的主要研究内容。

### 3 结论

本文使用 VOSviewer 和 Citespace 软件,结合数据库自带的可视化分析功能与 Excel 的统计功能,对 CNKI 收录的近红外光谱领域 1979 ~ 2021 年的 14207 篇中文文献,以及 WOS 核心合集收录的该领域 1993 ~ 2021 年的 37244 篇外文文献从年度发文趋势、发文机构、资助基金、关键词共现、各国发文量及合作情况、热点前沿等角度进行可视化分析,可得出如下结论:

(1)我国在近红外光谱领域的研究起始于 1979 年,在经历起步阶段后,于 1985 ~ 2000 年,研究趋热,不断有新的关键词涌现,2000 年后,关键词虽然也是逐年突现,但每年突现的密度不如从前,说明在 2000 年后该领域的研究热度有所减缓,也可能说明我国在 2000 年后在该领域的研究水平日趋成熟。研究热点包括定量模型、快速检测、无损检测、拉曼光谱等关键词聚类形成的主题,此外,对快速检测、无损检测、拉曼光谱、模型传递等词聚类形成的主题的研究一直持续到 2021 年,故可看作该领域在我国的研究前沿。从总体来看,全球在近红外光谱领域的研究是趋冷的。不仅是新关键词的涌现频率逐年走低,还有相当一部分聚类的研究热度消退,此外,该领域近五年也从未有新的聚类产生。

(2)我国在近红外光谱领域的研究方向偏重于对各种食品、作物、药物等做无损检测从而进行定性、定量分析及产地鉴别等。结合发文量、期刊水平、基金资助情况等指标可见,我国在该方向上的研

究水平较为成熟,在国际上也有一定的影响力。然而,相对于一些国家和地区,我国在该领域的研究方向较为单一。一些发达国家已将近红外光谱技术延伸到医学、传感、天体物理等领域,我国应加强与这些国家的学术交流,实现近红外光谱在更多领域的应用。

### 参考文献:

- [1] 谢玉荣,李强,王娇. 红外光谱技术在食品检测中的应用[J]. 食品安全质量检测学报,2019,10: 7773 - 7778.
- [2] 陈超,柳琦,李钊,等. 红外光谱技术在食品安全检测中的研究与应用[J]. 食品研究与开发,2019,40: 219 - 224.
- [3] H J HE, D WU, D W SUN. Nondestructive Spectroscopic and Imaging Techniques for Quality Evaluation and Assessment of Fish and Fish Products [J]. Crit Rev Food Sci,2015, 55: 864 - 886.
- [4] 张进,胡芸,周罗雄,等. 近红外光谱分析中的化学计量学算法研究新进展[J]. 分析测试学报,2020, 39: 1196 - 1203.
- [5] 刘爽,柴春祥. 近红外光谱技术在水产品检测中的应用进展[J]. 食品安全质量检测学报,2021, 12: 8590 - 8596.
- [6] 朱亮,孟宪学. 文献计量法与内容分析法比较研究[J]. 图书馆工作与研究,2013,1(06): 64 - 66.
- [7] 高俊宽. 文献计量学方法在科学评价中的应用探讨[J]. 图书情报知识,2005:14 - 17.
- [8] 屈安安,郑鑫,王阳,等. 基于文献计量的沼渣沼液处理利用技术研究态势分析[J]. 中国沼气,2020,38: 86 - 94.
- [9] 郭荣欣,杨依雯,郑旭升,等. 基于 Web of Science 数据库的厌氧消化研究文献计量分析[J]. 中国沼气,2021, 39: 50 - 58.
- [10] 高懋芳,邱建军,刘三超,等. 基于文献计量的农业面源污染研究发展态势分析[J]. 中国农业科学,2014, 47: 1140 - 1150.
- [11] 潘月红,孙国凤,逯锐. 基于文献计量学的我国农业立体污染防治研究和发展趋势分析[J], 湖南农业科学,2010,19:142 - 145.
- [12] 张宏梁,田玲,张黎黎. 利用文献计量学研究学科热点初探[J]. 医学信息学杂志,2008, 29: 11 - 15 + 43.
- [13] 贺莉,冉毅,李冰峰. 基于近红外技术的沼液丁酸和

- 异丁酸定量分离研究[J]. 中国沼气, 2020, 38: 9-12.
- [14] 吴宁, 杨艳萍. 基于文献计量的碳农业发展态势研究[J]. 科学观察, 2022, 2: 1-9.
- [15] 赵蕾霞, 钟永恒, 孟银涛. 基于标准分析的主要国家激光产业布局和发展进程研究[J]. 科技管理研究, 2015, 35: 144-148.
- [16] 韩雪莹, 王涛, 杨文斌, 等. 中国沙障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: 153-163.
- [17] 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, 4(22): 1-9.
- [18] 雷绍海, 王成军. 中国农业全要素生产率研究进展与前沿——基于 CiteSpace 的文献计量可视化分析[J]. 云南农业大学学报(社会科学), 2022, 16: 124-133.
- [19] 钟梅英, 郭亚, 胡凯, 等. 基于文献计量学与知识图谱的中华绒螯蟹研究进展与趋势分析[J]. 农业工程学报, 2022, 38: 311-322.
- [20] 田华. 全球食品领域近红外光谱应用研究文献计量分析[J]. 食品工业科技, 2021, 18(42): 41-47.