

潘科,章玉苹,刘炼. 基于文献计量的草地贪夜蛾研究热点与前沿分析[J]. 江苏农业科学,2023,51(14):22-31.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.14.003

基于文献计量的草地贪夜蛾研究热点与前沿分析

潘科¹,章玉苹²,刘炼¹

(1. 华南农业大学,广东广州 510642; 2. 广东省农业科学院植物保护研究所,广东广州 510640)

摘要:为了解全球草地贪夜蛾的研究趋势,以 Web of Science 核心合集 SCIE 数据库收录的 2002—2021 年全球草地贪夜蛾研究的相关文献作为数据样本,基于文献计量学方法利用 CiteSpace 工具对草地贪夜蛾研究文献进行可视化分析与研究。主要从时空角度对草地贪夜蛾研究的发文时间及数量、发文学科、研究机构及学者团队等进行分析;从主题词角度对草地贪夜蛾的研究热点进行分析;从突变词角度对草地贪夜蛾研究前沿进行分析;并通过关键词时间线图谱梳理出近 20 年全球草地贪夜蛾研究的演进脉络。研究结果显示,从全球范围来看,近 20 年以来,全球关于草地贪夜蛾的研究论文共计 3 360 篇,发文数量整体呈逐年增长趋势;草地贪夜蛾受到多学科的广泛关注;研究机构以美国农业部农业研究组织发文量最多,国际合作程度最高;全球已形成以 Meagher R 等学者为核心的合作较多、联系紧密的学术团队群;苏云金芽孢杆菌、杆状病毒等生物防治是草地贪夜蛾的研究热点;迁移规律及入侵影响、抗性基因筛选、苏云金芽孢杆菌等是近年草地贪夜蛾的前沿研究方向。

关键词:草地贪夜蛾;研究热点;研究前沿;CiteSpace;可视化

中图分类号:S433.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)14-0022-10

草地贪夜蛾(*Spodoptera frugiperda*),别称秋黏虫,属鳞翅目夜蛾科,原生于美洲热带和亚热带地区,可危害玉米、水稻、小麦等 76 科 353 种植物^[1-3],是联合国粮农组织全球预警的迁飞性农业重大害虫。2016 年首次入侵非洲的尼日利亚和加纳,在此后的 2 年时间内,席卷了撒哈拉以南地区 44 个国家^[4-5]。2018 年 5 月,入侵印度后迅速扩散至缅甸、泰国、也门、斯里兰卡、老挝、越南等亚洲国家^[6-7]。2018 年 12 月从缅甸传入我国,目前已扩散至我国大部份省区^[8-9]。当前,我国草地贪夜蛾防治形势十分严峻,了解并掌握全球草地贪夜蛾研究的发展趋势、分析研究热点与前沿对我国草地贪夜蛾的防控具有重要意义。

本研究以 Web of Science 核心合集 SCIE 数据库为数据源,基于文献计量学的方法,对 Web of Science 数据库中 2002—2021 年全球有关草地贪夜

蛾的文献进行数据挖掘与计量分析,借助 CiteSpace 信息可视化技术,直观清晰地展示草地贪夜蛾的研究热点与前沿,以期为我国科学开展防控提供借鉴和启示。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

数据来源于科睿唯安公司(Clarivate Analytics) Web of Science 产品中的 Web of Science 核心合集 SCIE 数据库,数据检索时间为 2022 年 1 月 11 日。检索式为[(“*Spodoptera frugiperda*”) or (“fall armyworm”) or (“southern grassworm”) or (“*laphygma frugiperda*”) or (“southern armyworm”)],检索途径为主题检索;时间范围为 2002—2021 年;文献类型为论文(Article),对 Web of Science 核心合集 SCIE 数据库进行检索后,共获得 3 360 篇文献。

1.2 研究方法

CiteSpace 是由美国德雷赛乐大学陈超美教授开发的一款用于文献可视化分析的工具^[10],可将一个知识领域的演进历程集中展现在一幅引文网络图谱上^[11],通过 CiteSpace 进行共词分析和文献共被引分析,挖掘出特定领域的知识基础与研究前沿。本文对 Web of Science 核心合集 SCIE 数据库检索到的 3 360 条数据源文献用 CiteSpace 5.8. R3

收稿日期:2022-08-17

基金项目:国家重点研发计划(编号:2019YFD0300104);广东省重点领域研发计划(编号:2020B020224002);广东省现代农业产业技术体系创新团队专题项目(编号:2021KJ113)。

作者简介:潘科(1978—),女,湖南常德人,硕士,讲师,从事农业情报研究。E-mail:panke@scau.edu.cn。

通信作者:刘炼,硕士,讲师,从事农业情报研究。E-mail:liulian@scau.edu.cn。

软件分析,通过参数调整试算,对相关参数进行设定。时间切割长度(Years Per Slice)为 1 年,主题来源选择标题、摘要、作者、关键词,节点类型分别选择作者(Author)、机构(Institution)、主题词(Term),被引文献(Reference),采用寻径网络算法对网络进行修剪,运行后得到相关共现网络图谱,获得近 20 年国内外关于草地贪夜蛾研究的统计数据和共现图谱,从而分析其研究热点以及前沿主题。

2 结果与分析

2.1 发文时间及发文数量分析

通过对 Web of Science 核心合集 SCIE 数据库进行主题词检索,得到 2002—2021 年全球关于草地贪夜蛾的文献共计 3 360 篇,年度文献发表量如图 1

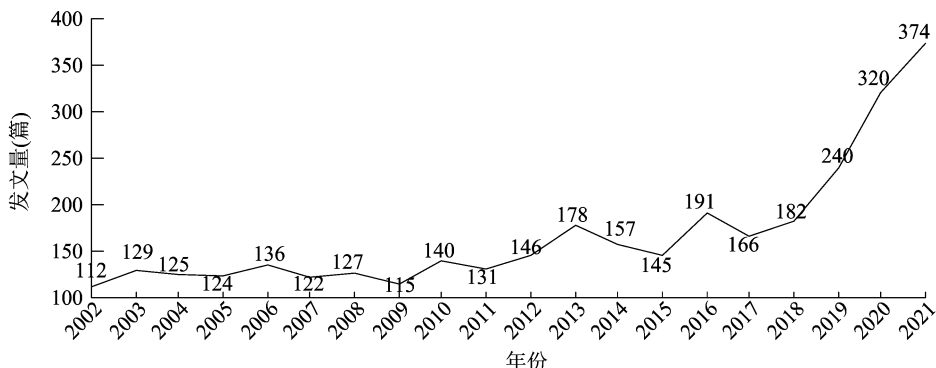


图1 2002—2021 年 Web of Science 核心合集 SCIE 数据库全球关于草地贪夜蛾的发文年度分布

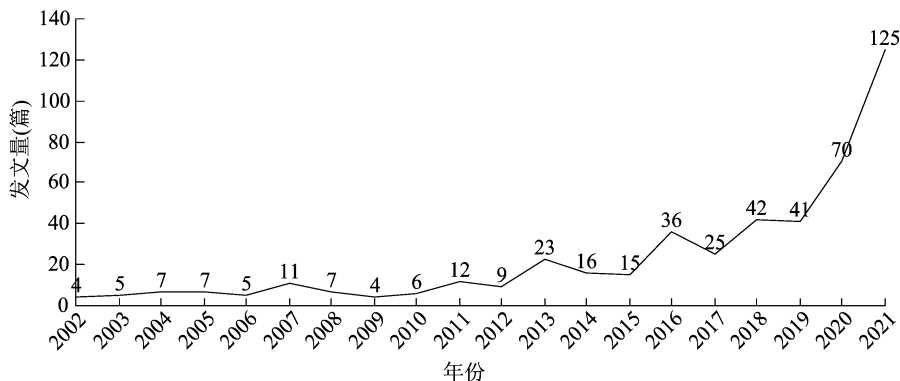


图2 2002—2021 年 Web of Science 核心合集 SCIE 数据库国内关于草地贪夜蛾的发文年度分布

2.2 发文学科类别分析

对 2002—2021 年全球草地贪夜蛾的 3 360 篇研究文献进行学科类别分析,结果(表 1)表明,昆虫学是草地贪夜蛾研究中最大的学科类别,论文数量为 1 381 篇,被引次数为 19 972 次;其次是生物化学和分子生物学,论文数量为 593 篇,被引次数为 13 411 次;此外,还涉及生物技术与应用微生物学、农

所示。可以看出,近 20 年来,全球关于草地贪夜蛾的发文数量总体呈上升态势。2019 年以前全球总体发文较少,每年发文数量均保持在 200 篇以下,自 2019 年以后发文量呈爆发式增长态势,文献量持续快速增长,2021 年达 374 篇。表明近年来随着草地贪夜蛾在全球各地持续扩散,各国学者对草地贪夜蛾的研究热度和关注程度在不断上升。

在 2002—2021 年全球发表的关于草地贪夜蛾的 3 360 篇文献中,国内学者发表文献 470 篇。由图 2 可知,自 2018 年草地贪夜蛾入侵我国开始,我国对此非常重视,积极开展各项调查研究,2018 年后发文数量迅速增长,至 2021 年国内学者年发文数量已上升至 125 篇。

艺学、植物科学、病毒学、生态学、动物学、生理学等。由此可见,草地贪夜蛾的研究受到多学科、多领域的广泛关注。

2.3 研究机构及学者分析

2.3.1 研究机构分析 采用 CiteSpace 对全球草地贪夜蛾主要研究机构及其合作情况进行分析。时间切片为 1,节点类型选择机构(Institution),选择每

表 1 2002—2021 年全球草地贪夜蛾研究文献的主要学科类别

学科类别	发文量 (篇)	总被引次数 (次)
昆虫学(Entomology)	1 381	19 972
生物化学和分子生物学(Biochemistry & Molecular Biology)	593	13 411
生物技术与应用微生物学(Biotechnology & Applied Microbiology)	364	6 290
农艺学(Agronomy)	291	4 332
植物科学(Plant sciences)	179	4 261
病毒学(Virology)	226	3 994
生态学(Ecology)	144	3 166
动物学(Zoology)	155	2 999
生理学(Physiology)	119	2 620
微生物学(Microbiology)	95	1 696

个时间切片发文量排名前 2% 的机构,通过软件计量分析,生成研究机构合作共现图谱(图 3)。运行后生成的共现图谱共有 36 个节点,表明全球开展草地贪夜蛾的研究机构有 1 800 余家,其中,研究实力排名前 2% 的有 36 家。由图 3 可知,全球草地贪夜蛾研究机构实力较强的机构全球分布比较广泛,以高校为主,其次为科研院所。研究力量最强的是美国农业部农业研究组织(USDA ARS),其国际合作程度最高;此外,是圣保罗大学(University of Sao Paulo)和中国农业科学院(Chinese Academy of

Agricultural Sciences)。从合作情况来看,国内机构在国际合作方面相对较少。

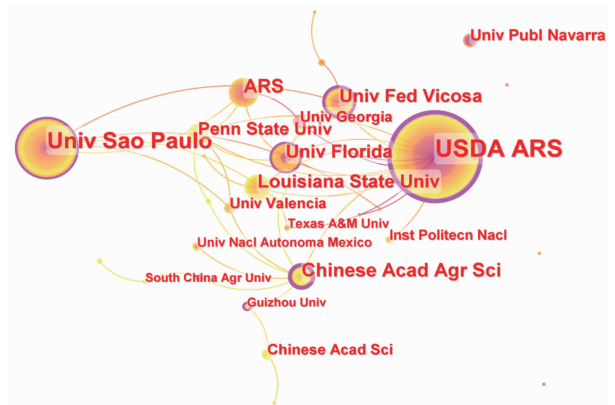


图3 2002—2021 年全球草地贪夜蛾研究机构合作共现图谱

2.3.2 学者分析 学者是某一学科领域研究的直接贡献者,利用 CiteSpace 对全球草地贪夜蛾研究学者及合作情况进行分析,从而挖掘出草地贪夜蛾研究的核心学者及学术团队群。时间切片设置为 2,节点类型选择作者(Author),选择每个时间切片发文量排名前 25 位的作者,运行 CiteSpace 得到草地贪夜蛾研究者合作共现图谱(图 4)。在学者合作网络中,节点大小代表论文产出数量,学者之间的连线表示其合作的强弱程度。结果(表 2)表明,全球草地贪夜蛾研究分别形成了以 Meagher R、Nagoshi R、Omoto C、Williams T 等为核心的学术团队群,且发文作者之间普遍合作较多,联系较为紧密。

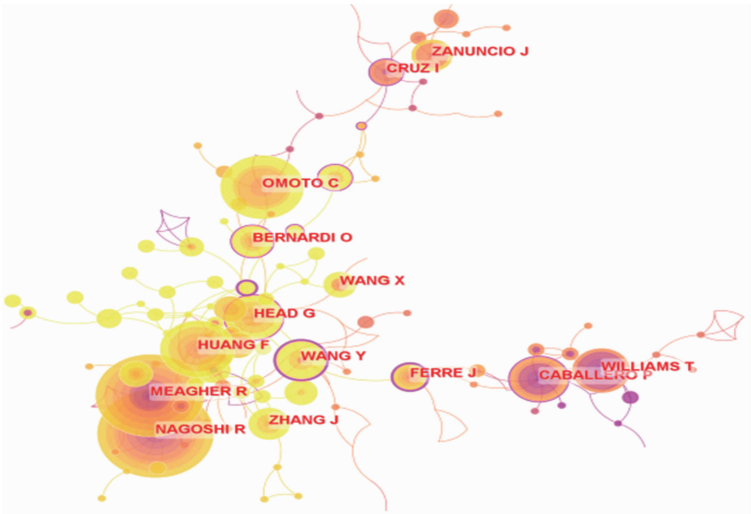


图4 2002—2021年全球草地贪夜蛾研究者合作共现图谱

2.4 草地贪夜蛾研究热点分析

研究热点是学术研究中的重要内容,是学者们就某一学科、某一领域所共同关注的主题。将

2002—2021 年全球关于草地贪夜蛾的 3 360 篇研究文献导入 InCites 分析平台,对其研究主题进行分析。结果表明,2002—2021 年,全球关于草地贪夜

蛾的 3 360 篇论文共涉及 315 个研究主题。其中, 被引次数最多的研究主题为生物防治 (Biological Control), 涉及论文 695 篇, 论文占比 20. 68%, 被引次数为 11 938 次, 此外, 热门的研究主题还包括苏

云金芽孢杆菌 (*Bacillus thuringiensis*)、杆状病毒 (Baculovirus)、柠檬苦素 (Limonoids)、幼年激素 (Juvenile Hormone)、组织蛋白酶 (Cathepsin)、性激素 (Sex Pheromone) 等(表 2)。

表 2 2002—2021 年全球草地贪夜蛾研究文献的研究主题 Top20

研究主题	发文章 (篇)	发文章占比 (%)	总被引次数 (次)
生物防治 (Biological Control)	695	20. 68	11 938
苏云金芽孢杆菌 (<i>Bacillus thuringiensis</i>)	587	17. 47	10 871
杆状病毒 (Baculovirus)	441	13. 13	6 321
柠檬苦素 (Limonoids)	183	5. 45	2 370
幼年激素 (Juvenile Hormone)	76	2. 26	1 502
组织蛋白酶 (Cathepsin)	63	1. 88	1 248
性信息素 (Sex Pheromone)	83	2. 47	1 230
内生真菌 (Endophytic Fungi)	29	0. 86	924
细胞凋亡 (Apoptosis)	33	0. 98	748
对虾白斑症病毒 (WSSV)	48	1. 43	689
意大利蜜蜂 (Apis Mellifera)	12	0. 36	666
白僵菌 (Beauveria Bassiana)	82	2. 44	609
流感 (Influenza)	7	0. 21	587
茉莉酸 (Jasmonic Acid)	19	0. 57	491
神经节苷脂 (Gangliosides)	20	0. 60	476
真菌毒素 (Mycotoxins)	21	0. 63	466
细菌视紫红质 (Bacteriorhodopsin)	18	0. 54	431
微流控 (Microfluidics)	7	0. 21	369
抗菌肽 (Antimicrobial Peptides)	14	0. 42	338
RNAi (RNAi)	19	0. 57	315

研究主题具有较强的时间特征, 利用 CiteSpace 软件根据主题词推测某研究领域的研究热点。时间切片设置为 1, 节点类型选择引文 (Reference), 提取每个时间切片中被引次数前 4% 的引文构建出共被引网络, 运用对数似然率 (LLR) 算法对关键词进行聚类, 得到共被引时间线图谱 (图 5)。本文选取前 13 个聚类分析, 模块值 $Q=0.8959$, 平均轮廓值 $S=0.948$, 表明本研究聚类数据合理性显著, 聚类可信度较高。

2002—2021 年间, 关于草地贪地蛾的研究主要呈现出 13 个聚类, 每个聚类代表了 1 类研究热点。在 13 个聚类标签中, 聚类序号越小表示聚类规模越大。13 个聚类依次是 #0fall armyworm (草地贪夜蛾)、#1host strain (宿主菌株)、#2multiple nucleopolyhedrovirus (多重核多角体病毒)、#3*Bacillus thuringiensis* (苏云金芽孢杆菌)、#4optical brightener (光学增白剂)、#5stress survival (压力生

存)、#6drosophila s2 cell (果蝇 s2 细胞)、#7heat shock protein (热休克蛋白)、#8molecular system (分子系统)、#9jasmonic acid (茉莉酮酸)、#10*Heliothis virescen* (烟芽夜蛾)、#11unrelated polydnairuses (无关多聚 DNA 病毒)、#12baculovirus DNA (杆状病毒 DNA)。从图 5 可以看出, 在草地贪夜蛾的 13 个聚类研究中, #1 宿主菌株 (host strain) 聚类持续时间较长, 当前仍是活跃聚类; #10 烟芽夜蛾 (*Heliothis virescen*) 聚类持续时间则相对较短; #3 苏云金芽孢杆菌 (*Bacillus thuringiensis*) 则是当前最为活跃的大型聚类, 这种聚类往往代表着本领域的前沿研究^[12]。

在草地贪夜蛾的研究中, 文献具有高中介中心性, 表明其作为枢纽连接着草地贪夜蛾的不同研究主题; 而文献被引次数高则表明其在草地贪夜蛾研究演进中具有重要影响。全球草地贪夜蛾研究合成网络中心性大于 0.1 的前 10 篇文献见表 3, 被引

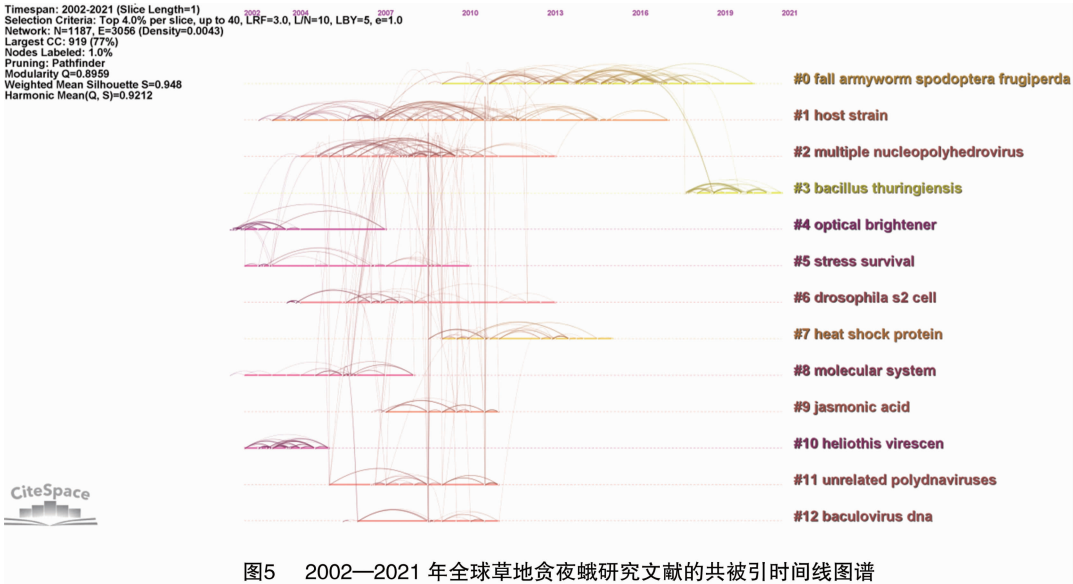


图5 2002—2021 年全球草地贪夜蛾研究文献的共被引时间线图

次数前 10 位的文献见表 4。

由表 3 可知,中心性最高的文章是 Blanco 等于 2010 年发表在《Southwestern Entomologist》的论文“Susceptibility of isofamilies of *Spodoptera frugiperda*

(Lepidoptera Noctuidae) to Cry1Ac and Cry1Fa proteins of *Bacillus thuringiensis*”。该论文中心性为 0.29,主要研究了草地贪夜蛾对 *Bt* 的抗性,并指出草地贪夜蛾对 *Bt* 的抗性为隐性性状^[13]。

表 3 2002—2021 年全球草地贪夜蛾研究中心性 Top10 被引文献

中心性	作者	年份	来源期刊	聚类号
0.29	Blanco	2010	Southwestern Entomologist	#3
0.27	Harrison	2008	Journal of General Virology	#2
0.26	Ahmad	2010	Crop Protection	#0
0.25	Barrera	2011	Biological Control	#2
0.24	Tamura	2007	Molecular Biology and Evolution	#2
0.19	Simon	2004	Applied and Environmental Microbiology	#2
0.18	Martinelli	2007	Bulletin of Entomological Research	#1
0.16	Velez	2013	Bulletin of Entomological Research	#0
0.14	Li	2005	Journal of General Virology	#2
0.14	Clem	2001	Cell Death and Differentiation	#12

表 4 2002—2021 年全球草地贪夜蛾研究被引次数 Top10 的被引文献

被引次数(次)	作者	年份	来源期刊	聚类号
307	Goergen	2016	PLoS One	#0
160	Montezano	2018	African Entomology	#0
111	Farias	2014	Crop Protection	#0, #1
111	Day	2017	Outlooks on Pest Management	#0
101	Omoto	2016	Pest Management Science	#0
83	Sharanabasappa	2018	Pest Management In Horticultural Ecosystems	#3
82	Huang	2014	PLoS One	#0
71	Westbrook	2016	International Journal of Biometeorology	#1
70	Early	2018	Neobiota	#0
69	Cock	2017	Scientific Reports	#1

由表 4 可知,被引次数最高的文章是由 Goergen 等于 2016 年在《PLoS One》发表的论文“First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa”,被引次数为 307 次。论文首次报道了草地贪夜蛾入侵非洲西部和中部,并在该地暴发。该论文第一次报道了草地贪夜蛾有向全球扩散的风险,对推动草地贪夜蛾的

全球防控产生了重大影响^[4]。

按照聚类成员大小对结果进行统计和排序,得到草地贪夜蛾研究共被引文献最主要的 5 个聚类(表 5),平均轮廓值均大于 0.8,表明聚类高度同质。其中,#3 号聚类平均年份为 2018 年,为新兴聚类,其发表的文献数量也较多,说明该聚类为目前全球草地贪夜蛾的研究热点。

表 5 2002—2021 年全球草地贪夜蛾研究共引文献的主要聚类

聚类号	文献量(篇)	平均轮廓值	LLR 对数似然率标签词	平均年份
#0	124	0.960	田间种群(field population) 田间抗性进化(field-evolved resistance)	2012
#1	97	0.884	宿主菌株(host strain) 水稻型(rice strain) 哥伦比亚中部(central colombia)	2007
#2	73	0.878	多重核型多角体病毒(multiple nucleopolyhedrovirus) 基因组序列分析(genomic sequence analysis) Illinois 株系(Illinois strain)	2006
#3	58	0.99	苏云金芽孢杆菌(<i>Bacillus thuringiensis</i>) 入侵害虫草地贪夜蛾(invasive fall armyworm) 田间种群(field population)	2018
#4	52	0.897	光亮剂(optical brightener) 苦楝(<i>Melia azedarach</i>) 烟草天蛾(<i>Manduca sexta</i>)	2003

根据草地贪夜蛾研究中心性和被引次数的研究,本文对草地贪夜蛾的 5 个主要聚类进行分析整理,总结关于草地贪夜蛾的五大研究内容。

#0 聚类平均引用时间为 2012 年。该聚类主要研究草地贪夜蛾的入侵扩散分布、生物学特征、田间种群变化以及抗性等问题。Goergen 等于 2016 年首次报道草地贪夜蛾入侵非洲^[4]。Early 等于 2018 年就全球范围内草地贪夜蛾的入侵程度进行预测^[14]。Montezano 等对草地贪夜蛾的寄主植物进行了研究,发现其寄主植物涉及 76 科,其中最主要的寄主植物分别是禾本科、菊科和豆科^[3]。用转基因作物防治草地贪夜蛾作为一项重要的防治手段已被广泛使用,但随后研究人员发现草地贪夜蛾已对这些转基因作物产生了抗性。Huang 等于 2014 年报道美国东南部地区的草地贪夜蛾已对转 *CryIF* 基因玉米产生田间抗性^[15]。Farias 等研究了巴西草地贪夜蛾对转 *CryIF* 基因玉米的抗性机制^[16]。Omoto 等以 MON 810 玉米为材料评价了巴西玉米抗虫性的防控水平和生活史参数^[17]。

#1 聚类平均引用时间为 2007 年。该聚类主要研究草地贪夜蛾的寄主品系、种群生态学、遗传学

特性以及分子检测方法等。根据对寄主的取食爱好,草地贪夜蛾分成玉米型和水稻型。Machado 等探讨了草地贪夜蛾寄主品系的分子特征,指出玉米型和水稻型草地贪夜蛾在植物宿主的分布上存在差异^[18]。Nagoshi 等提出细胞色素氧化酶 I 基因中新的限制性片段长度多态性有助于草地贪夜蛾种群寄主品系的鉴定^[19]。Ingber 等探讨了草地贪夜蛾宿主菌株对 Cry1BT 的敏感性,比较了水稻型种群与玉米型种群对 *Bt* 毒素的耐受性^[20]。此外,为了解种群生态学特点,Westbrook 等对草地贪夜蛾季节性迁飞进行模拟从而预测种群变化^[21]。Martinelli 等利用扩增片段长度多态性(AFLP)对巴西玉米和棉花等作物上的草地贪夜蛾的遗传相似性和结构进行评价^[22]。Lobo-Hernández 等就草地贪夜蛾在哥伦比亚玉米、水稻和棉田的 AFLP 分子特征及遗传分化进行了研究^[23]。Cock 等则探讨了草地贪夜蛾的分子检测方法^[24]。

#2 聚类平均引用时间为 2006 年。该聚类主要研究草地贪夜蛾的生物防治技术,包括核型多角体病毒、天敌以及信息素等。Simón 等探讨了草地贪夜蛾核型多角体病毒群体的遗传结构与特性^[25]。

Harrison 等对草地贪夜蛾多核多角体病毒 (SfMNPV) 基因组进行序列分析,该病毒对草地贪夜蛾幼虫表现出高效的毒杀作用^[26]。Barrera 等从被感染的草地贪夜蛾幼虫体内分离出核型多角体病毒,并对其进行鉴定^[27]。Rios - Velasco 等则针对寄生蜂对草地贪夜蛾的防控作用展开了研究^[28]。

#3 聚类平均引用时间为 2018 年。该聚类主要研究苏云金芽孢杆菌对草地贪夜蛾的防治作用。Blanco 等就草地贪夜蛾对苏云金芽孢杆菌蛋白的敏感性开展研究^[13,29]。Gómez 等研究了苏云金芽孢杆菌的作用机制^[30-31]。随着草地贪夜蛾对表达苏云金芽孢杆菌的转基因作物表现出抗性,科研人员对苏云金芽孢杆菌的抗性问题的进一步展开研究。Yang 等于 2019 年采用 F₂ 代筛选方法对美国德克萨斯州草地贪夜蛾田间种群进行了苏云金芽孢杆菌抗性等位基因检测^[32]。Portilla 等于 2020 年采用生物测定法研究了苏云金芽孢杆菌蛋白对草地贪夜蛾幼虫发育的影响^[33]。Gómez 等于 2020 年指出苏云金芽孢杆菌突变体对草地贪夜蛾的毒力增强^[34]。Boaventura 等于 2020 年探讨了草地贪夜蛾对 Cry1F 抗性的分子机制^[35]。

#4 聚类平均引用时间为 2003 年。该聚类主要研究植物源农药对草地贪夜蛾的防治作用。Oliveira 等探讨了印楝、苦楝等植物提取物对草地贪夜蛾的防治效果^[36]。Maroneze 等研究了苦楝提取物对草地贪夜蛾的毒杀及生长抑制作用^[37]。Tavares 等研究了菊科植物提取物对草地贪夜蛾幼虫的致死作用^[38]。Scapinello 等研究了苦楝超临界提取物对草地贪夜蛾的杀虫和生长抑制作用^[39]。

2.5 草地贪夜蛾研究前沿分析

突现性较高的主题词是指在某个时期内频次变化率高的词,利用 CiteSpace 软件突变词探测算法,通过对词频的时间分布进行考察,在大量的主题词中探测出频次变化较高的词,从而挖掘得到研究前沿^[40]。运行 CiteSpace 得到 2002—2021 年全球草地贪夜蛾研究的突现主题词(表 6),其中具有突现性的节点用深黑色表示。近 20 年草地贪夜蛾研究领域共出现了 22 个突现词,这些突现词构成了近 20 年草地贪夜蛾的研究前沿。其中,核型多角体病毒(nuclear polyhedrosis virus)、草地贪夜蛾细胞(*Spodoptera frugiperda* cell)、昆虫细胞(insect cell)、序列(sequence)、分子克隆(molecular cloning)等突现主题词表明分子生物学技术已广泛应用于草地

贪夜蛾研究。昆虫抗药性(insect resistance)、BT 玉米(BT maize)、交叉抗性(cross resistance)、田间抗性进化(field evolved resistance)等突现主题词,则表明抗性问题的已成为当前草地贪夜蛾的研究重点。

时间线图谱是基于时间维度展示知识演进的视图,对论文标题、关键词、摘要等中的名词术语进行提取后,根据其首次出现的时间和频次绘制而成,可体现出研究的发展进程。本文利用 CiteSpace 对关键词进行可视化共现分析,节点类型选择关键词(Keyword),每个时间切片选择前 2%,即选择每 2 年中频次出现排名前 2% 的关键词,聚类后生成关键词时间线图谱(图 6),分析得到 2002—2021 年全球草地贪夜蛾研究的演进路径和发展趋势。

根据关键词时间线图谱,将近 20 年全球草地贪夜蛾的研究分为 3 个阶段。

2002—2012 年,草地贪夜蛾研究初步发展阶段。该阶段受相关技术的制约,草地贪夜蛾研究的发展速度较为缓慢,持续时间较长,积累了一定的研究基础。关于草地贪夜蛾的诸多热点主题都在这一个阶段兴起,且较多研究主题相互交织。草地贪夜蛾的生物学特征、危害情况及生物防治、农业防治、化学防治等各种防控方法等成为这一阶段的研究前沿。在这一阶段,全球关于草地贪夜蛾的研究得到了初步发展。

2013—2018 年,草地贪夜蛾研究平稳发展阶段。这一阶段关于草地贪夜蛾的研究文献在数量上呈稳步增长态势,但该阶段出现的新兴主题较少。以抗药性的研究最为突出,Bt 玉米、植物杀虫蛋白以及交叉抗性成为关注度较高的研究前沿。

2019—2021 年,草地贪夜蛾研究蓬勃发展阶段。自从 2018 年草地贪夜蛾扩散至非洲,随后 7 月传入亚洲,12 月入侵我国以来,草地贪夜蛾受到越来越多的学者重视,此阶段全球关于草地贪夜蛾的研究文献呈现爆炸式增长。关于苏云金芽孢杆菌以及抗性进化等方面的研究不断激增,成为当前的研究热点。可以预见,关于草地贪夜蛾迁移规律及入侵影响、抗性基因筛选及转基因作物培育、应用苏云金芽孢杆菌、植物源农药等进行生物防治及建立防控策略等将是未来草地贪夜蛾领域的前沿研究趋势。

3 讨论与结论

草地贪夜蛾作为一种严重威胁农业生产的害

计发生 38.13 hm^2 [44]。

本文基于文献计量学方法,将 Web of Science 核心合集 SCIE 数据库文献作为主要的数据来源,采用 CiteSpace 软件对全球草地贪夜蛾近 20 年来的发展规律与研究状况进行了可视化分析与探究。结果表明,2002—2021 年,全球共发表 3 360 篇关于草地贪夜蛾的研究论文,发文数量整体呈逐年增长趋势,自 2019 年以后,发文量呈爆发式增长,从发文数量的时间分布来看,国内研究的发展趋势与国际基本一致。草地贪夜蛾研究较多集中在昆虫学学科,同时受到生物化学和分子生物学、农艺学等学科广泛关注。研究机构以美国农业部农业研究组织发文量最多,国际合作程度最高。全球已形成了以 Meagher R、Nagoshi R、Omoto C、Williams T 等为核心的学术团队群。

通过 CiteSpace 软件中的词频分析法,对草地贪夜蛾相关文献的关键词进行热点研究。草地贪夜蛾研究共涉及 315 个研究主题,13 个聚类,其中以苏云金芽孢杆菌、杆状病毒等生物防治为热点主题。从草地贪夜蛾研究内容来看,主要集中在多重核型多角体病毒、苏云金芽孢杆菌、抗虫作物及抗性进化等方面。利用 CiteSpace 软件的突变探测技术进行研究前沿分析,近几年草地贪夜蛾的研究前沿主要包括入侵影响和损害、抗性进化、苏云金芽孢杆菌及防控策略建立等方面。

参考文献:

- [1] Sparks A N. A review of the biology of the fall armyworm (Lepidoptera, Noctuidae) [J]. The Florida Entomologist, 1979, 62 (2): 82–87.
- [2] Todd E L, Poole R W. Keys and illustrations for the armyworm moths of the noctuid genus *Spodoptera* Guenée from the western hemisphere [J]. Annals of the Entomological Society of America, 1980, 73 (6): 722–738.
- [3] Montezano D G, Specht A, Sosa – Gomez D R, et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas [J]. African Entomology, 2018, 26 (2): 286–300.
- [4] Goergen G, Lava Kumar P, Sankung S B, et al. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa [J]. PLoS One, 2016, 11 (10): e0165632.
- [5] Day R, Abrahams P, Bateman M, et al. Fall armyworm: impacts and implications for Africa [J]. Outlooks on Pest Management, 2017, 28 (5): 196–201.
- [6] Sisodiya D B, Raghunandan B L, Bhatt N A, et al. The fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae); first report of new invasive pest in maize fields of Gujarat, India [J]. Journal of Entomology and Zoology Studies, 2018, 6 (5): 2089–2091.
- [7] 刘 刚. 全国农技中心通报我国及周边国家草地贪夜蛾发生为害情况 [J]. 农药市场信息, 2019 (9): 59.
- [8] Sun X X, Hu C X, Jia H R, et al. Case study on the first immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* invading into China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20 (3): 664–672.
- [9] 姜玉英, 刘 杰, 谢茂昌, 等. 2019 年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测 [J]. 植物保护, 2019, 45 (6): 10–19.
- [10] 李 杰, 陈超美. CiteSpace: 科技文本挖掘及可视化 [M]. 2 版. 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2017: 138–177.
- [11] 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.
- [12] 曹文杰, 赵瑞莹. 国际农业面源污染研究演进与前沿: 基于 CiteSpace 的量化分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33 (7): 1–9.
- [13] Blanco C A, Portilla M, Jurat – Fuentes J L, et al. Susceptibility of isofamilies of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to CryIAc and CryIFa proteins of *Bacillus thuringiensis* [J]. Southwestern Entomologist, 2010, 35 (3): 409–415.
- [14] Early R, González – Moreno P, Murphy S T, et al. Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm [J]. NeoBiota, 2018, 40: 25–50.
- [15] Huang F N, Qureshi J A, Meagher R L Jr, et al. CryIF resistance in fall armyworm *Spodoptera frugiperda*: single gene versus pyramided Bt maize [J]. PLoS One, 2014, 9 (11): e112958.
- [16] Farias J R, Andow D A, Horikoshi R J, et al. Field – evolved resistance to CryIF maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil [J]. Crop Protection, 2014, 64: 150–158.
- [17] Omoto C, Bernardi O, Salmeron E, et al. Field – evolved resistance to CryIAb maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil [J]. Pest Management Science, 2016, 72 (9): 1727–1736.
- [18] Machado V, Wunder M, Baldissera V D, et al. Molecular characterization of host strains of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in southern Brazil [J]. Annals of The Entomological Society of America, 2008, 101 (3): 619–626.
- [19] Nagoshi R N, Meagher R L, Adamczyk J J, et al. New restriction fragment length polymorphisms in the cytochrome oxidase I gene facilitate host strain identification of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) populations in the southeastern United States [J]. Journal of Economic Entomology, 2006, 99 (3): 671–677.
- [20] Ingber D A, Mason C E, Flexner L, et al. CryI Bt susceptibilities of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) host strains [J]. Journal of Economic Entomology, 2018, 111 (1): 361–368.
- [21] Westbrook J K, Nagoshi R N, Meagher R L, et al. Modeling seasonal migration of fall armyworm moths [J]. International Journal of Biometeorology, 2016, 60 (2): 255–267.
- [22] Martinelli S, Clark P L, Zucchi M I, et al. Genetic structure and molecular variability of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) collected in maize and cotton fields in Brazil [J].

- Bulletin of Entomological Research, 2007, 97(3): 225–231.
- [23] Lobo – Hernández M I, Saldamando – Benjumea C I. Molecular characterization and genetic differentiation of *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in maize, rice, and cotton fields of Colombia with AFLP [J]. Southwestern Entomologist, 2012, 37(2): 193–207.
- [24] Cock M J W, Beshch P K, Buddie A G, et al. Molecular methods to detect *Spodoptera frugiperda* in Ghana, and implications for monitoring the spread of invasive species in developing countries [J]. Scientific Reports, 2017, 7: 4103.
- [25] Simón O, Williams T, López – Ferber M, et al. Genetic structure of a *Spodoptera frugiperda* nucleopolyhedrovirus population: high prevalence of deletion genotypes [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2004, 70(9): 5579–5588.
- [26] Harrison R L, Puttler B, Popham H J R. Genomic sequence analysis of a fast – killing isolate of *Spodoptera frugiperda* multiple nucleopolyhedrovirus [J]. The Journal of General Virology, 2008, 89 (Pt 3): 775–790.
- [27] Barrera G, Simón O, Villamizar L, et al. *Spodoptera frugiperda* multiple nucleopolyhedrovirus as a potential biological insecticide: genetic and phenotypic comparison of field isolates from Colombia [J]. Biological Control, 2011, 58(2): 113–120.
- [28] Rios – Velasco C, Gallegos – Morales G, Cambero – Campos J, et al. Natural enemies of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Coahuila, México [J]. Florida Entomologist, 2011, 94(3): 723–726.
- [29] Gutierrez – Moreno R, Mota – Sanchez D, Blanco C A, et al. Susceptibility of fall armyworms (*Spodoptera frugiperda* J. E.) from Mexico and Puerto Rico to bt proteins [J]. Insects, 2020, 11 (12): 831.
- [30] Gómez I, Rodríguez – Chamorro D E, Flores – Ramírez G, et al. *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) aminopeptidase N1 is a functional receptor of the *Bacillus thuringiensis* Cry1Ca toxin [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2018, 84(17): e01089–18.
- [31] Zhang J F, Jin M H, Yang Y C, et al. The cadherin protein is not involved in susceptibility to *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab or Cry1Fa toxins in *Spodoptera frugiperda* [J]. Toxins, 2020, 12(6): 375.
- [32] Yang F, Williams J, Porter P, et al. F₂ screen for resistance to *Bacillus thuringiensis* Vip3Aa51 protein in field populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) from Texas, USA [J]. Crop Protection, 2019, 126: 104915.
- [33] Portilla M, Blanco C A, Arias R, et al. Effect of two *Bacillus thuringiensis* proteins on development of the fall armyworm after seven – day exposure [J]. Southwestern Entomologist, 2020, 45 (2): 389–403.
- [34] Gómez I, Ocelotl J, Sánchez J, et al. *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab domain III β – 22 mutants with enhanced toxicity to *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2020, 86(22): e01580–20.
- [35] Boaventura D, Ulrich J, Lueke B, et al. Molecular characterization of Cry1F resistance in fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* from Brazil [J]. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 2020, 116: 103280.
- [36] Oliveira M S S, Roel A R, Arruda E J, et al. Eficiência de produtos vegetais no controle da lagarta – do – cartucho – do – milho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Ciência e Agrotecnologia, 2007, 31(2): 326–331.
- [37] Maroneze D M, Gallegos D M N. Efeito de extrato aquoso de *Melia azedarach* no desenvolvimento das fases imatura e reprodutiva de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Semina: Ciências Agrárias, 2009, 30(3): 537.
- [38] Tavares W D S, Cruz I, Petacci F, et al. Potential use of Asteraceae extracts to control *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and selectivity to their parasitoids *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) and *Telenomus remus* (Hymenoptera: Scelionidae) [J]. Industrial Crops and Products, 2009, 30(3): 384–388.
- [39] Scapinello J, de Oliveira J V, Chiaradia L A, et al. Insecticidal and growth inhibiting action of the supercritical extracts of *Melia azedarach* on *Spodoptera frugiperda* [J]. Revista Brasileira De Engenharia Agrícola e Ambiental, 2014, 18(8): 866–872.
- [40] 栾春娟, 侯海燕, 王贤文. 国际科技政策研究热点与前沿的可视化分析 [J]. 科学学研究, 2009, 27(2): 240–243.
- [41] Salvadori J D M, Defferrari M S, Ligabue – Braun R, et al. Characterization of entomopathogenic nematodes and symbiotic bacteria active against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and contribution of bacterial urease to the insecticidal effect [J]. Biological Control, 2012, 63(3): 253–263.
- [42] FAO. Global action for fall armyworm control [EB/OL]. [2022 – 07 – 17]. <http://www.fao.org/fall-armyworm/programme-and-partners/zh/>.
- [43] 中华人民共和国农业农村部. 中华人民共和国农业农村部公告第 333 号 [EB/OL]. (2020 – 09 – 17) [2022 – 07 – 17]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202009/t20200917_6352227.htm.
- [44] 全国农技中心病虫害测报处. 夏季草地贪夜蛾发生趋势预报 [EB/OL]. [2022 – 07 – 17]. <https://www.natesc.org.cn/news>.