

基于 VOSviewer 与 CiteSpace 的植物类药材农残检测研究热点与趋势分析

孔凡乐, 纪瑞锋, 何 新*

广东药科大学中药学院, 广东 广州 510006

摘 要: **目的** 探寻植物类药材农残检测研究的热点与发展趋势。**方法** 通过对中国知网 (CNKI) 和 Web of Science 核心数据库 (WoSCC) 自建库以来有关该主题的文献进行检索, 根据所得数据绘制发文量趋势图, 并对纳入的文献分别使用 VOSviewer 软件进行关键词、作者共现分析, 使用 CiteSpace 6.1.R6 Advanced 软件进行机构共现、关键突现与聚类分析、时间线分布图绘制。**结果** 筛选出 521 篇中文文献和 153 篇英文文献, 发现该领域在 2005 年之后迅猛发展。国内领衔的作者与机构为以薛健为代表的中国医学科学院、国外为以 Tagami Takaomi 为代表的日本大阪府立公共研究所。研究主要集中在检测基质 (金银花、人参、三七、黄芪等)、农残类型 (有机氯、有机磷及拟除虫菊酯类) 和检测技术 (质谱联用技术等) 等方面, 且整体趋势向植物类药材中多种农药的同时检测, 技术手段更趋高效、简单化。**结论** 该领域的发展受益于学科交融及《中国药典》对药材农残限量标准和检测方法的不断完善, 未来发展趋势将聚焦于质量标准研究和风险评估。

关键词: 植物类药材; 农药残留; 文献计量学; 可视化; 发展趋势

中图分类号: R282.7; R284 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2024)05-1652-13

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2024.05.023

Hot spots and trends analysis of pesticide residue detection of botanical medicinal materials based on VOSviewer and CiteSpace

KONG Fanle, JI Ruifeng, HE Xin

School of Traditional Chinese Medicine, Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510006, China

Abstract: Objective To obtain the hotspots and development trends of pesticide residue detection research on botanical medicinal materials. **Methods** The literatures on this topic since the establishment of China Knowledge Network (CNKI) and Web of Science Core (WoSCC) databases were searched, based on the obtained data, the trend of postings were plotted and the keyword and author co-occurrence were analyzed by VOSviewer software and the institutional co-occurrence, key emergence and clustering analysis, and timeline distribution mapping for the included literatures were conducted by CiteSpace 6.1.R6 Advanced software, respectively. **Results** A total of 521 Chinese literatures and 153 English literatures were conducted, and it was found that the field developed rapidly after 2005. The leading authors and institutions in China are the Chinese Academy of Medical Sciences represented by XUE Jian, and abroad are the Osaka Prefectural Public Research Institute represented by Tagami Takaomi. The research mainly focuses on the detection matrix [Jinyinhua (*Lonicerae Japonicae Flos*), Renshen (*Ginseng Radix et Rhizoma*), Sanqi (*Notoginseng Radix et Rhizoma*), Huangqi (*Astragali Radix*)], types of pesticide residues (organochlorine, organophosphorus and pyrethroids) and detection techniques (mass spectrometry coupling techniques), and the overall trend is toward the simultaneous detection of multiple pesticides in different medicinal parts of herbs, with more efficient and simpler technical means. **Conclusion** The development of this field benefits from the convergence of disciplines and the continuous improvement of the *Chinese Pharmacopoeia* in terms of pesticide residue limits and detection methods, and the future development trend will focus on quality standard research and risk assessment.

Key words: botanical medicinal materials; pesticide residues; bibliometrics; visualization; development trends

据世界卫生组织报道, 全球约有 70% 的人在日常生活中使用药用植物来治疗疾病, 随着消费者对

植物药需求的增长, 药用植物的市场规模急剧扩大, BCC Research 曾报道称, 全球植物源性药品的市场

收稿日期: 2023-09-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (82174209)

作者简介: 孔凡乐 (1998—), 男, 硕士研究生, 从事中药材质量评价与药效物质基础研究。E-mail: 3241203239@qq.com

*通信作者: 何 新, 博士生导师, 教授, 从事中药药理与中药药动力学研究。E-mail: hexintn@gdpu.edu.cn

份额预计将以每年 6.1% 的增长率,从 2017 年的 294 亿美元达到 2022 年的 396 亿美元^[1]。然而,植物类药材宏大的全球市场规模下仍有亟待解决的限制市场发展的农药残留问题,中国是植物类药材的最大出口国,2019 年出口的不合格药材中农残超标的占比最高,达 47%。因此《中国药典》2020 年版明确规定了植物类饮片及药材中 33 种不得检出的禁用农药,同时农残限量标准也更为严格^[2]。近些年涌现了大量关于植物类药材农残检测的文献,分析文献以探寻适合药用植物健康发展的道路。

文献计量学在医学领域已被广泛应用,利用其得出的数据可准确把握相关领域的发展动向。被用于文献计量分析的软件包括 CiteSpace^[3]、VOSviewer^[4]、bibExcel^[5]、Science of Science (SCI2)^[6] 和 HistCite^[7] 等,其中 CiteSpace 和 VOSviewer 是最受欢迎的 2 个软件。CiteSpace 是陈超美教授设计的基于 Java 语言的可视化计量软件,其可以更全面地呈现研究领域的发展规律、热点趋势以及前沿动态^[8-10];VOSviewer 由莱顿大学科学技术研究中心创建,该软件可以更明确地显示研究领域关键词间的相互关系及其强度^[8]。利用二者的优点,分别使用 VOSviewer 1.6.19、CiteSpace 6.1.R6 Advanced 对该领域中国知网 (CNKI)、Web of Science 核心数据库 (WoSCC) 中的文献进行关键信息的可视化分析,以期全面分析该领域的研究热点与发展趋势,为后续解决植物类药材中农药残留问题提供合理的研究方向。

1 资料与方法

1.1 数据来源与检索策略

本研究以 CNKI 与 WoSCC 1986—2023 年收录的文献为主要数据来源,分别对中、英文文献进行研究分析,其中 CNKI 数据库检索词包括农药残留、中药材, WoSCC 数据库检索词为 pesticide residue、medicine。CNKI 检索式:主题词为“农药残留”AND “中药材+植物中药+饮片”,条件设置“精确”,选择时间范围 1986 年 1 月 1 日—2023 年 1 月 1 日,共检索到 890 篇中文文献。WoSCC 检索式:TS=(pesticide residue)AND TS=(medicine),检索时间范围为 1983 年 1 月 1 日—2023 年 1 月 1 日,共检索到 341 篇英文文献。

1.2 数据提取与收集

以植物类药材农残检测、农药残留、农残消解动态、农残迁移、质量标准研究为主题的中、英文

文献均被纳入分析,排除 CNKI 数据库中的会议、报纸、成果、专利类文献,选择 WoSCC 数据库中的 article 和 review article 类文献,为提高文献相关度,本研究采用对每篇中、英文文献主题、摘要等进行总结与归纳,最终筛选出中文文献 521 篇,英文文献 153 篇。中文文献以 Refworks 格式批量导出,文件以“download_*.txt”命名,英文文献记录内容选择全记录与引用的参考文献,并将记录导出为纯文本格式,文件命名格式同中文文献。

1.3 图谱绘制与可视化分析

1.3.1 VOSviewer 将 CNKI 与 WoSCC 数据库中的文献批量导入 VOSviewer1.6.19 中,选择合适的相关阈值,在软件工具栏中选择“Analysis”,通过改变各功能区的参数使节点均匀分布,此外,为使图谱更为清晰、美观,可动态调整可视化展示区各参数的范围,最终得到发文作者与文献关键词可视化共现图谱。

1.3.2 CiteSpace 中、英文文献时间跨度分别为 1986 年 1 月—2023 年 1 月与 1983 年 1 月—2023 年 1 月,两者时间切片均为“1”,选择软件默认筛选标准 (top 50),数据裁剪选择“Pathfinder”和“Pruning sliced networks”,中、英文文献的节点类型均分别设置为机构、关键词、术语,依次进行机构共现可视化分析、关键词聚类与时间线分析、关键词共现、术语共现分析,聚类选择潜在语义索引 (latent semantic indexing, LSI) 算法。

1.4 统计分析

将中、英文文献年度发文量数据导入 Excel 2016 中,利用 SPSSAU 绘制年度发文趋势图,分析植物类药材的农残检测相关研究趋势。根据普莱斯定律 ($N = 0.749 \times \sqrt{\max}$, 其中 max 为作者最多发文量) 获得核心作者发文量,若作者发文量 $> N$ 篇即可确认为核心作者^[11]。由此,利用 VOSviewer 1.6.19 对中、英文文献的核心作者绘制合作网络图谱,并绘制中、英文文献关键词共现网络与密度图谱。使用 CiteSpace 6.1.R6 Advanced 统计主要的关键词聚类信息与强爆发关键词,进而捕获植物类药材农残检测研究热点,并预测该领域未来的发展趋势。

2 结果

2.1 发文趋势

本研究共纳入近 40 年来有关植物类农残检测研究的中、英文文献 674 篇 (中文文献 521 篇,英文文献 153 篇),发文趋势见图 1。WoSCC 数据库

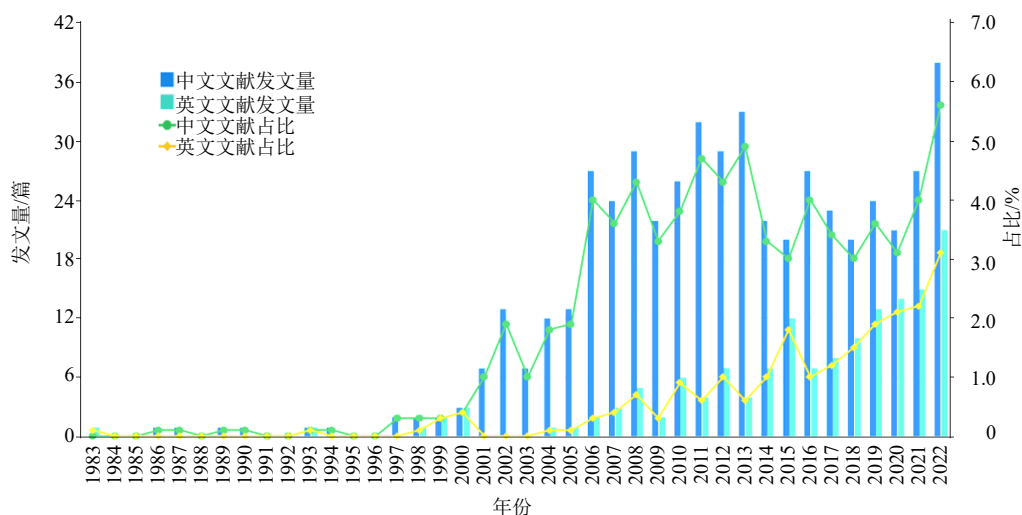


图 1 植物类药材农残检测研究发文趋势

Fig. 1 Publication trend of pesticide residue detection studies on botanical medicinal materials

显示 1983 年首发该领域的文献, CNKI 数据库显示 1986 年首发该领域的文献; 1983—1999 年 WoSCC 数据库共收录了 5 篇该领域文献, CNKI 数据库共收录 12 篇该领域文献, 表明 2000 年前关于该领域的研究较少, 研究发展较为迟缓, 2005 年之后 2 个数据库文献收录数量急剧上升, 均在 2022 年达到最大值 (CNKI 38 篇、WoSCC 21 篇)。2 个数据库整体发展趋势相同, 均呈现增长趋势。

2.2 作者分析

通过 VOSviewer1.6.19 统计得知, 该领域中、英文文献研究的作者分别为 1 192、754 名, 发文量排名前 15 的作者见表 1。中文文献作者中国医学科学院的薛健和中国食品药品检定研究院的金红宇发文量并列第 1 (23 篇), 前者发文总被引频次 486, 篇均被引 21.13, 后者发文总被引频次达到了 601, 篇均被引频次 26.13。此外, 薛健还是英文文献发文量最高的作者 (10 篇), 总被引频次 152, 篇均被引频次 15.20。同时, 前 15 名的作者中浙江大学的吴加伦在中文文献发文作者中篇均被引最高 (32.67 次), 中国西南大学的王雯雯在英文文献发文作者中篇均被引最高 (57.00)。

根据普莱斯定律获得中、英文文献核心作者分别为 40 人和 26 人 (中文文献 ≥ 4 篇, 英文文献 ≥ 3 篇), 且分别设置中、英文文献作者发文阈值为 4 和 3, 使用 VOSviewer1.6.19 绘制中、英文文献核心作者合作关系图谱, 如图 2 所示。可视化图谱展示出的中文文献核心作者中金红宇、薛健、季申、郭兰

萍、张明时等为该研究领域的团队代表, 其中薛健团队和金红宇团队合作较为密切且是该领域的主要研究团队; 英文文献核心作者则形成了以 YANG Meihua、Kajimura Keiji、FU Zhifeng、ZHANG Lei 等为代表的研究团队。此外, 核心作者累计发文量分别为 262、107 篇, 各占中、英文文献总量的 50.29%、69.93%, 利用洛卡特定律 [$\sum_{m+1}^I n(x) = \sqrt{N}$, N 为作者总数, $I = n_{\max}$] 评价作者合作群体的稳定性, 代入上述数据可知, 中、英文文献核心作者人数较为符合该定律 [中文 $\sqrt{N} = 35$, $\sum_{m+1}^I n(x) = 40$; 英文 $\sqrt{N} = 27$, $\sum_{m+1}^I n(x) = 26$], 该定律规定稳定的作者合作群体需核心作者发文量占总发文量的 50%, 表明中、英文文献作者均为稳定的合作群体^[12]。

2.3 研究机构分析

使用 CiteSpace 6.1.R6 Advanced 对中、英文文献发文机构进行共现分析, 网络可视化图谱如图 3、4 所示, 中、英文文献分别涉及研究机构 417、182 所, 其中发文量排名前 10 的机构见表 2。由于研究机构的改名与合并, 中、英文文献发文最多的机构为中国医学科学院北京协和医学院, 同时其与中国食品药品检定研究院、中国中医科学院、国家药典委员会均有密切合作, 形成了该研究领域的核心团队。此外, 中文文献发文机构中浙江大学在该领域的研究颇为广泛, 排除机构合并与改名带来发文量上的不平衡, 浙江大学在该领域的发文量最高, 但未与其他科研机构形成密切的合作。英文文献发文

表 1 植物类药材农残检测相关研究领域中、英文文献发文量前 15 名的作者

Table 1 Top 15 authors of Chinese and English literatures publications in field of pesticide residue detection of botanical medicinal materials

序号	CNKI 数据库				WoSCC 数据库			
	作者	发文量	总被引频次	篇均被引频次	作者	发文量	总被引频次	篇均被引频次
1	薛健	23	486	21.13	XUE Jian	10	152	15.20
2	金红宇	23	601	26.13	YANG Meihua	8	164	20.50
3	马双成	15	373	24.87	FU Zhifeng	7	267	38.14
4	王莹	11	262	23.82	OUYANG Hui	6	256	42.67
5	季申	10	156	15.60	Kajimura Keiji	5	38	7.60
6	孙磊	9	267	29.67	Tagami Takaomi	5	38	7.60
7	毛秀红	8	124	15.50	KONG Weijun	5	161	32.20
8	苗水	8	110	13.75	WANG Wenwen	4	228	57.00
9	夏品华	8	85	10.63	ZHANG Lei	4	35	8.75
10	吴晓波	8	93	11.63	CHEN Lina	4	134	33.50
11	郭兰萍	8	151	18.88	WANG Yitao	4	61	15.25
12	张明时	7	83	11.86	Kitagawa Mikiya	3	28	9.33
13	陈士林	7	202	28.86	Nakamura Akihiko	3	28	9.33
14	郑征伟	6	122	20.33	Okimashi Masahiro	3	28	9.33
15	吴加伦	6	196	32.67	Satsuki Yuka	3	28	9.33

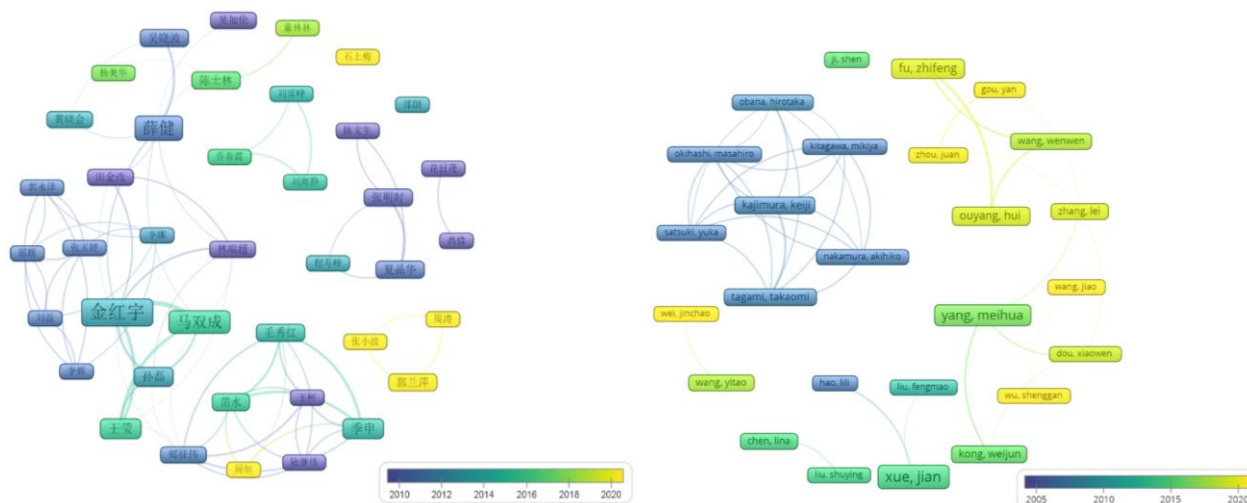


图 2 植物类药材农残检测研究中文 (左) 和英文 (右) 文献作者合作网络

Fig. 2 Collaboration network of authors in Chinese (left) and English (right) literatures on pesticide residue detection of botanical medicinal materials

机构中日本大阪府立公共研究所发文量较高,但未与其他机构合作。机构之间与国家之间的密切合作将更有利于该领域学科的发展,因此各研究机构在各自研究的过程中应密切合作,进而更好地提升植物类药材的质量标准,打破药材进出口贸易的壁垒。

2.4 研究现状与热点

2.4.1 关键词共现分析 对所纳入文献的关键词

进行研究分析,可准确把握某一领域的研究热点,了解最新的科研进展^[13]。为使 VOSviewer1.6.19 所绘制的图谱更为美观,本研究将中、英文文献关键词阈值分别设置为 8、6,关键词共现网络和密度可视化图谱如图 5、6 所示,排名前 25 的关键词见表 3。分析结果显示,植物类药材农残检测的研究目的包括药材质量标准的制定与膳食风险评估,其检测

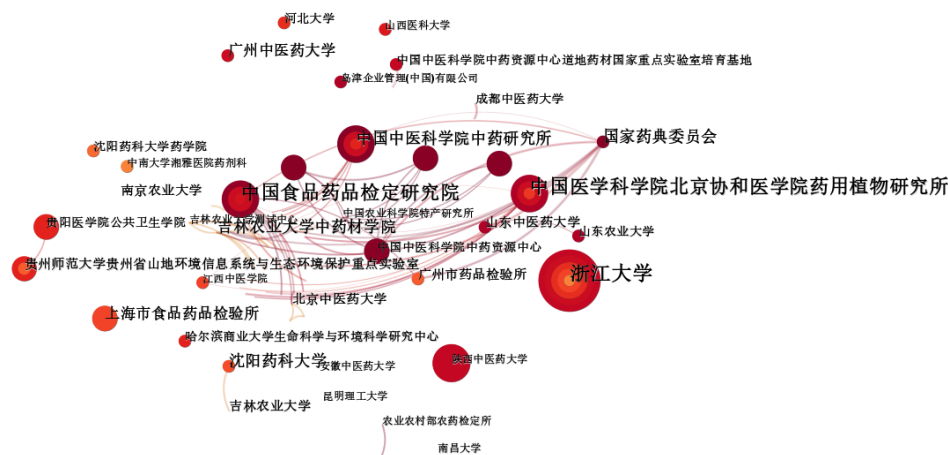


图 3 植物类药材农残检测研究中文文献机构合作网络

Fig. 3 Collaboration network of institutions in Chinese literatures on pesticide residue detection of botanical medicinal materials

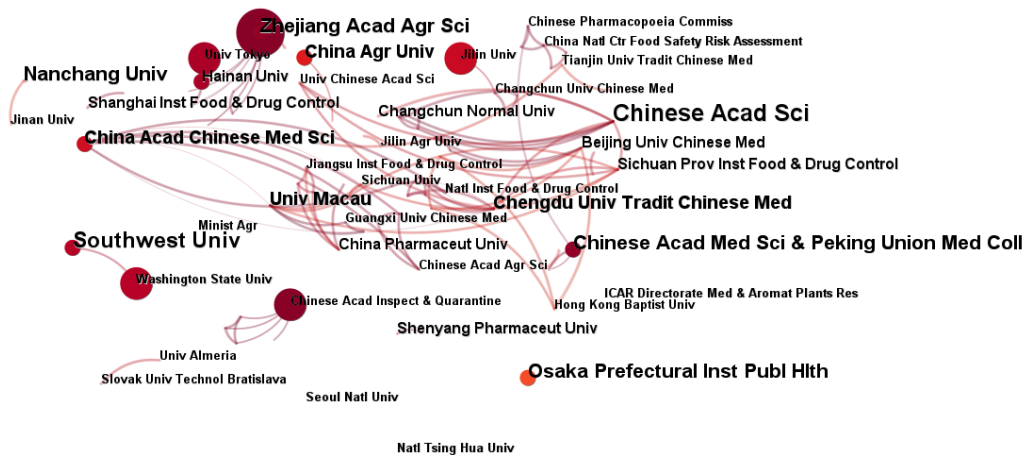


图 4 植物类药材农残检测研究英文文献机构合作网络

Fig. 4 Collaboration network of institutions in English literatures on pesticide residue detection of botanical medicinal materials

表 2 植物类药材农残检测相关研究领域中文、英文文献发文量前 10 名的机构

Table 2 Top 10 organizations of Chinese and English literatures publications in field of pesticide residue detection of botanical medicinal materials

序号	CNKI 数据库			WoSCC 数据库			
	机构	发文量	首发年份	机构	发文量	首发年份	国家
1	中国医学科学院北京协和医学院	32	2000	Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College	33	2006	中国
2	中国食品药品检定研究院	25	1999	Chinese Academy of Sciences	7	2012	中国
3	浙江大学	14	2005	Southwest University	6	2017	中国
4	国家药典委员会	7	2015	Nanchang University	5	2005	中国
5	沈阳药科大学	7	2002	Osaka Prefectural institute Public Health	5	2006	日本
6	吉林农业大学中药材学院	7	1994	Zhejiang Academy of Agricultural Sciences	5	2021	中国
7	中国中医科学院中药研究所	7	2013	China Academy of Chinese Medical Sciences	4	2015	中国
8	广州中医药大学	6	2008	China Agricultural University	4	2007	中国
9	上海市食品药品检验所	6	2010	University of Macau	4	2011	中国
10	贵州师范大学	5	2008	Chengdu University of Traditional Chinese Medicine	4	2015	中国

基质主要是中药材、药食同源类植物，且检测主要集中于金银花、三七、人参、黄芪等药材，样品前处理方式与农残检测方法以固相萃取、QuEChERS (quick、easy、cheap、effective、rugged、safe)、固相微萃取、气相色谱、质谱 (MS)、气质联用色谱 (GC-MS/MS) 等为主。张喜利等^[14]研究发现在药用植物中重金属和农药残留的含量呈正相关，二者可以超分子的形式参与植物生长期，因此重金属与农药残留常为植物外源性有害物质研究的热点。农残检测研究更趋向于对多种农药的同时检测，其中有机氯、有机磷、拟除虫菊酯类农药为主要的农残检测类型。

2.4.2 关键词聚类分析 为突出该领域的研究主题，本研究采用了 LSI 聚类算法，对中、英文文献关键词进行聚类分析，见图 7。中、英文文献关键词聚

类参数如下：中文文献模块聚类值 (Q) = 0.6172 (>0.3)，平均轮廓值 (S) = 0.8685 (>0.5)，英文文献 Q = 0.5533 (>0.3)， S = 0.8306 (>0.5)。当 $Q > 0.3$ 时表明聚类有效， $S > 0.5$ 时表明聚类合理， $S > 0.7$ 时表明聚类可信^[15]，从而可知本研究的中、英文文献关键词的 11 个聚类结果满意且可信。

由聚类图可看出，11 个不同颜色的聚类区块大多重叠，重叠区表明各聚类间联系密切。其中，中文聚类词#0、#4 涉及检测指标，#1、#7、#8 涉及实际问题或现象，#2、#3、#5、#6、#9、#10 涉及理论知识或技术手段。英文聚类词#1、#2、#4、#5、#6、#7、#10 涉及该研究领域的主要研究或参考对象，#0、#8 涉及检测与管理药用植物安全问题，#3、#9 涉及检测技术手段。主要聚类信息如表 4、5 所示。

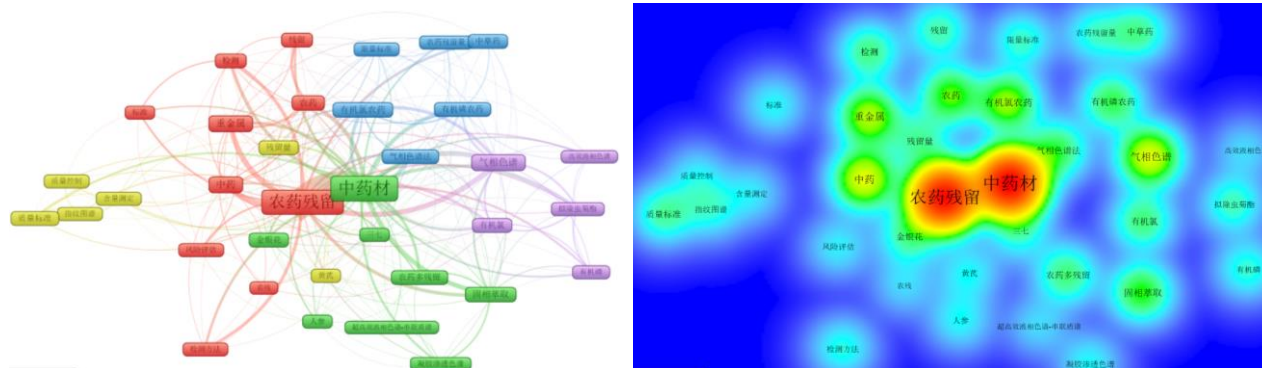


图 5 植物类药材农残检测研究中文文献关键词共现网络图 (左) 和密度图 (右)

Fig. 5 Cooccurrence network (left) and density (right) maps of keywords in Chinese literatures on pesticide residue detection studies of botanical medicinal materials

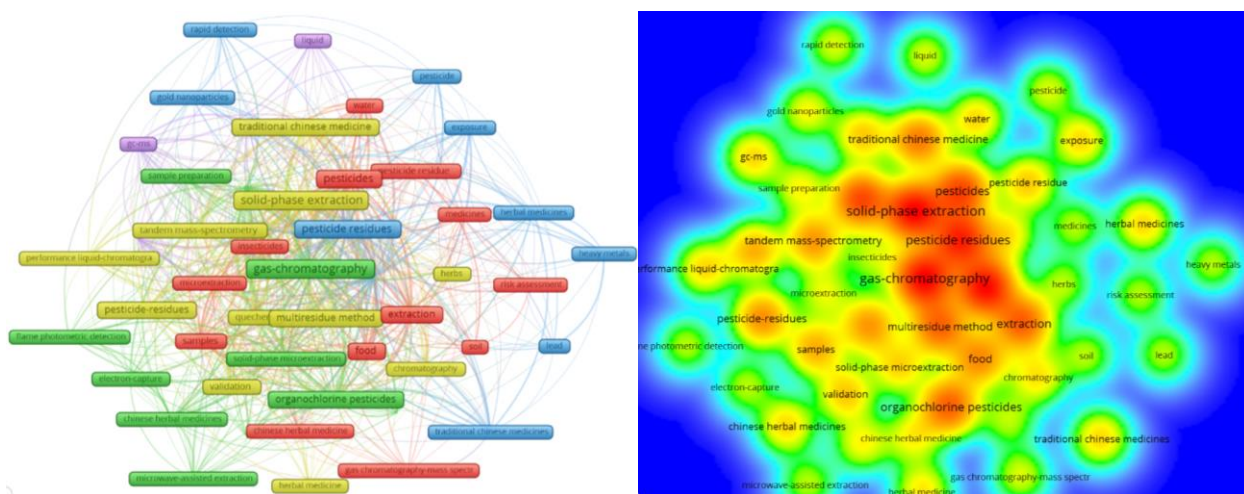


图 6 植物类药材农残检测研究英文文献关键词共现网络图 (左) 和密度图 (右)

Fig. 6 Cooccurrence network (left) and density (right) maps of keywords in English literatures on pesticide residue detection studies of botanical medicinal materials

表 3 植物类药材农残检测研究文献排名前 25 的关键词
Table 3 Top 25 keywords in literatures on pesticide residue detection of botanical medicinal materials

序号	中文文献		英文文献	
	关键词	频次	关键词	频次
1	中药材	219	gas-chromatography	33
2	农药残留	208	solid-phase extraction	33
3	中药	46	residues	32
4	气相色谱	45	pesticide residues	28
5	重金属	38	organophosphorus pesticides	24
6	有机氯农药	35	pesticides	24
7	农药	30	organochlorine pesticides	21
8	固相萃取	28	extraction	21
9	有机磷农药	24	multiresidue method	20
10	气相色谱法	24	traditional chinese medicine	18
11	有机氯	21	food	16
12	农药多残留	21	pesticide-residues	16
13	检测	20	quechers	15
14	中草药	19	tandem mass-spectrometry	15
15	金银花	18	samples	13
16	质量标准	18	clean up	13
17	残留	17	validation	11
18	残留量	17	MS	11
19	拟除虫菊酯	16	pesticide residue	11
20	限量标准	15	chinese herbal medicines	10
21	有机磷	14	GC-MS	10
22	三七	14	solid-phase microextraction	10
23	农药残留量	14	water	10
24	检测方法	13	traditional chinese medicines	10
25	指纹图谱	12	exposure	10

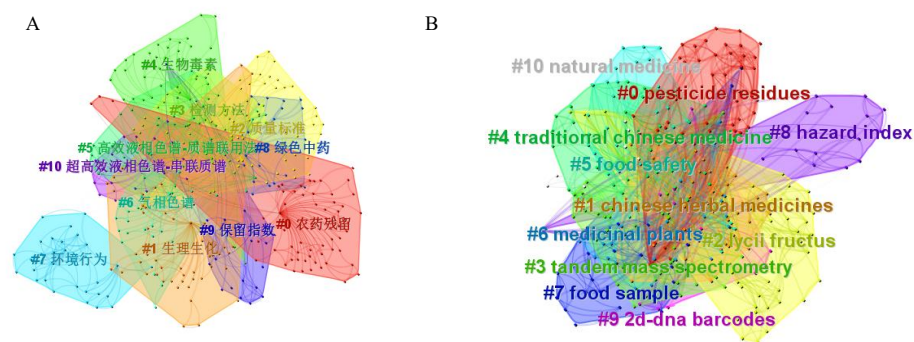


图 7 植物类药材农残检测研究中文 (A) 和英文 (B) 文献关键词聚类图
Fig. 7 Clustered view of keywords in Chinese (A) and English (B) literatures on pesticide residue detection studies of botanical medicinal materials

2.4.3 关键词突现分析与时间线分布 使用 CiteSpace 6.1.R6Advanced 分别绘制以中、英文文献关键词聚类为基础的时间线图 (图 8、9)，同时对爆发强度排名前 20 的中、英文文献关键词进行

突现 (图 10)。通过获取强爆发的关键词以及时间线分布，可准确分析热点主题变化，并有效预测研究发展趋势^[10]。根据关键词聚类时间线图，可发现中、英文

表 4 植物类药材农残检测研究中文文献关键词聚类

Table 4 Keyword clustering of Chinese literatures on pesticide residues detection studies of botanical medicinal materials

聚类 ID	节点数	轮廓值	平均年份	首要关键词
#0	62	0.862	2013	农药残留 ; 质量安全; 分析方法; 重金属残留; 掺杂掺假
#1	54	0.895	2011	农药残留; 生理生化 ; 摄入风险评估; 应用评价; 重金属污染
#2	45	0.845	2009	质量标准 ; 含量测定; 农药残留; 红外光谱; 薄层鉴别
#3	45	0.864	2008	农药残留; 检测方法 ; 农药残留检测; 外源性有害残留; 质量控制
#4	39	0.836	2011	农药残留; 生物毒素 ; 最大限量理论值; 最大限量; 黄曲霉毒素
#5	36	0.905	2009	农药残留; 高效液相色谱-质谱联用法 ; 手性拆分; 手性农药; 二元环糊精系统
#6	32	0.848	2006	气相色谱 ; 有机氯农药残留; 农药残留; 氨基甲酸酯农药; 密闭微波消解法
#7	30	0.961	2011	环境行为 ; 最大残留限量; 安全间隔期; 消解动态; 设施环境
#8	25	0.880	2008	农药残留; 绿色中药 ; 原子吸收分光光度法; 污染现状; 气相色谱法
#9	21	0.932	2011	农药残留; 保留指数 ; 靶向定量; 气相色谱-三重四极杆质谱联用技术; 快速筛查
#10	20	0.822	2015	农药残留; 气相色谱; 超高效液相色谱串联质谱 ; 残留动态; 氟啶虫胺腈

加粗关键词为各聚类标签。

Bold keywords are cluster tags.

表 5 植物类药材农残检测研究英文文献关键词聚类

Table 5 Keyword clustering of English literatures on pesticide residues detection studies of botanical medicinal materials

聚类 ID	节点数	轮廓值	平均年份	首要关键词
#0	46	0.886	2007	pesticide residues ; medicinal plants; chromatographic analysis; herbal medicines; pesticide residue
#1	44	0.758	2010	Chinese herbal medicines ; dispersive-solid phase extraction; gas chromatography-mass spectrometry; microwave-assisted extraction; multi-residue analysis
#2	38	0.854	2017	pesticide residues; Lycii Fructus ; organophosphorus pesticide; fluorescent sensor; upconversion nanoparticles
#3	36	0.783	2011	pesticide residues; tandem mass spectrometry ; maximum residue limits; high performance liquid chromatography; herbal components
#4	35	0.792	2016	traditional Chinese medicine ; hazardous components; molecular imprinting technology; active components; <i>Panax notoginseng</i>
#5	34	0.783	2012	pesticide residues; food safety ; heavy metals; medicinal herbs; chemical contaminant
#6	30	0.792	2011	pesticide residues; medicinal plants ; chromatographic analysis; Qianjinzhidai Pills; effective ingredients
#7	25	0.800	2019	food sample ; gas chromatography; graphene; soil sample; nanocomposite
#8	15	0.917	2019	traditional Chinese medicine; hazard index ; pesticide residues; health risk assessment; maximum residue levels
#9	12	0.918	2012	traditional Chinese medicine; 2D-DNA barcodes ; pesticide residues; rapid detection; safety issue
#10	8	0.976	2005	natural medicine ; organochlorine pesticide; mass spectrometry; <i>Glycyrrhizae Radix</i> ; negative chemical ionization

加粗关键词为各聚类标签。

Bold keywords are cluster tags.

文献的各聚类标签所包含的关键词分布时区主要在 2000—2023 年和 2005—2023 年, 因此可将中、英文文献的研究趋势大概分为 2 个阶段, 第 1 阶段中、英文文献分别为 1987—2000 年和 1998—2005 年,

第 2 阶段中、英文文献分别为 2001—2023 年和 2006—2023 年。

第 1 阶段: 中、英文文献呈现的关键词最少, 为该研究领域的起始阶段, 该阶段的中、英文聚类

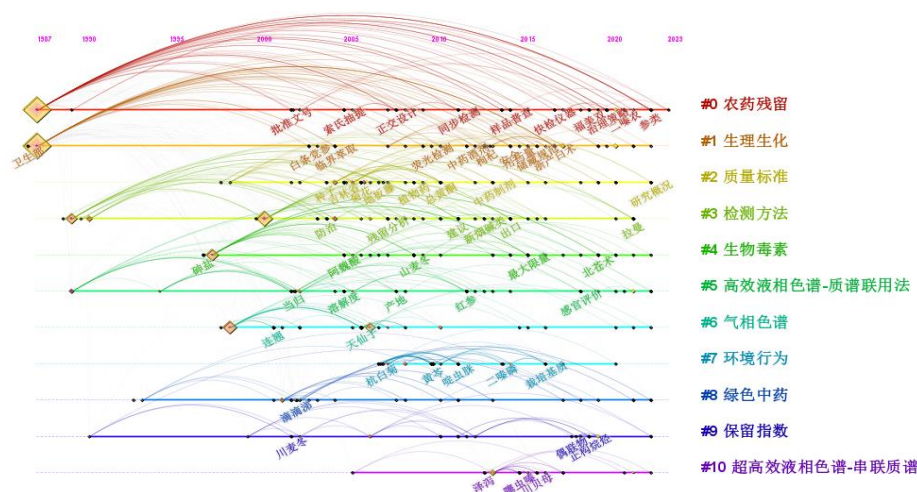


图 8 植物类药材农残检测研究中文文献关键词时间线分布

Fig. 8 Timeline distribution of keywords in Chinese literatures on pesticide residue detection of botanical medicinal materials

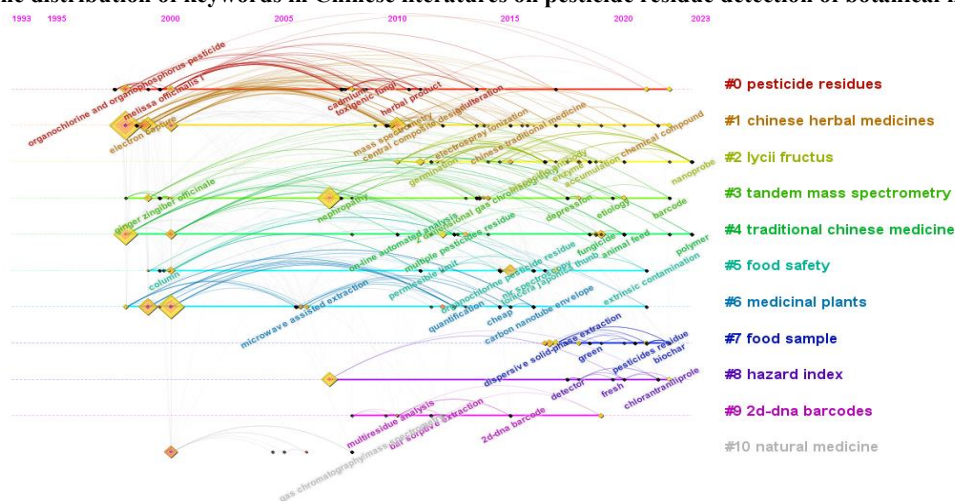


图 9 植物类药材农残检测研究英文文献关键词时间线分布

Fig. 9 Timeline distribution of keywords in English literatures on pesticide residue detection of botanical medicinal materials

关键词	年份	强度	开始	结束	1986—2023	关键词	年份	强度	开始	结束	1983—2023
残留量	1989	5.39	1989	2005		pesticide residue	2000	5.54	2020	2023	
有机氯	2006	4.54	2006	2011		vegetable	1999	4.14	2010	2014	
金银花	2013	3.38	2015	2017		tandem mass spectrometry	2015	3.48	2015	2018	
消解动态	2014	3.17	2014	2017		traditional Chinese medicine	2007	3.40	2015	2020	
标准	2002	2.86	2016	2023		gas chromatography	1998	3.16	2015	2016	
风险评估	2021	3.06	2006	2023		organophosphorus pesticide	1999	2.83	2012	2018	
残留	2004	2.65	2006	2010		chromatography	2017	2.70	2020	2023	
限量标准	1990	3.04	2008	2007		negative chemical ionization	2006	2.56	2006	2008	
农残	2005	2.68	2008	2021		natural medicine	2006	2.56	2006	2008	
多菌灵	2007	2.66	2010	2011		water	2000	2.50	2016	2019	
气相色谱	1998	2.46	2006	2007		liquid	2012	2.48	2020	2023	
何首乌	2007	2.35	2007	2008		solid phase microextraction	2006	2.36	2013	2013	
重金属	1997	2.35	2013	2015		lead	2009	2.30	2009	2014	
人参	2005	2.23	2011	2012		flame photometric detection	2014	2.28	2014	2018	
含量测定	1998	1.94	1998	2004		exposure	2011	2.24	2021	2023	
环境行为	2010	1.94	2014	2017		electron capture	1999	2.16	2010	2014	
中草药	1990	1.94	2007	2011		pesticide	2008	2.02	2020	2023	
残留动态	2015	1.84	2015	2016		herbal medicine	1998	1.96	2008	2010	
农药污染	2002	1.82	2002	2004		organochlorine pesticide	2000	1.81	2014	2015	
综述	1993	1.76	1993	2002		risk assessment	2017	1.79	2017	2021	

图 10 植物类药材农残检测研究中 (A)、英 (B) 文文献关键词 (前 20) 突现图

Fig. 10 Keywords (top 20) emergence view of Chinese (A) and English (B) literatures on pesticide residue detection studies of botanical medicinal materials

标签#0 农药残留 (pesticide residues) 均出现最早且时间跨度最长, 中文#0 聚类标签中所包含的出现最早的关键词为中药材 (1987 年), 英文#0 聚类标签中出现最早的关键词为 organochlorine and organophosphorus (1998 年), 此关键词来源于 Yoon 等^[16]的研究报道。该阶段的技术手段较为单一, 检测技术以气相色谱法、HPLC、GC-MS 为主, 前处理方式包括固相萃取、超临界流体萃取、固相微萃取, 且研究主要集中于药材的质量控制。

第 2 阶段: 时间线上的关键词集中分布, 为中、英文文献研究的高速发展期, 该阶段代表了该领域的热点研究主题与发展趋势。与第 1 阶段相比, 该阶段技术手段和研究目的更加丰富。该阶段检测技术增加了 LC-MS/MS、GC-MS/MS、红外光谱、全二维气相色谱、荧光检测、离子色谱、免疫分析、拉曼光谱、分子印迹, 前处理方式增加了 QuEChERS、分散固相萃取、碳纳米管、微波辅助提取、凝胶渗透色谱、共价有机框架材料, 此时还丰富了理论基础, 如保留指数与电化学原理。研究目的拓展了农药残留规律研究、农残安全监测和膳食暴露风险评估。

图 10 所展示的中、英文文献强爆发关键词主要分布在各关键词时间线的第 2 阶段。中文文献爆发强度最高的关键词为残留量 (强度 5.39), 爆发持续时间最长的关键词为限量标准 (17 年), 预测未来热点关键词为标准 and 风险评估; 英文文献爆发强度最高的关键词为 pesticide residue (农药残留, 强度 5.54), 爆发持续时间最长的关键词为 organophosphorus pesticide (有机磷类农药, 6 年), 预测未来热点关键词为农药残留、色谱法、液相、暴露、农药。

3 讨论

由植物类药材农残检测研究中、英文文献的作者、机构、关键词分析得出该领域的研究热点主要分布于检测基质、农残种类、技术手段, 研究趋势为药材的质量评价与风险评估。因此, 探索一条普适性农残检测的技术手段将是大势所趋, 同时也能最大限度的满足药材质量标准制定与农残膳食摄入风险评估。

3.1 研究热点

对该领域国内外核心研究文献进行分析, 以探寻研究热点。通过对文献发文作者和机构共现分析发现, 该领域主要的国内研究机构为以薛健为代表的中国医学科学院北京协和医学院、金红宇为代表

的中国食品药品检定研究院、吴加伦为代表的浙江大学、付志锋为代表的西南大学; 国外研究机构为以 Tagami Takaomi 为代表的日本大阪府立公共研究所。其中, 中国医学科学院北京协和医学院和中国食品药品检定研究院为该领域的核心研究机构, 且二者的代表成员薛健和金红宇曾合作对金银花中有机磷类和高效氯氟氰菊酯农残检测进行研究, 建立了采用气相-蒸发光检测器测定金银花中有机磷类农药的方法, 并确定了高效氯氟氰菊酯在金银花中的残留规律^[17-18]。以薛健为代表的中国医学科学院北京协和医学院团队的研究以采用 GC-MS/MS 法对常见中药材中多种农药残留检测为主, 并进行了铁皮石斛、金银花等药材中农残膳食风险评估及人参加工过程中有机氯农药转移的研究^[19-24]。金红宇团队的研究主要采用 GC-MS/MS、LC-MS/MS 检测方法, 涉及处方中药材及药材不同药用部位中农药多残留的检测, 此外该团队还建立了在不使用混合农药对照品的条件下, 采用高分辨质谱对药材的不同药用部位中适用气相色谱分离的农药进行检测的方法^[25-27]。以吴加伦为代表的浙江大学团队和以 Tagami Takaomi 为代表的日本大阪府立公共研究所团队都是该领域的早期研究团队, 受当时学科发展所限, 他们的研究主要是对中药材或汉方药材中某一种农残的检测, 且检测方法主要为 HPLC、GC、GC-MS^[28-32]。以付志锋为代表的西南大学团队通过免疫色谱技术和化学发光原理, 采用双重或多重信号探针实现对中药材中多种农药残留的快速、灵敏、特异性检测, 操作简单且准确性高, 适用于中药材中农残的快速检测^[33-39]。

结合关键词分析可知该领域的热点研究方向为通过采用快速、灵敏、准确、普适的检测方法, 同时检测植物类药材中的多种农药。根据关键词共现分析可知, 金银花、三七、人参、黄芪为该领域的热点检测基质, 其中金银花出现频次最多, 且在关键词突现分析中爆发强度及持续时间均较其他检测基质突出, 因其以花蕾入药, 较易有农药残留。金书含等^[40]研究发现人参生长年限越长, 其农药残留水平也越高, 表明人参中农药残留量与生长年限呈正比。此外, 随着药材生长年限的增加, 其所受病虫害的风险也越大, 进而加剧了农药的使用, 因此可初步推断同为多年生草本植物的三七、黄芪也较易农药残留量的积累, 同时因上述 4 种药材在医药大健康领域均具有较高的药用价值及普及性, 提高

药材质量对保障人民生命健康安全具有重要的现实意义。在关键词分析中农药类型以有机氯、有机磷、拟除虫菊酯类为主,早期有机氯类农药因高效、廉价被广泛应用于农作物种植中,但因其高毒、难降解,长期使用对人体和环境均可造成不可逆的损害,此后易分解的环境友好型有机磷类农药逐渐成为热点,但长期暴露于此农药环境中,易造成人体中枢神经系统损伤,随着人们对绿色农业的追求,高效、低毒、易降解的拟除虫菊酯类农药日益成为杀虫剂中的主要类型之一。通过查询中国农药信息网发现,除人参、三七的农药登记有植物生长调节剂外,金银花、黄芪均无登记,且这 4 种热点研究基质的农药登记情况以杀虫、杀菌剂为主,包括氨基甲酸酯、烟碱、拟除虫菊酯类杀虫剂,甲氧基丙烯酸酯类、唑类、抗生素类杀菌剂,但实际样品检测中仍有有机氯、有机磷类农药检出的报道,农药登记不全且较为单一,需不断完善中药材农药登记制度,减少农药的滥用,全面监控中药材农药暴露水平,通过采取一定措施监控药材种植的环境行为,降低药材源头污染及农残膳食摄入风险,倡导绿色中药,从而满足人们健康生活所需。

3.2 发展趋势

该领域的发展得益于《中国药典》对中药材中农药残留限量标准及检测方法的不断明确与完善,自《中国药典》2000 年版明确规定了 9 种有机氯农药的检测方法以来,此后的各版药典不断扩大药材中农残检测范围、降低限量标准、完善检测方法。根据发文趋势分析,可将该研究领域的发展大概分为 3 个阶段,即初始期(首发时间—2000 年)、过渡期(2001—2005 年)、高速发展期(2006—2022 年)。此外,结合关键词突现与时间线分布,该领域发展的初始期和过渡期的研究主要以中药材的质量控制及农残限量标准研究为主,通过固相萃取、超临界流体萃取前处理,GC、HPLC、GC-MS 等传统检测方式对药材中某一种农残进行检测,其中有机氯、有机磷类农药是常检类型。随着学科发展,该领域迎来高速发展期,农残检测前处理方式与检测技术迭代更新,改进的 QuEChERS 技术^[41-43]、磁性材料^[44-45]、纳米材料技术^[46-48]以及有机框架材料^[49-50]的应用简化了传统的农残检测前处理步骤,有效降低了基质效应,检测方法也逐渐向 GC-MS/MS、LC-MS/MS、UHPLC-MS/MS^[51]、SFC-MS/MS^[52]、分子印迹膜电喷雾电离质谱^[53]、高分辨

质谱^[54]、免疫色谱与化学发光法^[33-39]、表面增强拉曼光谱法^[55]等新型方法过渡,检测手段趋于简单、快速、灵敏、准确化,同时对药材中残留农药的检测更趋向于多种农药的同时检测。随着人们对药材外源性污染物膳食摄入风险意识的增强,研究趋势开始向药材风险评估发展,而且由关键词突现分析可知,关键词“标准”“风险评估”“exposure”从开始爆发一直持续至今,因此可以判断该研究领域未来发展的趋势仍将趋向于药材的质量标准研究和农残膳食摄入风险评估。

3.3 不足之处

本研究在数据收集时,所选数据库较为单一,同时为得到高相关性文献,缩小了主题词的检索种类,在纳入文献时,可能存在文献数量的不足,对分析结果造成误差。此外,受文献纳入时间所限,CNKI 和 WoSCC 最新收录的文献并未分析,因此未来将会对该领域不同数据库的文献进行不间断的计量分析,以获取实时热点,并准确把握研究趋势。

4 结论

通过使用文献计量软件对植物类药材中农残检测研究的中、英文文献的关键信息进行知识网络科学图谱绘制,使信息可视化,进而有效获取该领域的研究热点与发展趋势。热点研究发现,新型净化材料与灵敏的检测仪器结合大大降低了药材基质效应的影响,使农残精准的定性、定量成为可能,同时该领域更倾向于采用能够简单、快速、准确、实时分析的技术手段对药材中农药多残留的检测,达到对药材质量标准的提升与全面风险评估的目的,从而满足绿色中药的发展需求,保障人们生命健康安全。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Maestroni B, Besil N, Bojorge A, *et al.* Optimization and validation of a single method for the determination of pesticide residues in *Peumus boldus* Molina leaves using GC-MSD, GC-MS/MS and LC-MS/MS [J]. *J Appl Res Med Aromat Plants*, 2020, 18: 100254.
- [2] 中国药典 [S]. 四部. 2020: 275-279.
- [3] Wang W H, Lu C. Visualization analysis of big data research based on Citespace [J]. *Soft Comput A Fusion Found Methodol Appl*, 2020, 24(11): 8173-8186.
- [4] 张清源, 张敬文, 吴千言, 等. 活血化瘀类复方防治高脂血症的临床研究热点与趋势——基于 VOSviewer 的可视化分析 [J]. *中草药*, 2022, 53(1): 196-205.
- [5] Dai S L, Duan X, Zhang W. Knowledge map of

- environmental crisis management based on keywords network and co-word analysis, 2005–2018 [J]. *J Clean Prod*, 2020, 262: 121168.
- [6] Wang M H, Ho Y S, Fu H Z. Global performance and development on sustainable city based on natural science and social science research: A bibliometric analysis [J]. *Sci Total Environ*, 2019, 666: 1245-1254.
- [7] Shah S H H, Lei S, Ali M, *et al.* Prosumption: Bibliometric analysis using HistCite and VOSviewer [J]. *Kybernetes*, 2020, 49(3): 1020-1045.
- [8] 付健, 丁敬达. Citespace 和 VOSviewer 软件的可视化原理比较 [J]. 农业图书情报, 2019, 31(10): 31-37.
- [9] Chen C M, Song M. Visualizing a field of research: A methodology of systematic scientometric reviews [J]. *PLoS One*, 2019, 14(10): e0223994.
- [10] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能 [J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253.
- [11] 邓国艳, 米惠, 刘红宇, 等. 基于 VOSviewer 和 CiteSpace 对中药注射剂类过敏反应研究热点和趋势的可视化分析 [J]. 中草药, 2024, 55(3): 907-918.
- [12] Lotka A J. The frequency distribution of scientific productivity [J]. *J Frankl Inst*, 1926, 202(2): 271.
- [13] 唐荣, 魏欣, 马江, 等. 基于 CiteSpace 科学知识图谱分析石榴皮研究现状及热点 [J]. 中草药, 2023, 54(12): 3949-3961.
- [14] 张喜利, 张云莉, 梁慧慧, 等. 中药材外源性物质吸收相关理论分析 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2020, 26(10): 192-196.
- [15] 郝嘉树. 基于关键词聚类的领域本体层次关系半自动构建研究 [J]. 情报科学, 2016, 34(4): 59-61.
- [16] Yoon H R, Lee E J, Park M K, *et al.* Sulfuric acid pretreatment for the simultaneous GC screening of organochlorine and organophosphorus pesticides in herbal essential oils [J]. *Chromatographia*, 1998, 47(9): 587-592.
- [17] 顾炎, 薛健, 金红宇, 等. 金银花中有机磷类农药测定方法建立及残留状况调查 [J]. 中国现代中药, 2016, 18(9): 1148-1152.
- [18] 刘璐, 李嘉欣, 薛健, 等. 高效氯氟氰菊酯在中药材金银花中残留规律探究 [J]. 农药, 2016, 55(6): 426-430.
- [19] Li J X, Gu Y, Xue J, *et al.* Analysis and risk assessment of pesticide residues in a Chinese herbal medicine, *Lonicera japonica* thunb [J]. *Chromatographia*, 2017, 80(3): 503-512.
- [20] Tong H F, Tong Y L, Xue J, *et al.* Multi-residual pesticide monitoring in commercial Chinese herbal medicines by gas chromatography–triple quadrupole tandem mass spectrometry [J]. *Food Anal Meth*, 2014, 7(1): 135-145.
- [21] Tong Y L, Xue J, Wu X B. Multi-residue pesticide determination in *Flos Chrysanthemi* by mixed mode SPE purification with GC-MS/MS analysis [J]. *Anal Lett*, 2013, 46(4): 615-629.
- [22] Gu M Y, Wang P S, Shi S M, *et al.* Dietary risk assessment and ranking of multipesticides in *Dendrobium officinale* [J]. *J Food Qual*, 2021, 2021: 9916758.
- [23] Wu P L, Wang P S, Gu M Y, *et al.* Human health risk assessment of pesticide residues in honeysuckle samples from different planting bases in China [J]. *Sci Total Environ*, 2021, 759: 142747.
- [24] Wu P L, Gu M Y, Wang Y J, *et al.* Transfer of organochlorine pesticide residues during household and industrial processing of ginseng [J]. *J Food Qual*, 2020, 2020: 5946078.
- [25] 屈浩然, 王莹, 卢建秋, 等. 加味逍遥片及其处方中药材的农药多残留研究 [J]. 药物分析杂志, 2021, 41(2): 269-292.
- [26] 王莹, 金红宇, 魏赫, 等. 花类、果实类中药材中禁限用及常用农药多残留检测方法的建立 [J]. 中国药理学杂志, 2016, 51(5): 404-412.
- [27] 王赵, 王莹, 郝征伟, 等. 采用 APGC-QToF 建立中药材中 71 种常见农药的快速筛查法 [J]. 药物分析杂志, 2018, 38(12): 2152-2159.
- [28] 吴加伦, 王天玉, 王怀昌, 等. 高效液相色谱法测定元参、黄芩和杭白菊中的多菌灵残留 [J]. 农药学报, 2010, 12(4): 489-493.
- [29] 吴加伦, 占绣萍, 邹耀华, 等. 白术、温郁金、贝母、杭白菊中有机磷农药残留的污染调查 [J]. 中国中药杂志, 2007, 32(9): 798-800.
- [30] 吴加伦, 邹耀华, 李丽青. 白芍和黄连中十五种有机氯和拟除虫菊酯类农药的多残留分析方法 [J]. 农药学报, 2006, 8(1): 65-70.
- [31] Tagami T, Kajimura K, Takagi S, *et al.* Simultaneous analysis of 17 organochlorine pesticides in natural medicines by GC/MS with negative chemical ionization [J]. *Yakugaku Zasshi*, 2007, 127(7): 1167-1171.
- [32] Tagami T, Kajimura K, Satsuki Y, *et al.* Simultaneous analysis of 10 pyrethroid pesticides in natural medicines by GC/MS with negative chemical ionization [J]. *Yakugaku Zasshi*, 2006, 126(10): 991-995.
- [33] Liu M L, Zhang L X, Jiang S, *et al.* A facile luminescence resonance energy transfer method for detecting cyano-containing pesticides in herbal medicines [J]. *Microchem J*, 2020, 152: 104451.
- [34] Ouyang H, Wang W W, Shu Q, *et al.* Novel chemiluminescent immunochromatographic assay using a dual-readout signal probe for multiplexed detection of pesticide residues [J]. *Analyst*, 2018, 143(12): 2883-2888.
- [35] Ouyang H, Tu X M, Fu Z F, *et al.* Colorimetric and chemiluminescent dual-readout immunochromatographic assay for detection of pesticide residues utilizing g-

- C₃N₄/BiFeO₃ nanocomposites [J]. *Biosens Bioelectron*, 2018, 106: 43-49.
- [36] Shu Q, Wang L M, Ouyang H, *et al.* Multiplexed immunochromatographic test strip for time-resolved chemiluminescent detection of pesticide residues using a bifunctional antibody [J]. *Biosens Bioelectron*, 2017, 87: 908-914.
- [37] Liu M L, Wei J Y, Wang Y, *et al.* Dopamine-functionalized upconversion nanoparticles as fluorescent sensors for organophosphorus pesticide analysis [J]. *Talanta*, 2019, 195: 706-712.
- [38] Ouyang H, Lu Q, Wang W W, *et al.* Dual-readout immunochromatographic assay by utilizing MnO₂ nanoflowers as the unique colorimetric/chemiluminescent probe [J]. *Anal Chem*, 2018, 90(8): 5147-5152.
- [39] Xian J X, Luo S, Xue J X, *et al.* Synergetic dual-site atomic catalysts for sensitive chemiluminescent immunochromatographic test strips [J]. *Anal Chem*, 2022, 94(32): 11449-11456.
- [40] 金书含, 王嘉琦, 白海斌, 等. 人参中 3 种农药残留分布规律及短期膳食风险评估 [J]. *农药学学报*, 2023, 25(2): 461-467.
- [41] Zhang Q K, Ge Q Q, Zhang Z H, *et al.* Determination and dietary intake risk assessment of pesticide residues in *Fritillariae thunbergii* bulbs and cultivated soils [J]. *J AOAC Int*, 2021, 104(2): 404-412.
- [42] 耿昭, 李小红, 苟琰, 等. QuEChERS 法结合气相色谱-串联质谱法测定贝母类中药中 53 种农药残留 [J]. *中草药*, 2020, 51(20): 5337-5347.
- [43] Fan X Y, Tang T, Du S, *et al.* Simultaneous determination of 108 pesticide residues in three traditional Chinese medicines using a modified QuEChERS mixed sample preparation method and HPLC-MS/MS [J]. *Molecules*, 2022, 27(21): 7636.
- [44] Senosy I A, Lu Z H, Zhou D D, *et al.* Construction of a magnetic solid-phase extraction method for the analysis of azole pesticides residue in medicinal plants [J]. *Food Chem*, 2022, 386: 132743.
- [45] 魏丹, 国明. 磁性亲水亲脂平衡萃取材料辅助基质固相分散萃取-高效液相色谱-串联质谱法同时测定中药材中 76 种农药残留 [J]. *色谱*, 2022, 40(4): 313-322.
- [46] Sun X Q, Luo J Y, Lu Q, *et al.* Application of hydroxylated multi-walled carbon nanotubes as depigmentation agent in the determination of multiple pesticide residues in *Lonicerae japonicae* flower buds [J]. *Microchem J*, 2022, 177: 107280.
- [47] Li G L, Yang J H, Zhang Y D, *et al.* Simultaneous determination of diamide insecticides in honeysuckle using a modified QuEChERS based on carboxylated multi-walled carbon nanotubes and UPLC-PDA [J]. *Chem Select*, 2022, 7(25): e202201226.
- [48] Zhao W H, Shi Y P. A porous boron nitride nanorods-based QuEChERS analysis method for detection of five neonicotinoid pesticide residues in Goji berries [J]. *J Chromatogr A*, 2022, 1670: 462968.
- [49] 李玉蕊. 亚胺类磁性共价有机框架材料的合成及其在中药材农药残留检测方法中的应用研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
- [50] Musarurwa H, Chimuka L, Tavengwa N T. Metal organic framework-based magnetic solid phase extraction of pesticides in complex matrices [J]. *Microchem J*, 2021, 171: 106907.
- [51] Chen L N, Song F R, Liu Z Q, *et al.* Multi-residue method for fast determination of pesticide residues in plants used in traditional Chinese medicine by ultra-high-performance liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry [J]. *J Chromatogr A*, 2012, 1225: 132-140.
- [52] Wang S C, Qi P P, Di S S, *et al.* Significant role of supercritical fluid chromatography - mass spectrometry in improving the matrix effect and analytical efficiency during multi-pesticides residue analysis of complex chrysanthemum samples [J]. *Anal Chim Acta*, 2019, 1074: 108-116.
- [53] Wu C M, Li T Y, Li D J, *et al.* Rapid detection of pesticide residues in Chinese herbal medicines by molecularly imprinted membrane electrospray ionization mass spectrometry [J]. *Chin Chem Lett*, 2021, 32(7): 2174-2178.
- [54] Zhou H, Cao Y M, Miao S, *et al.* Qualitative screening and quantitative determination of 569 pesticide residues in honeysuckle using ultrahigh-performance liquid chromatography coupled to quadrupole-Orbitrap high resolution mass spectrometry [J]. *J Chromatogr A*, 2019, 1606: 460374.
- [55] 王婷, 魏金超, 王一涛, 等. 表面增强拉曼技术在中药污染物检测中的应用与展望 [J]. *中国中药杂志*, 2021, 46(1): 62-71.

[责任编辑 潘明佳]