

福寿螺属主要入侵种(*Pomacea canaliculata* 和 *Pomacea maculate*) 研究趋势可视化

谭茵^{1,2}, 周子豪^{1,2}, 黄锦龙^{1,2}, 武正军^{1,2}

(1. 广西师范大学, 珍稀濒危动植物生态与环境保护教育部重点实验室, 广西 桂林 541006)

(2. 广西师范大学, 广西珍稀濒危动物生态重点实验室, 广西 桂林 541006)

[摘要] 为了解和对比近些年来国内外福寿螺领域研究趋势和热点内容, 本文以中国知网(CNKI)和 Web of Science(WOS)核心文集™的科学引文索引扩展版 SCI-E 数据库为数据来源, 运用 CiteSpace 和 VOSviewer 软件对 2009—2021 年福寿螺属中入侵能力最强、入侵范围最广的两种物种(*Pomacea canaliculata* 和 *Pomacea maculate*) 研究领域的 813 篇相关文献(中文文献 398 篇, 英文文献 415 篇)进行年度发文量、作者和国家合作网络、关键词共现、聚类及突现以及文献共被引分析。结果显示: 自 2009 年来, 国际上福寿螺领域研究热度持续, 发文总体呈波浪式增长; 国内研究热度有所减缓, 发文总体呈下降趋势。在该领域内, 国内发文地区主要集中在我国长江中下游以南及沿海地区; 国际上, 中国、阿根廷、美国、巴西是主要的发文国家。我国发文量位居第一, 与阿根廷、美国构成该领域研究的主要国家力量。国家间合作密切, 合作网络覆盖亚洲、南美、北美、西欧和澳大利亚各大区域。国内外近年来在该领域的研究热点有所不同, 广州管圆线虫病、福寿螺的抗逆性和防治是我国近些年甚至未来很长一段时间研究关注的重点; 在世界范围内, 近年来的研究热点则是个体识别与鉴定、系统发育分析、物种地理起源和进化方面。此外, 蛋白质组、卵、渐渗杂交福寿螺的危害和可利用化是目前国际在该领域的研究前沿。

[关键词] 研究热点, *Pomacea canaliculata*, *Pomacea maculate*, CiteSpace, VOSviewer, 可视化分析

[中图分类号] G353.1; Q958 [文献标志码] A [文章编号] 1001-4616(2023)01-0088-12

Visualization of Research Trends of Main Invasive Species(*Pomacea canaliculata* and *Pomacea maculate*) of *Pomacea* genus

Tan Yin^{1,2}, Zhou Zihao^{1,2}, Huang Jinlong^{1,2}, Wu Zhengjun^{1,2}

(1. Guangxi Normal University, Key Laboratory of Ecology and Environmental Protection of Rare and Endangered Animals and Plants, Ministry of Education, Guilin 541006, China)

(2. Guangxi Normal University, Key Laboratory of Ecology of Rare and Endangered Animals, Guilin 541006, China)

Abstract: To understand and compare the research trends and hot topics in the field of *Pomacea* genus worldwide in recent years, with the China CNKI database and the SCI-E database(Extended Edition of the Scientific Citation Index) of the core corpus of Web of Science(WOS) database™ as the data source, CiteSpace and VOSviewer softwares were utilized to analyze the annual number of articles, author and national cooperation network, keyword co-occurrence, clustering and bursting, and literatures co-citation of 415 related articles(398 in Chinese and 415 in English) in the research field of two species(*Pomacea canaliculata* and *Pomacea maculate*) with the strongest invasion ability and the widest invasion scope in the genus *Pomacea* from 2009 to 2021 were conducted. The results show that, since 2009, the international research in this field has been hot, and the number of published articles has generally increased in waves, while the domestic research has slowed down, and the number of published articles has generally declined. In this field, domestic publishing areas are mainly concentrated in the south of the middle and lower reaches of the Yangtze River and coastal areas, Internationally, China, Argentina, the United States and Brazil are the main countries that publish articles. China has the largest number of publications and constitutes the main national force in this field with Argentina and the United States. Close cooperation among countries, the cooperation network covers Asia, South America, North America, Western Europe and Australia. In recent years, the research hotspots in this field are different at home and abroad, *Angiostrongylus*

收稿日期: 2022-09-20.

基金项目: 国家自然科学基金项目(31960280)、广西科技基地和人才专项(桂科 AD20159042).

通讯作者: 武正军, 博士, 教授, 研究方向: 动物生态学及保护生物学. E-mail: wu_zhengjun@aliyun.com

cantonensis and *Ampullaria gigas*'s stress resistance and control are the focus of research in China at present and even in the future for a long time. In the world, the research hotspots in recent years are individual identification, phylogenetic analysis, geographical origin and evolution of species. In addition, damage and using, protein formation, egg and introgression hybridization are the international research frontiers in this field.

Key words: research hotspot, *Pomacea canaliculata*, *Pomacea maculata*, CiteSpace, VOSviewer, visualization analysis

福寿螺属 (*Pomacea*), 隶属于软体动物门 (Mollusca)、腹足纲 (Gastropoda)、新进腹足目 (Caenogastropoda)、瓶螺科 (Ampullariidae), 原产自南美洲亚马孙河流域^[1], 生命力顽强、繁殖扩散快^[1], 现已入侵和广泛分布在中国及世界其他许多地区^[2]. 目前至少有 14 种苹果蜗牛 (*Ampullariidae*) 被释放到其原生栖息地以外的水体中^[3]. 在北半球, 福寿螺的分布呈现不断北移的现象^[2]. *Pomacea* 属有多个种, 从原产地引入我国的福寿螺目前至少有 5 种, 包括小管福寿螺 *Pomacea canaliculata* (Lamarck, 1822)、斑点福寿螺 *Pomacea maculata* (Perry, 1810)、隐秘福寿螺 *Pomacea occulta* (Yang & Yu, 2019)、神秘福寿螺 *Pomacea diffusa* (Reeve, 1856) 和梯状福寿螺 *Pomacea scalaris* (d'Orbigny, 1832)^[4-6]. 其中, 小管福寿螺 *P. canaliculata* 在我国入侵范围最广^[4], 是世界 100 种恶性外来入侵物种之一^[7], 也被列入首批入侵中国的 16 种“危害极大的外来物种之一”. 斑点福寿螺 *P. maculata* 与小管福寿螺的亲缘关系最近, 二者在外部形态特征上极其类似^[8-9], 是入侵能力最强、最难区分的两个种^[1,8-9]. 目前这两个物种已成为包括水稻在内的水产作物的主要害虫^[3,10].

福寿螺严重威胁入侵地物种、破坏湿地生物多样性^[2], 对水稻、芋头等农作物造成严重危害^[11-14]. 这种入侵淡水螺逐渐受到全球学者的关注, 相关研究也日益增多, 比如关注繁殖力^[15-16]、耐受力^[17-18]、危害^[19-20]、防治^[21-22]等方面. 陈映僮等^[23]、邓智心等^[24]对中国知网 (CNKI) 数据库福寿螺研究趋势进行过系统分析, 但尚缺乏基于知识图谱的可视化以及国内外研究的对比分析. 为了解近年来世界范围内福寿螺研究趋势及进行国内外研究热点的对比分析, 本文选取入侵能力最强、分布最广的两个物种小管福寿螺和斑点福寿螺为研究对象, 从中国知网 (CNKI) 和 Web of Science (WOS) 核心文集TM的科学引文索引扩展版 SCI-E 数据库数据库, 运用 CiteSpace 和 VOSviewer 文献计量软件进行知识图谱分析.

VOSviewer 和 CiteSpace 是最常用的文献计量工具^[25], 两者各具优缺点, 在功能上优势互补. VOSviewer 在研究领域关键词之间的关系和关联强度呈现更为清晰^[26-27], 主题聚类方面更清晰详细^[28], 具有制图简易、图像美观的突出特征^[29], CiteSpace 对研究领域的发展规律、研究热点及前沿可更好地予以揭示^[27,30-32].

1 材料与方法

1.1 数据来源

中文文献以检索式: 主题=“福寿螺”或“苹果螺”或“大瓶螺”或“斑点福寿螺”或“小管福寿螺”进行检索, 限制文献类型为研究论文或综述; 英文文献以检索式 TS = (“*Pomacea canaliculata*” OR “*Pomacea maculata*” OR “*Ampullaria gigas* Spix” OR “*Ampullaria gigas* Spix” OR “*Ampullaria crosseana*” OR “*Ampullaria gigas*” OR “*Ampullarium insularum*” OR “*Amazonian snail*” OR “*Apple Snail*”) 进行检索, 限制文献类型为“article”和“review”、语种为“English”. 中、英文文献搜索时间范围均为 2009 年 1 月 1 日至 2021 年 12 月 31 日, 排除不相关和重复的文献, 最终筛选出福寿螺研究领域中文文献 398 篇、英文文献 415 篇.

1.2 研究工具和分析方法

应用 Graph Pad Prism 8 对该领域文献进行年度发文量分析和国内发文区域热力分布图的绘制; 国家地理合作网络关系采用 VOSviewer (1.6.18) 和 Scimago Graphica (1.0.18) 进行分析及绘制; 采用 VOSviewer (1.6.18) 进行作者合作关系分析, 应用 CiteSpace (6. 1. R2) 对纳入的中、英文文献进行关键词共现、聚类和突现分析以及英文文献的国家共现、文献共被引可视化分析. 由于知网导出的文献缺乏参考文件信息而无法进行文献共被引分析, 为进行中、英文文献的高被引文献对比分析, 借助 CNKI 数据库自带的统计分析功能对文献被引频次进行统计.

中、英文文献核心作者由普赖斯定律公式 $N1(N2) = 0.749 \times \sqrt{\max}$ 计算^[27,33-35], \max 表示最大发文量

(或最高被引次数),同时满足发文量>N1 篇且被引频次>N2 的作者即为核心作者候选人. 为体现作者的学术水平及国际影响力,综合“质”(被引数)与“量”(被引数)两个指标,采用但文超等的综合影响指数方法对核心作者进行计算^[35]. 综合影响指数 $z_i = (x_i/x_0) \times 100 \times 0.5 + (y_i/y_0) \times 100 \times 0.5$, 其中 x_0 与 y_0 分别为核心作者候选人的平均发文数与平均被引次数,被引次数与发文数权重值各为 0.5,综合指数值>100 的作者为核心作者^[35].

2 结果与分析

2.1 研究力量的时空分布

2.1.1 年度发文量

2009—2021 年 13 年间,福寿螺领域中、英文发文量呈现波浪式上下浮动. CNKI 数据库发文总体呈下降趋势,在 2011 年的发文最多(47 篇),年均发文量约 31 篇. 2011 年,福寿螺寄生虫感染率调查、防治相关研究增多,随之发文增加. WOS 数据库发文总体呈上升趋势,2015 年后国际发文激增,2017—2019 年三年的发文量均高于 40 篇且在 2018 年发文最多(达 49 篇),近五年的发文量(166 篇)占总区间(2009—2021 年)的 40%. 在 2015 年,个体识别与鉴定、消化腺、进化、系统发育和物种地理起源的研究内容开始出现并在 2017—2019 年相关研究大幅增加,随之发文增多.

2009—2021 年 CNKI 和 WOS 数据库福寿螺领域年度发文量如图 1 所示.

2.1.2 作者共现分析

该领域内,中、英文文献作者最高发文量分别为 59 篇和 29 篇,单个作者累积最高被引量分别为 623 次和 209 次. 由普赖斯定律公式 $N = 0.749 \times \sqrt{\max}$ 计算得,中文文献核心作者最低发文量和最低被引量阈值分别为 $N1 = 5.753$ (取整为 6)篇、 $N2 = 18.695$ (取整为 19)次,去除同名作者后达到两阈值条件共 6 位作者. 同理计算得,英文文献核心作者最低发文量和最低被引量阈值分别为 $N1 = 4.033$ (取整为 4)篇、 $N2 = 10.828$ (取整为 11)次,去除同名作者后达到两阈值条件共 18 位作者. 由综合影响指数公式计算中、英文发文核心作者,综合影响指数值>100 的核心作者情况如表 1 所示.

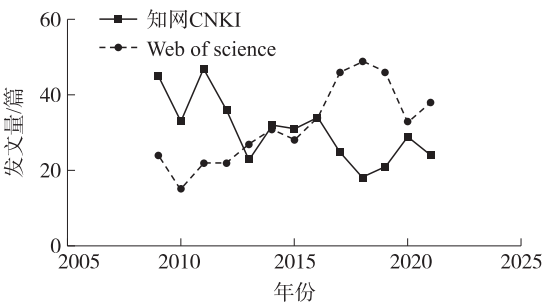


图 1 2009—2021 年 CNKI 和 WOS 数据库年度发文量统计
Fig. 1 Annual number of publications in the CNKI and WOS databases from 2009 to 2021

表 1 综合指数法评测的 CNKI 和 WOS 数据库核心作者排名情况

Table 1 Ranking of Core Authors of CNKI and WOS databases evaluated by Comprehensive Index Method					
序号	作者	综合影响指数	发文量	被引次数	机构
WOS	1 PABLO R MARTIN	214. 23	29	73	Consejo Nacional de Investigaciones Cientificasy Tecnicas 阿根廷国家科学与技术研究委员会
	2 JIANWEN QIU	150. 62	22	43	Hong Kong Baptist University 香港浸会大学
	3 HORACIO HERAS	132. 67	18	45	Consejo Nacional de Investigaciones Cientificasy Tecnicas 阿根廷国家科学与技术研究委员会
	4 ISRAEL A VEGA	122. 10	18	34	University Nacional Cuyo Mendoza 库约门多萨国立大学(阿根廷)
	5 YOICHI YUSA	121. 95	5	101	Nara Womens University 奈良女子大学
	6 LV SHAN	117. 14	5	96	Chinese Center for Disease Control & Prevention Natl Inst Parasit Dis 中国疾病预防控制中心国家寄生虫研究所
	7 MARIA E SEUFFERT	109. 93	8	73	Consejo Nacional de Investigaciones Cientificasy Tecnicas 阿根廷国家科学与技术研究委员会
CNKI	1 章家恩	202.05	59	623	华南农业大学热带亚热带生态研究所

福寿螺领域内,中文发文以章家恩为首的研究团队为第一大研究队伍,该团队在发文数量和文献质量上贡献最大,与牟希东、胡隐昌为主的研究团队、严太明等人的研究团队合作密切,组成中文发文的主要力量. 英文发文的 7 位核心作者中,两位来自中国、四位来自阿根廷,表明入侵物种福寿螺相关领域在我国

和阿根廷受到的极大关注和重视. 国内外学者合作密切, 分别以 PABLO R MARTIN、JIANWEN QIU 和 YOICHI YUSA 为主的几大研究团队构成国际发文的主要力量. 作者合作图谱见图 2.

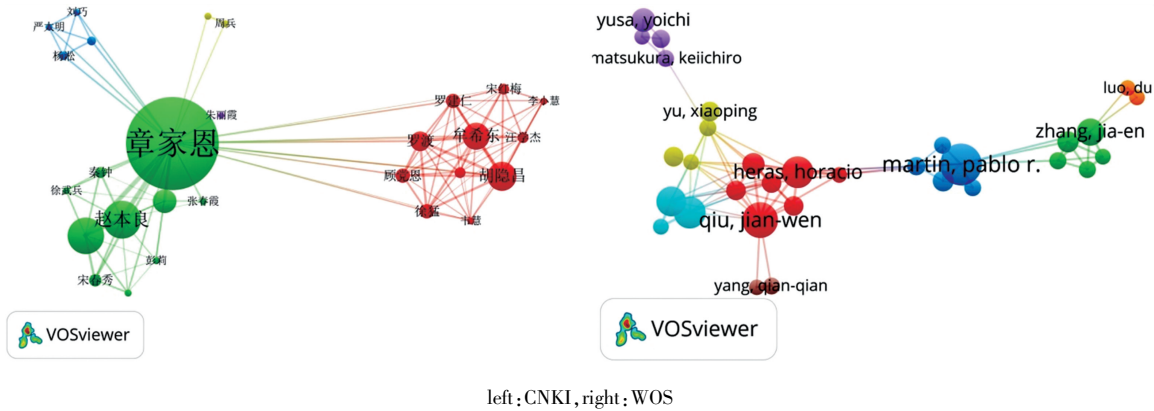


图 2 基于 VOSviewer 的作者合作网络图谱
Fig. 2 Author collaboration network map based on VOSviewer

2.1.3 国内区域发文和国家共现分析

统计 2009—2021 年中文文献第一作者单位省份, 以明确福寿螺领域研究在我国不同地域的分布情况^[35]. 2009—2021 年我国研究区域热力分布图如图 3 所示. 发文区域主要集中在我国长江中下游以南及沿海地区. 相较于西北或较为严寒的地区, 这些地区具更高度潜在入侵风险^[36]. 特别 30°N 以南地区, 福寿螺繁殖泛滥快、极易造成农业灾害^[36-38]. 如何高效防治福寿螺成为亟待解决的难题, 相关研究随之兴起.

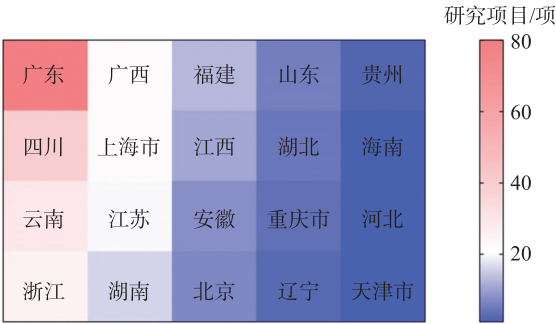


图 3 2009—2021 年国内研究区域热力分布图
Fig. 3 Thermal distribution map of domestic research areas in China from 2009 to 2021

英文文献的国家地理网络和合作网络图谱见图 4、图 5. 国家合作网络图谱中, 节点代表国家, 两节点间的连线为对应的两个国家有合作, 节点越大国家发文量越多, 节点上不同颜色的年轮分别代表在不同年份所发表的文章, 年轮厚度与在该年份所发表文章数量成正比^[28]. 中介中心性是测度节点在网络中重要性的一个指标^[28], 其值越高则越重要, 表示该国家与其他国家合作越多, 当节点中心度>0.1 时, 节点包裹有明显紫色外圈^[35].

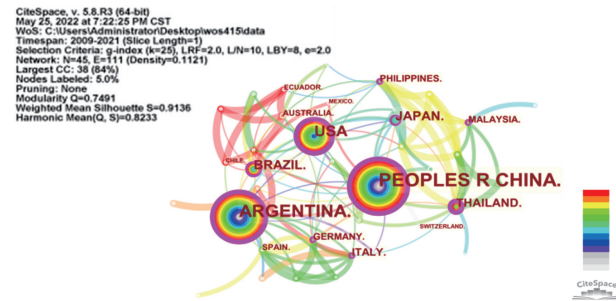


图 4 国家合作网络图谱 (基于 WOS 数据库)
Fig. 4 Map of national cooperation network (Based on WOS database)



图 5 国家合作地理可视化 (发文量在 3 篇以上)
Fig. 5 Visualization of national cooperation geography (with more than 3 articles published)

2009—2021 年, 国家节点间有许多线条连接, 表明该领域国际合作密切, 合作网络覆盖亚洲、北美、南美、西欧和澳大利亚各大区域. 中国、阿根廷、美国、澳大利亚、巴西、英格兰、西班牙、法国、意大利和德国节点包裹有明显紫色外圈, 表明这些国家在该领域具有重要影响力. 其中, 中国发文量最高 (141 篇), 阿根廷 (106 篇) 和美国 (66 篇) 位居第二、第三. 中国中心性最大 (0.29), 与各国的合作最为频繁, 在国家合作

网络中最具影响力;美国次之(0.22),阿根廷第三(0.21)。中国、美国及阿根廷三国合作最频繁,是该领域的主要发文国家和中坚研究力量。见图 4 和图 5。

2.2 关键词分析

2.2.1 关键词共现分析

对福寿螺领域的研究发文进行关键词计量分析,高频关键词能在一定程度上反映领域内的主要研究内容^[35]。关键词是对研究内容的高度概括和凝练,若关键词出现频率较高,说明该关键词所代表的研究内容得到较多关注^[39]。该领域频次排名前 15 关键词和共现图谱如表 2 和图 6 所示。据 CiteSpace 和 VOSviewer 国内外发文关键词共现结果,国内的研究主要集中在福寿螺危害、寄生虫感染率、灭螺活性和防治方面,国外则主要集中在福寿螺的影响、生长、基因或蛋白质表达和生物学领域方面。

表 2 高频关键词及高中心性关键词分布情况

WOS					CNKI			
序号	高频关键词	频次	高中心性关键词	中心性	高频关键词	频次	高中心性关键词	中心性
1	<i>pomacea canaliculata</i>	131	apple snail	0.26	福寿螺	372	福寿螺	1.5
2	Ampullariidae	123	Caenogastropoda	0.23	生物入侵	12	捕食	0.03
3	Gastropoda	106	impact	0.15	危害	12	感染率	0.02
4	apple snail	48	macrophyte	0.11	防治	12	灭螺活性	0.02
5	impact	44	Gastropoda	0.10	防治效果	11	广东	0.02
6	Caenogastropoda	43	Mollusca	0.10	水稻	9	水稻田	0.02
7	growth	38	biology	0.10	感染率	7	分布	0.01
8	Mollusca	28	expression	0.10	四聚乙醛	7	中间宿主	0.01
9	herbivory	21	biological control	0.09	入侵机制	6	序列分析	0.01
10	population	20	<i>pomacea canaliculata</i>	0.08	中华鳖	6	抗逆性	0.01
11	macrophyte	19	growth	0.08	发生规律	6	大瓶螺	0.01
12	biological control	16	water	0.08	分布	6	医学贝类	0.01
13	biology	15	fresh water snail	0.08	中间宿主	6	宿主	0.01
14	identification	14	protein	0.07	入侵	5	入侵生物	0.01
15	temperature	14	Ampullariidae	0.06	扫描电镜	5	效果	0.01

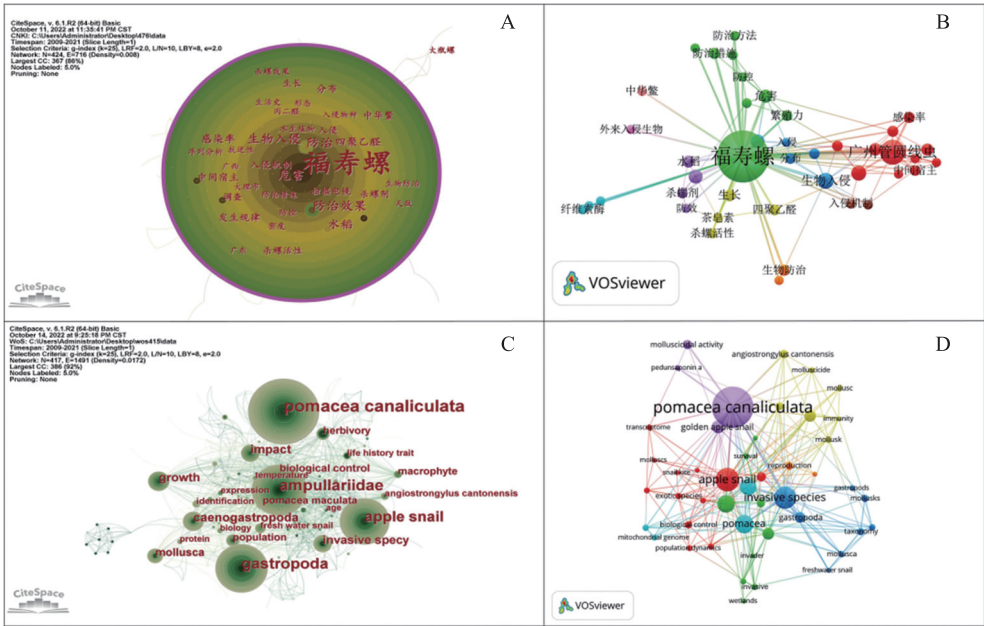


图 6 关键词共现网络图谱(A 和 B:CNKI,C 和 D:WOS)

Fig. 6 Keywords co-occurrence network map(A and B:CNKI,C and D:WOS)

2.2.2 关键词聚类分析

应用对数似然比算法(LLR)^[40-41]对关键词进行聚类分析,聚类模块值 Modularity(Q 值)和平均轮廓值 Silhouette(S 值)表征聚类效果的好坏。 Q 值 >0.3 表明聚类结构显著; S 值 >0.5 表明聚类结果合理,

S 值 >0.7 表明聚类是高效率且是令人信服的^[13]. 中文文献聚类显示 Q 值 $=0.576\ 2$ 、平均 S 值 $=0.982\ 8$, 英文文献聚类显示 Q 值 $=0.587\ 0$ 、平均 S 值 $=0.809\ 5$, 因此认为中、英文文献聚类效果显著且聚类结果有较强说服力. 中、英文文献聚类 S 值分别在 $0.636\sim0.995$ 、 $0.928\sim1$ 之间, 说明研究内容多样化, 组成众多小聚类^[32]. 两聚类图谱均有多个聚类重叠, 提示该部分聚类间联系紧密, 即该领域中、英文的研究内容虽各具差异, 但主题集中^[34]. 形成的聚类中, 聚类编号数字越小, 代表该聚类下的文献研究越多, 规模越大^[35]. 对聚类模块主要内容的探讨进行归纳见表 3, 关键词聚类图谱见图 7.

表 3 中、英文文献关键词聚类情况

Table 3 Clustering of keywords in Chinese and English literature

WOS					CNKI				
聚类 ID	大小	聚类轮廓	年份	聚类标签	聚类 ID	大小	聚类轮廓	年份	聚类标签
#0	49	0.729	2013	invasive species(入侵物种)	#0	135	1	2014	福寿螺
#1	41	0.792	2014	selection(选择)	#1	26	0.942	2013	抗逆性
#2	39	0.741	2016	behavior(行为)	#2	25	0.958	2012	危害
#3	38	0.697	2014	bimodal breathing(双峰呼吸)	#3	18	0.951	2013	水稻
#4	38	0.636	2013	phylogenetic analysis(系统发育分析)	#4	16	0.934	2013	洱海流域
#5	27	0.672	2012	angiostrongylus cantonensis(广州圆线虫)	#5	16	0.985	2013	生长
#6	25	0.837	2013	Mollusca(软体动物类)	#6	12	0.928	2013	医学贝类
#7	24	0.855	2014	alkaline phosphatase activity(碱性磷酸酶活性)	#7	11	0.989	2014	卵孵化
#8	23	0.757	2016	biological control(生物防治)	#8	11	0.993	2012	生物学
#9	8	0.987	2010	sentinel organisms(指示生物)	#9	10	0.991	2012	中华鳖
#10	7	0.945	2011	molluscicidal activity(灭螺活性)	#10	8	0.993	2016	生物防治
#11	5	0.995	2013	ectocommensals(外共栖体)	#11	7	0.988	2013	防治

中文文献聚类结果可分为 35 个聚类模块, 显示 $Size$ 值 >6 的前 12 个模块. 其中, #1 探讨福寿螺的环境(物理、化学、生物因素)的抗逆性, #2 和 #3 探讨福寿螺入侵的危害, #4 探讨洱海流域福寿螺的时空分布和综合防治, #5 探讨福寿螺的生长, #6 探讨福寿螺的寄生虫感染率和寄生虫疾病传播, #7 探讨福寿螺的卵孵化和繁殖, #8 探讨福寿螺的生物学内容, #9、#10 和 #11 探讨福寿螺的防治.

英文文献聚类结果可分为 12 个聚类模块. 其中, #1 探讨福寿螺食物选择模式、蛋白质组学反应和基因选择的内容, #2 探讨福寿螺的行为, #3 探讨福寿螺的生理结构和功能, #4 探讨福寿螺的系统发育和物种地理起源, #5 和 #11 探讨福寿螺体内外寄生生物及寄生虫病的爆发, #7 探讨碱性磷酸酶活性, #8 和 #10 探讨福寿螺的生化防治和灭螺效果, #9 探讨福寿螺水体污染(金属和有机污染物等)的生物监测指示作用和生物积累能力.

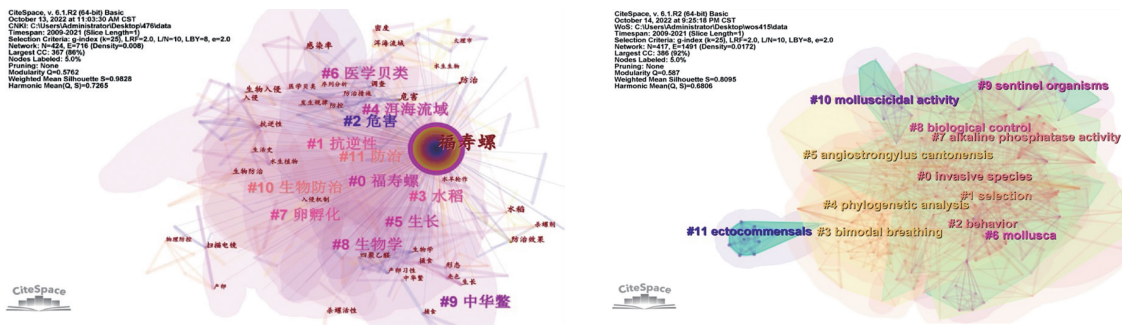


图 7 关键词聚类图谱

Fig. 7 Keywords clustering map

2.2.3 关键词时区图谱

将关键词共现图谱分别转换为时区图谱见图 8, 时区图可更清晰地展示两种福寿螺相关研究随时间流向的发展动态^[33].

时区图谱显示: 福寿螺领域国内外研究内容多样, 研究关注福寿螺生殖生态学、发育生物学、形态学、行为学、疾病感染与人类健康等领域, 如行为、体型、生活史特征、生长、繁殖、入侵机制、感染率、存活、食物、报警反应、生物多样性、防治、气候变化等方面, 研究由宏观向微观方向发展. 从 2012 年开始, 中文发文

在基因和蛋白质水平上的研究增多,例如序列分析、转录组、基因预测、渐渗杂交、分子鉴定、基因集和克隆表达. 从 2011 年开始,国际研究重点偏向于分子和细胞水平的研究,如 DNA 序列表达分析、细胞凋亡、蛋白质(如卵红蛋白、类胡萝卜素蛋白、卵周液蛋白)结构与功能探究,随后与分子技术相结合的个体识别与鉴定、系统发育分析方面成为热点内容.



图 8 关键词时区图谱
Fig. 8 Keywords time zone map

2.2.4 关键词突现图谱

为进一步呈现骤然出现的热点关键词,对关键词进行突发性检验,可借此明晰 2009—2021 年中、英文文献福寿螺领域研究热点的迭代情况,以此来探测近年来该领域的新兴趋势^[3]. 应用 CiteSpace 提取突发关键词并按年份进行排列(见图 9),图中红色线段表示该关键词活跃年份. 突现结果显示:防治、四聚乙醛、普洱流域、生物入侵、序列分析和广西为近五年来中文发文突现的热点内容,其中 2018 年突现的热点关键词生物入侵爆发强度(Strength 值)最高(3.44),2016 年突现的热点关键词四聚乙醛活跃持续时间最长(2016—2021 年);identification(个体身份识别与鉴定)、digestive gland(消化腺)、evolution(进化)、phylogeny(系统发育)、Gastropoda Ampullariidae(腹足动物科)、pomacea maculata(斑点福寿螺)为近三年来英文发文的热点内容,其中 2019 年突现的关键词 evolution(爆发强度)Strength 值最高(4.87).

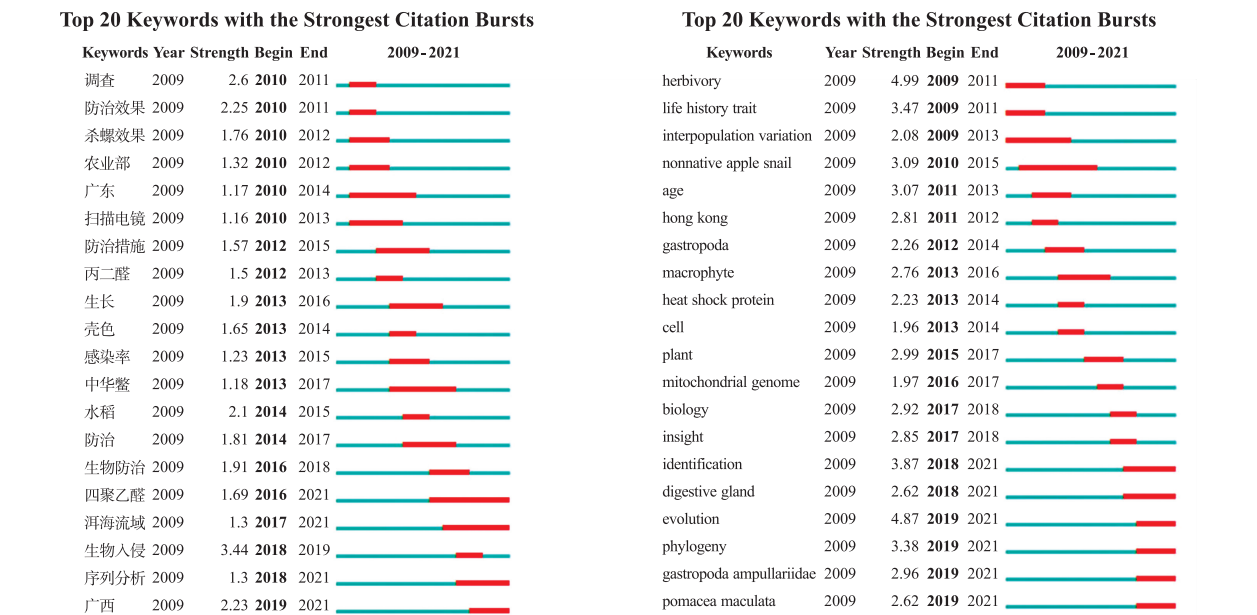


图 9 关键词突现图谱
Fig. 9 Keywords burst map

2.3 文献分析

2.3.1 文献共被引共现分析

当两篇(或多篇)文章同时被一篇或多篇论文所引证时,则这两篇文章构成共被引关系,被同一篇文章引用的文献称为共被引文献^[40]. 被引次数是衡量一篇学术论文质量与关注度的直接指标^[41-42],也是衡量学术影响的重要指标之一^[43],高被引文献通常在其领域内具有开创性意义和重要影响力. 应用

CiteSpace 绘制福寿螺领域国际英文发文文献共被引网络(见图 10)。节点代表文献,节点大小表示文献被引次数的多少。每个节点包裹类似树木年轮的外环即共被引年轮外环,年轮颜色代表被引的相应时间,年轮厚度和与相应年份被引频次成正比^[17]。不同节点的连线指被同一篇文章引用,具有紫色(中介中心度高)或红色(突现性强)外环和高被引频次的文章均为该领域内的重要文献^[40]。

据英文文献的共被引分析、知网 CNKI 的被引频次统计分析结果,对被引频次前三的文献进行分析,中、英文文献被引频次前十文献见表 4。

表4 被引频次排名前十的文献

Table 4 Articles in the Top 10 Cited Frequencies

序号	被引频次	被引文献 (WOS)	被引频次	被引文献 (CNKI)
1	82	Hayes KA,2015,MALACOLOGIA,58,245	90	中国福寿螺的入侵现状 & 防治方法研究进展 (2009)
2	79	Hayes KA,2012,ZOOL J LINN SOC-LOND,166,723	89	福寿螺在中国入侵历史、扩散规律和危害的调查分析 (2010)
3	74	Hayes KA,2008,DIVERS DISTRIB,14,701	66	应用多个生态位模型预测福寿螺在中国的潜在适生区 (2016)
4	55	Horgan FG,2014,ACTA OECOL,54,90	51	我国广州管圆线虫自然疫源地分布首次调查 (2009)
5	53	Rawlings TA,2007,BMC EVOL BIOL,7,0	47	福寿螺综合防治研究进展 (2009)
6	34	Morrison WE,2011,BIOL INVASIONS,13,945	44	福寿螺在湖南的分布现状、危害与扩散风险预警 (2011)
7	31	Joshi R C,2006,GLOBAL ADV ECOLOGY M,0,0	43	福寿螺入侵机制的研究进展 (2014)
8	28	Fang L,2010,FRESHWATER BIOL,55,1191	37	自然条件下福寿螺繁殖特性 (2012)
9	28	Carlsson NOL,2004,ECOLOGY,85,1575	33	夹竹桃不同溶剂提取物对福寿螺的毒杀作用评价 (2009)
10	27	Matsukura K,2013,BIOL INVASIONS,15,2039	31	稻田养鸭防控福寿螺的效果及对水稻产量的影响 (2011)

中文文献被引频次(90次)最高为李小慧等人于2009年《中国农学通报》上的一篇名为中国福寿螺的入侵现状及防治方法研究进展的综述,该系统描述了福寿螺在中国的入侵现状和目前所采取的防治方法,并提出了建立综合防控技术体系的观点^[44];被引频次排第二(89次)为杨叶欣等人于2010年同样发表在《中国农学通报》的文章:福寿螺在中国的入侵历史、扩散规律和危害的调查分析.该文采用文献调研方式,对中国福寿螺引种和扩散的历史过程、入侵危害区域和防治现状等内容进行了调查及系统阐述^[45].被引频次排名第三(66次)为张海涛等人在2016年发表在《应用生态学报》的文章:应用多个生态位模型预测福寿螺在中国的潜在适生区.该文采用Max Ent、GARP、BIOCLIM和DOMAIN四种生态位模型及结合福寿螺在我国分布记录和生物气候变量数据,对福寿螺在我国的潜在适生区进行了模拟预测^[46].

英文文献被引频次(82次)最高为 Hayes K A 等人于 2015 年发表在《Malacologia》上的一篇文章: Insights from an Integrated View of the Biology of Apple Snails(Caenogastropoda: Ampullariidae), 该篇综述从生态学、生物发育学、行为学、生殖生态学、系统发育学、生物地理学及环境健康和人类疾病等应用领域进行系统阐述^[47], 总结苹果蜗牛(Ampullariidae)生物学领域的综合观点. 被引频次排第二(79次)为 Hayes K A 等人于 2012 年发表在《Zoological Journal of the Linnean Society》的文章: Comparing apples with apples: clarifying the identities of two highly invasive Neotropical Ampullariidae(Caenogastropoda). 该文系统描述了两 种易混淆福寿螺 *Pomacea maculata*(Perry, 1810) 和 *Pomacea canaliculata*(Lamarek, 1822) 的形态和遗传独特性, 并重新评估了它们的生物地理范围^[9]. 被引频次排第三为(74次)Hayes K A 等人在 2008 年发表在《Diversity and distributions》的文章: Out of South America: multiple origins of non-native apple snails in Asia. 该文通过使用系统发育和系谱学方法, 对四种福寿螺 *P. canaliculata*、*P. insularum*、*P. scalaris* 和 *P. diffusa* 的个体身份和地理起源进行识别和鉴定, 澄清了四种福寿螺的引进方式和地理起源地, 并提出了在亚洲分布最广泛的 *P. canaliculata* 和 *P. insularum* 的非本地范围是多次引进的结果^[5].

中文发文的高被引文献研究内容主要体现在福寿螺的入侵现状、危害和防治及分布等方面,被引频次

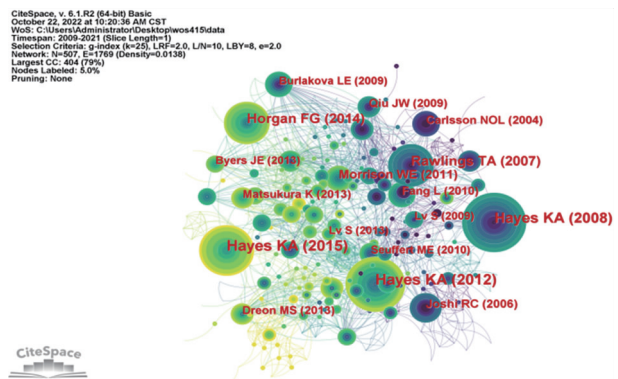


图 10 英文发文的文献共被引网络图谱(知识基础)

Fig. 10 Diagram of English literature co-citation network(knowledge basis)

前五的文章中有四篇发表在 2009—2010 年、一篇发表在 2016 年,这可能与 2011 年的最多发文相关. 英文发文的研究内容则体现在生物学领域、个体鉴定与识别、物种地理起源、进化方面. 被引频次前四的文章有 3 篇发表在 2012—2015 年,可能与 2015 年后发文量激增有关.

2.3.2 文献共被引聚类分析

被引文献(图 10)为研究领域的知识基础,知识基础聚类为施引文献(研究前沿),见图 11. 聚类 Q 值 = 0.749 6 > 0.3, 平均 S 值 = 0.913 8 > 0.5, 说明此聚类结果高度可信. 结果分为 12 个聚类: #0 invasive freshwater snail *pomacea canaliculata* 入侵性淡水福寿螺、#1 *pomacea canaliculata* ampullar proteome 瓶螺科福寿螺蛋白质组、#2 native snail 本地蜗牛、#3 apple snail egg 苹果螺卵、#4 different origin 不同起源、#5 apple snail *pomacea canaliculata* 福寿螺、#6 water availability 水资源可利用性、#7 apple snail damage 苹果螺危害、#8 introgressive hybridization 渐渗杂交、#9 herbivorous snail 植食性螺类、#10 using golden apple snail 金苹果蜗牛资源利用化、#12 prey size 猎物大小.

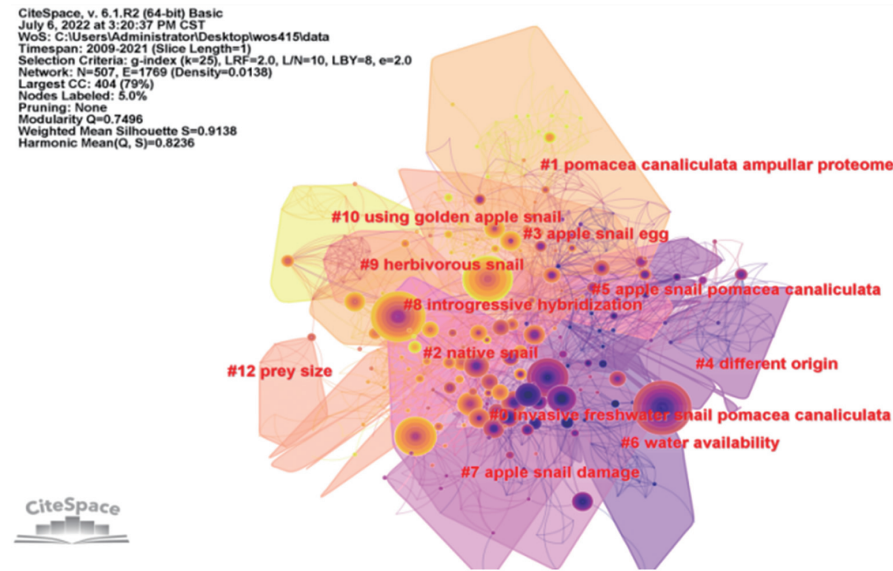


图 11 英文发文的文献共被引聚类网络图谱(研究前沿)

Fig. 11 Diagram of English literature co-citation clustering network(research frontier)

2.3.3 文献共被引时线图

共被引聚类转化为时线图(图 12),可清晰显示按时间排序的聚类主题. 图中节点越大则被引数量越多,两节点的连线代表被同一篇文献引用. 时线图显示,各聚类持续时间不同,#0 invasive freshwater snail *pomacea canaliculata* 入侵性淡水福寿螺聚类持续活跃状态时间最长(2009—2020 年);近年来维持活跃状态

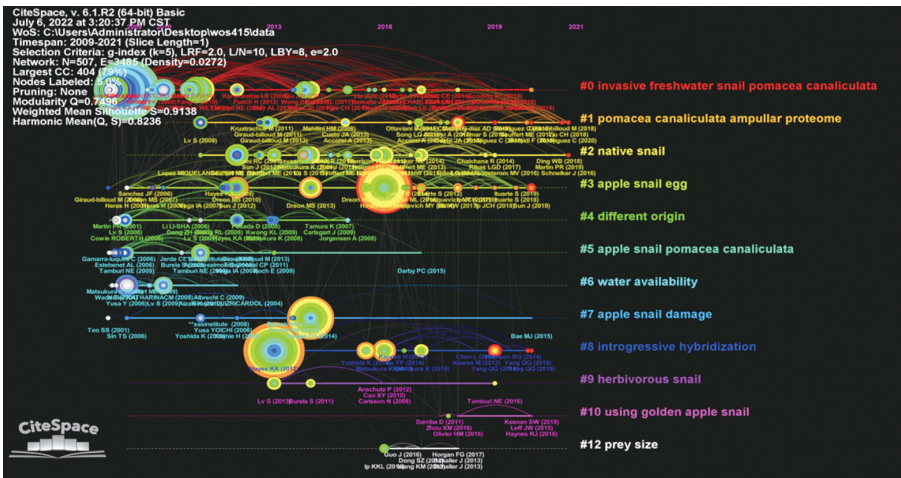


图 12 英文发文的文献共被引时间线图

Fig. 12 Co-cited time line graph of English literature

的聚类有#0 invasive freshwater snail *pomacea canaliculata* 入侵性淡水小管福寿螺、#1 *pomacea canaliculata* ampullar proteome 瓶螺科福寿螺蛋白质组、#2 native snail 本地蜗牛、#3 apple snail egg 苹果螺卵、#7 apple snail damage 苹果螺危害、#8 introgressive hybridization 渐渗杂交、#10 using golden apple snail 金苹果蜗牛资源利用化。由图分析可得目前关注较多的研究前沿有#1 *pomacea canaliculata* ampullar proteome 瓶螺科福寿螺蛋白质组、#3 apple snail egg 苹果螺卵、#7 apple snail damage 苹果螺危害、#8 introgressive hybridization 渐渗杂交、#10 using golden apple snail 金苹果蜗牛资源利用化。

3 结论

本文借助可视化软件对 2009—2021 年知网(CNKI)和 Web of Science 核心集™的科学引文索引扩展版 SCI-E 数据库中入侵能力最强、入侵范围最广的两种福寿螺的 813 篇(中文 398 篇和英文 415 篇)文献进行知识图谱分析,从发文趋势、主要研究力量、关键词共现、突现和聚类分析、文献共被引分析,以及主题演化和发展趋势分析,得出以下结论:

3.1 福寿螺相关领域研究的国内外时空分布

发文量变化能反映一个研究领域的发展状况及未来的研究趋势^[26]。在年度发文趋势方面,2009—2021 年该领域中文发文呈波浪下降趋势,英文发文呈波浪式增长。近些年,该领域在国内的研究热度减缓、发文量减少,但在国际热度增加、学术影响力不断增强。

在研究力量方面,据综合指数法计算结果,中文发文以章家恩为首团队为第一大研究队伍。该团队在发文数量和文献质量上贡献最大,与牟希东、胡隐昌为主的研究团队、严太明等人的研究团队组成中文发文的主要力量。国际发文中,来自阿根廷的 PABLO R MARTIN 为首要核心作者,其发文量和被引量的综合影响力最高。在论文“质”与“量”综合影响靠前的七位核心作者 PABLO R MARTIN、JIANWEN QIU、HORACIO HERAS、ISRAEL A VEGA、YOICHI YUSA、LV SHAN 和 MARIA E SEUFFERT 中,我国占据了两位,阿根廷占据了四位,说明我国和阿根廷在该领域有比较好的建树。中国疾病预防控制中心国家寄生虫研究所、香港浸会大学是我国在该领域主要的研究机构,与阿根廷国家科学与技术研究委员会、库约门多萨国立大学、奈良女子大学构成该领域主要机构力量。国家间合作密切,合作网络覆盖亚洲、南美、北美、西欧和澳大利亚各大区域。我国十分关注福寿螺领域的研究,发文量最多,与其他国家合作最为密切。我国与阿根廷、美国构成该领域研究三大核心国家。福寿螺领域国内外研究热度高,这与福寿螺在我国和世界其他地方的大量入侵和造成的严重危害相关。

3.2 福寿螺领域研究的国内外热点、前沿分析

在代表性研究方面,据关键词共现、聚类、时区图谱分析,国内外研究内容涵盖福寿螺生殖生态学、行为学、系统发育学、生物地理学、环境健康和人类疾病等多个应用领域,福寿螺防治的主题贯穿其中,且中文文献的防治主题更加明显。2009—2012 年间,国内外在该领域的研究内容呈现多元化,内容关注福寿螺形态、行为、生物多样性、生活史特征、发育、抗逆性、生长与存活、食物、喂养和消化、细胞核学、掠食者和捕食者、共生协作、免疫防御、防控、蛋白质、气候变化、环境健康与污染、毒性机制、感染率、人类健康问题以及福寿螺危害与影响等内容。2012 年开始,国内研究重视基因和蛋白质水平上的内容,例如序列分析、基因克隆、转录组、基因预测、渐渗杂交、分子鉴定、基因集和克隆表达;近些年我国较为关注四聚乙醛、序列分析、抗逆性方面的内容。2011 年以来,国际研究则关注分子和细胞水平的研究,如 DNA 序列表达分析、细胞凋亡、蛋白质(如卵红蛋白、类胡萝卜素蛋白、卵周液蛋白)结构与功能,2018 年起与分子技术相结合的个体鉴定与识别、消化腺、进化、系统发育分析、物种地理起源方面的研究也突然增多。

在研究趋势方面,据关键词突现、聚类和文献分析,中文文献目前和未来的研究热点和研究趋势是广州管圆线虫病、福寿螺的抗逆性、危害和防治,英文发文则是关注个体识别与鉴定、系统发育分析、物种地理起源、进化方面;苹果螺卵、渐渗杂交是目前国际关注较多的研究前沿。李小慧等人(中国农学通报,2009)、杨叶欣等人(中国农学通报,2010)和张海涛等人(应用生态学报,2016)是中文被引量排名前三的文章,Hayes KA et al. (MALACOLOGIA, 2015)、(ZOOLOGICAL J LINN SOC-LOND, 2012)和(DIVERS DISTRIB, 2008)是国际英文发文被引量前三的文章,这些文章对该领域的发展起到十分重要的促进作用。

2009 年起福寿螺领域的研究在国内外已较为成熟,研究内容呈现多样化,福寿螺防治的主题贯穿始

终.领域内容关注度高、研究热度持续.但从发文趋势看,中文发文总体呈下降趋势而英文发文趋势总体上升,说明国内福寿螺领域研究热度有所减缓.国内外的研究内容均从宏观向微观方向发展,早期阶段关注福寿螺宏观内容,中后期则重视微观领域,即细胞、蛋白质和DNA分子水平的研究,研究层次由浅入深.此外,该领域在国内外近些年的研究热点有所不同,广州管圆线虫病、福寿螺的抗逆性和生态防控是我国近些年甚至未来很长一段时间研究关注的重点,研究重点尤其体现在福寿螺防治方面,这与我国福寿螺严峻的入侵形势有关.在世界范围内,个体识别与鉴定、系统发育分析、物种地理起源和进化是近些年来的研究热点和发展趋势.这可为后续在该领域的研究方向和研究重点提供一定科学参考.

[参考文献]

- [1] 李淑贤,林英,祁雯,等. 斑点福寿螺肠道菌群结构及功能研究[J]. 南京师大学报(自然科学版),2022,45(1):64-73.
- [2] 刘义满,戢小梅,李长林,等. 福寿螺[*Pomacea canaliculata*(Lamarck, 1819)]的世界分布[J]. 湖北农业科学,2019,58(6):70-72,77.
- [3] HORGAN F G, STUART A M, KUDAVIDANAGE E P. Impact of invasive apple snails on the functioning and services of natural and managed wetlands[J]. Acta oecologica, 2014, 54: 90-100.
- [4] 杨倩倩,李迦南,赵星星,等. 温度对福寿螺生物学特性的影响及高低温适应机制研究进展[J]. 水生生物学报,2022,46(11):1754-1760.
- [5] HAYES K A, JOSHI R C, THIENGO S C, et al. Out of South America: multiple origins of non-native apple snails in Asia[J]. Diversity and distributions, 2008, 14(4): 701-712.
- [6] YANG Q Q, YU X P. A new species of apple snail in the genus *Pomacea* (Gastropoda: Caenogastropoda: Ampullariidae) [J]. Zoological studies, 2019, 58: e13.
- [7] LUQUE G M, BELLARD C, BERTELSMEIER C, et al. The 100th of the world's worst invasive alien species[J]. Biological invasions, 2014, 16(5): 981-985.
- [8] 叶苗,樊天骐,陈炼,等. 两种福寿螺与中国圆田螺齿舌的形态学特征比较[J]. 动物学杂志,2017,52(1):97-107.
- [9] HAYES K A, COWIE R H, THIENGO S C, et al. Comparing apples with apples: clarifying the identities of two highly invasive Neotropical Ampullariidae (Caenogastropoda) [J]. Zoological journal of the linnean society, 2012, 166(4): 723-753.
- [10] MARTIN P R, BURELA S, SEUFFERT M E, et al. Invasive *Pomacea* snails: actual and potential environmental impacts and their underlying mechanisms[J]. CAB reviews, 2019, 14: 1749-8848.
- [11] DU L N, JONATHAN D, CHEN X Y, et al. A record of the invasive golden apple snail *Pomacea canaliculata* (Lamarck 1819) at Black Dragon Spring, Dianchi Basin[J]. Zoological research, 2007, 28(3): 325-328.
- [12] NAYLOR R. Invasions in agriculture: assessing the cost of the golden apple snail in Asia[J]. Ambio, 1996: 443-448.
- [13] 赵兰,骆世明,黎华寿,等. 不同浓度下四种除草剂对福寿螺和坑螺的生态毒理效应[J]. 生态学报,2011,31(19): 5720-5727.
- [14] 梁冬霞,李银诗,李烁宇,等. 氧化沉降条件影响下草甘膦对福寿螺的急性毒性效应[J]. 华南农业大学学报,2022,43(4): 67-76.
- [15] 梁碧霞,陈欣宇,武正军,等. 广西夏季不同生境福寿螺繁殖力研究[J]. 湖北农业科学,2020,59(8): 83-88.
- [16] 梁碧霞,黄锦龙,韩丽霞,等. 桂林地区福寿螺冬季繁殖力研究[J]. 广西师范大学学报(自然科学版),2019,37(3): 166-173.
- [17] BERNATIS J L, MCGAW I J, CROSS C L. Abiotic tolerances in different life stages of apple snails *Pomacea canaliculata* and *Pomacea maculata* and the implications for distribution[J]. Journal of shellfish research, 2016, 35(4): 1013-1025.
- [18] LIU C H, ZHANG Y, REN Y W, et al. The genome of the golden apple snail *Pomacea canaliculata* provides insight into stress tolerance and invasive adaptation[J]. Gigascience, 2018, 7(9): giy101.
- [19] JOSHI R C. Problems with the management of the golden apple snail *Pomacea canaliculata*: an important exotic pest of rice in Asia[M]//VREYSEN M J B, ROBINSON A S, HENDRICH S J (Ed.). Area-wide control of insect pests. Dordrecht, the Netherlands: Springer, 2007.
- [20] HALWART M. The golden apple snail *Pomacea canaliculata* in Asian rice farming systems: present impact and future threat[J]. International journal of pest management, 1994, 40(2): 199-206.
- [21] DE BRITO F C, JOSHI R C. The golden apple snail *Pomacea canaliculata*: a review on invasion, dispersion and control[J].

- Outlooks on pest management,2016,27(4):157-163.
- [22] XU Y G,LI A J,LI K B,et al. Effects of glyphosate-based herbicides on survival,development and growth of invasive snail (*Pomacea canaliculata*) [J]. Aquatic toxicology,2017,193:136-143.
- [23] 陈映憧,范凯青,郭靖. 基于 CNKI 的中国福寿螺研究趋势文献计量学分析[J]. 湖北农业科学,2021,60(S1):1-6+14.
- [24] 邓智心,罗明珠,章家恩. 1981—2011 年有关福寿螺研究的中文文献计量学分析[J]. 生物安全学报,2012,21(4):300-307.
- [25] PAN X L,YAN E J,CUI M,et al. Examining the usage, citation, and diffusion patterns of bibliometric mapping software: a comparative study of three tools[J]. Journal of informetrics,2018,12(2):481-493.
- [26] 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.
- [27] 阳晶晶,邓奕辉,蔡昱哲,等. 基于 VOSviewer 和 CiteSpace 知识图谱对中医药调节坏死性凋亡的可视化分析[J]. 中国中药杂志,2022,47(14):3933-3942.
- [28] 李杰. CiteSpace 中文版指南[EB/OL]. (2018-09-010)[2022-6-20] <https://blog.sciencenet.cn/blog-554179-1297273.html>.
- [29] VAN ECK N,WALTMAN L. Software survey:VOSviewer,a computer program for bibliometric mapping[J]. Scientometrics,2010,84(2):523-538.
- [30] 张玉,徐明怡,冷海楠,等. 基于 VOSviewer 和 CiteSpace 的生态基因组学研究进展[J]. 国土与自然资源研究,2021(6):77-81.
- [31] CHEN C M,SONG M. Visualizing a field of research:a methodology of systematic scientometric reviews[J]. PLoS ONE,2019,14(10):e223994.
- [32] 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.
- [33] 陈莹,常静玲,李新龙,等. 基于 CiteSpace 的近 20 年蚓激酶相关研究的文献计量学分析[J]. 世界科学技术-中医药现代化,2022,24(1):388-397.
- [34] 张鑫,王吉,胡静荣,等. 基于 CiteSpace 和文献计量分析平台的鱼糜研究可视化分析[J/OL]. 食品科学:1-15[2022-06-29]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220425.1532.028.html>.
- [35] 但文超,何庆勇,张辉,等. 基于科技文本挖掘的中医药治疗心悸可视化分析[J]. 世界科学技术-中医药现代化,2021,23(2):571-581.
- [36] 张海涛,罗渡,牟希东,等. 应用多个生态位模型预测福寿螺在中国的潜在适生区[J]. 应用生态学报,2016,27(4):1277-1284.
- [37] 张仪,吕山,杨坤,等. 我国广州管圆线虫自然疫源地分布首次调查[J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志,2009,27(6):508-512.
- [38] 王志高,谭济才,刘军,等. 福寿螺综合防治研究进展[J]. 中国农学通报,2009,25(12):201-205.
- [39] 陈莹,黄春娟. 国外知识可视化研究的现状与启示——基于 CiteSpace 和 VOSviewer 的知识图谱分析[J]. 大学图书馆学报,2015,33(4):93-99.
- [40] 吴雨凌,马雨辰,邓胡雪,等. 基于 CiteSpace 的食品和肠道微生物研究的计量分析[J]. 食品工业科技,2022,43(23):1-10.
- [41] FLORES G E,CAPORASO J G,HENLEY J B,et al. Temporal variability is a personalized feature of the human microbiome[J]. Genome biology,2014,15(12):1-13.
- [42] 苏福,柯平. 国际图书情报学热点与前沿动态研究(2014—2015 年)——27 种 SSCI 核心期刊的全样本分析[J]. 大学图书馆学报,2017,35(1):11-19,45.
- [43] 杨阳,李海亮,马凯丽,等. 放线菌及其代谢产物研究进展—基于 CiteSpace 可视化分析[J]. 微生物学报,2022,62(10):3825-3843.
- [44] 李小慧,胡隐昌,宋红梅,等. 中国福寿螺的入侵现状及防治方法研究进展[J]. 中国农学通报,2009,25(14):229-232.
- [45] 杨叶欣,胡隐昌,李小慧,等. 福寿螺在中国的入侵历史、扩散规律和危害的调查分析[J]. 中国农学通报,2010,26(5):245-250.
- [46] 张海涛,罗渡,牟希东,等. 应用多个生态位模型预测福寿螺在中国的潜在适生区[J]. 应用生态学报,2016,27(4):1277-1284.
- [47] HAYES K A,BURKS R L,CASTRO-VAZQUEZ A,et al. Insights from an integrated view of the biology of apple snails (*Caenogastropoda*: Ampullariidae) [J]. Malacologia,2015,58(1-2):245-302.

[责任编辑:黄 敏]