基于文献计量学的重大入侵害虫草地贪夜蛾的研究动态分析

李红梅[1,2]， 万 敏[1,2]， 顾 蕊[3]， 刘路路[1,4]，
聂凤英[3]， 王振营[1,5]， 张 峰[1,2*]

（1. 中国农业科学院植物保护研究所，农业农村部-CABI生物安全联合实验室，北京 100193；
2. CABI东亚中心，北京 100081；3. 中国农业科学院农业信息研究所，北京 100081；
4. 北京农学院生物与资源环境学院，北京 102206；
5. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害生物学国家重点实验室，北京 100193）

摘要 为了深入了解草地贪夜蛾在全球范围的研究动态和趋势，本文利用文献计量学方法，以知网、万方、维普、Web of Science和CAB文摘数据库为数据源，对1910—2019年在国内外发表的5 030篇草地贪夜蛾文献进行了统计分析。结果表明：国内外关于草地贪夜蛾的文献数量随着时间的推移呈现整体上升趋势，20世纪90年代以来出现井喷式增长。学术期刊论文占总发文量的89.2%，*Journal of Economic Entomology*和《植物保护》分别是发文量最多的外文和中文期刊。在外文发文量方面，美国、巴西和墨西哥等国家的研究机构和学者名列前茅；在中文发文量方面，中国农业科学院植物保护研究所、全国农业技术推广服务中心和北京农学院位列前三。草地贪夜蛾的研究热点与其可持续防控高度相关，尤其侧重生物防治和IPM方面的研究。

关键词 草地贪夜蛾； 文献计量分析； 发文量； 生物防治； 数据库

中图分类号： S 435.132 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2019305

Bibliometric analysis on research progress of the invasive insect pest fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*

LI Hongmei[1,2]， WAN Min[1,2]， GU Rui[3]， LIU Lulu[1,4]， NIE Fengying[3]， WANG Zhenying[1,5]， ZHANG Feng[1,2]

（1. *MARA-CABI Joint Laboratory for Bio-safety*, *Institute of Plant Protection*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100193, *China*; 2. *CABI East Asia*, *Beijing* 100081, *China*;
3. *Agricultural Information Institute*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100081, *China*;
4. *College of Bioscience and Resource Environment*, *Beijing University of Agriculture*, *Beijing* 102206, *China*;
5. *State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests*, *Institute of Plant Protection*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100193, *China*）

Abstract In order to obtain a deep understanding of global research progress and trend of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, a bibliometric study was conducted by screening and analyzing 5 030 literatures published during 1910—2019 and recorded in the databases such as CNKI, Wanfang, VIP, Web of Science and CAB Abstracts. The results showed that the total number of publications on *S. frugiperda* in every ten years increased continuously from 1910s and significantly more publications occurred since the 1990s. Around 89.2% articles were published in scientific journals, of which *Journal of Economic Entomology* and *Plant Protection* published the largest number of articles in foreign language and in Chinese, respectively. Research institutes and researchers from USA, Brazil and Mexico were ranked highest in the number of publications in foreign languages. Institute of Plant Protection of Chinese Academy of Agricultural Sciences, National Agro-Tech Extension and Service Center and

收稿日期： 2019－06－19 **修订日期：** 2019－06－20
基金项目： 中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ASTIP-2016-AII)
致 谢： 感谢中国农业科学院海外农业研究中心的资助，本论文是中国农业科学院海外农业研究中心与CABI战略合作的成果之一。
* 通信作者 E-mail：f.zhang@cabi.org

Beijing University of Agriculture were ranked top three in the number of Chinese publications. Research hotspots on *S. frugiperda* were closely related to its sustainable prevention and control, particularly including a great number of studies in the field of biological control and IPM.

Key words fall armyworm; bibliometric; number of publications; biological control; database

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith),异名 *Laphygma frugiperda* Smith & Abbot,属鳞翅目,夜蛾科,灰翅夜蛾属,俗称秋黏虫,是一种重要的迁飞性农业害虫[1-3]。草地贪夜蛾寄主范围广泛,已记载 76 科 353 种,主要包括禾本科、菊科和豆科植物[4],尤其对玉米、水稻、高粱、花生、棉花、大豆和甘蔗等作物为害较重[3, 5-8]。草地贪夜蛾幼虫在寄主作物幼苗期、营养生长期、花期和果实生长期皆可通过取食生长点、根基部、叶片、花丝、花蕾或果穗等部位造成危害[3],特别是 6 龄幼虫为害最严重[5]。与玉米生长晚期的虫害相比,玉米生长发育早期的虫害会造成更多的叶片损害和产量损失。尽管部分研究表明草地贪夜蛾造成玉米减产 50%以上,但是多数田间试验结果显示其为害导致玉米减产在 20%以下[9]。

草地贪夜蛾原产于美洲热带和亚热带地区[1],周年发生于南至阿根廷拉潘帕省、北至美国佛罗里达州和德克萨斯州南部之间的广阔区域,并季节性向北迁飞至加拿大魁北克省和安大略省[2,10]。2016 年 1 月,草地贪夜蛾第一次在西非的尼日利亚被发现[11],随后在两年内迅速在非洲大陆扩散传播,现在已经被证实入侵撒哈拉以南的 44 个非洲国家[12]。2018 年 5 月,草地贪夜蛾入侵到亚洲的印度,11 月进入孟加拉和斯里兰卡,12 月入侵缅甸和泰国[13]。2019 年 1 月,我国云南首次发现了草地贪夜蛾[14-15],截至 5 月底,已经入侵到云南、广西、贵州、广东、福建、湖南、海南、浙江、湖北、四川、重庆、河南、安徽、陕西、上海等 15 省(市、自治区)的 380 多个县[16-17],并有继续向北迁飞扩散到北方玉米主产区的可能性,严重威胁我国玉米产业的安全[17]。

文献计量学是基于文献本身信息,采用数学、统计学等计量方法客观地分析研究文献信息的分布、结构、数量关系等,进而探讨科学技术的某些结构、特征和规律的一门学科[18]。基于大数据信息的文献计量分析可以定量评估及预测研究对象的发展方向与趋势,为学科发展提供宏观指导。草地贪夜蛾作为新近入侵我国的重要农业害虫,已对我国的玉米生产构成威胁,我们利用文献计量学这一研究手段,对国内外有关草地贪夜蛾的文献进行了较为全面的分析与汇总;从科研文献产出角度分析了国内外草地贪夜蛾的研究现状、发展动态和趋势,旨在为从事草地贪夜蛾研究、预测和防控的学者与决策者提供数据支持,加强草地贪夜蛾防控阻截工作,更好地为草地贪夜蛾可持续治理提供信息支撑。

1　材料与方法

1.1　数据来源

国际应用生物科学中心(CAB International)拥有现今世界上最权威的农业与生物文摘数据库之一 CAB 文摘数据库。该数据库是农业领域最早最全的数据库,从 1910 年建立到现在已经收集摘录了来源于 130 多个国家出版的 1.4 万余种期刊、图书、专业报告以及会议论文集等。Web of Science 是美国科技信息研究所(ISI-Institute for Scientific Information)基于 WEB 开发的产品,包括三大引文数据库(SCI、SSCI 和 A & HCI)和两个化学数据库(CCR、IC),以 ISI Web of Knowledge 作为检索平台。

1.2　检索方法

采用主题词检索的方法,首先在 CAB 叙词表中搜索 *Spodoptera frugiperda*,获得所有相关的异名和英文名,并对这些名称进行审核,最后确定 SU=“southern grassworm” OR “*Spodoptera frugiperda*” OR “fall armyworm” OR “*Laphygma frugiperda*” 进行检索。

利用 Web of Science™平台,首先通过 CAB 文摘数据库检索国内外草地贪夜蛾的研究进展,检索时段为 1910 年－2019 年;然后利用 Web of Science 的核心合集对 1995 年－2019 年的关键词进行深入挖掘分析。中文文献通过知网、万方、维普等平台检索国内的文献资料,检索式用 SU=“草地贪夜蛾” OR “秋黏虫”,检索时段为 1970 年－2019 年。

1.3　研究动态分析

对获得的所有发表文献,导出到 Endnote 软件(版本 X8)进行去重处理,获取了 5 030 篇有效文献,其中中文文献 79 篇。利用 VOSviewer 软件(版本 1.6.11)对研究机构、研究国家和高频关键词等进行了共现聚类分析。

2 结果与分析

2.1 草地贪夜蛾论文发文量分析

在检索时间段内(1910 年到 2019 年 5 月 27 日),共获得有关草地贪夜蛾的论文 5 030 篇。以 10 年为一个单位进行统计,结果表明,国际上关于草地贪夜蛾的文献数量随着时间的推移呈现整体上升趋势(图 1)。有关草地贪夜蛾的第一篇学术论文于 1912 年发表在 *Journal of Economic Entomology*,是关于草地贪夜蛾天敌甲腹茧蜂 *Chelonus texanus* 生物学特性的研究[19],到现在已经超过了 100 年。前期的论文数量较少,直至 20 世纪 60 年代年均发文量才达到 10 篇以上;到 90 年代,年均发文量达到 100 篇以上。随着草地贪夜蛾分别于 2016 年和 2018 年入侵非洲和亚洲,更多国家的科研和技术研发人员加入到草地贪夜蛾研究中。鉴于本文统计数据截止到 2019 年 5 月,因此,2010 年－2019 年的研究论文发文量预计将超过 1990 年－1999 年的发文量,草地贪夜蛾必将受到更广泛的关注。

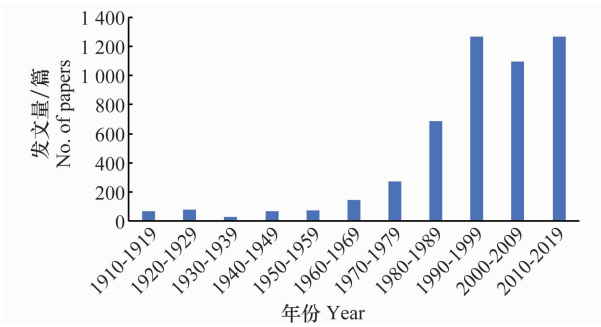


图 1 1910 年－2019 年 CAB 数据库中关于草地贪夜蛾的论文发文量

Fig. 1 The amount of literatures in CAB Abstracts related to *Spodoptera frugiperda* during 1910－2019

2.2 国内外载文期刊分析

对已发表的论文类型进行分析发现,有关草地贪夜蛾的文献发表在不同的媒介上,其中期刊论文占所有文献的 89.2%(图 2);会议论文也是学者们交流的重要途径,占所有文献的 5.8%。对期刊上发表的论文做进一步分析表明:共有 730 多个国际期刊以及 31 个国内期刊发表了有关草地贪夜蛾的论文。中外文期刊中,*Journal of Economic Entomology* 发文量最多,为 397 篇,占总发文量的 8.8%。《植物保护》是中文发文量最多的期刊,为 10 篇,占中文总发文量的 12.7%;其次《昆虫学报》和《中国植保导刊》分别发文 6 篇和 5 篇,各占中文总发文量的 7.6%和 6.3%。外来有害生物入侵我国后,植物保护类的期刊在第一时间关注并发表了有关重大入侵生物预测、监测和防控方面的论文。自 2016 年草地贪夜蛾入侵到非洲后,国内的发文量开始明显增加,2017 年和 2018 年分别为 9 篇和 7 篇,2019 年的数量已超过 20 篇(含网络优先发表论文)。

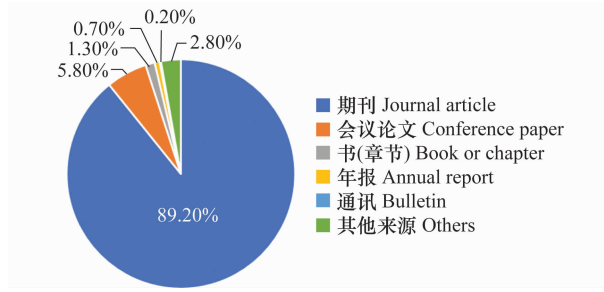


图 2 CAB 数据库中关于草地贪夜蛾发文的媒介类型概况

Fig. 2 Media types publishing papers related to *Spodoptera frugiperda* in CAB Abstracts

对发表在学术期刊上的论文进行统计分析发现(表 1),*Journal of Economic Entomology* 是外文发文量最多的期刊,总被引次数远远超过其他期刊。*h* 指数是一种科研活动的评估方法,数值越大即科研活动影响力越大。对排名前 10 的期刊进行比较发现,*Journal of Virology* 期刊的 *h* 指数最高,这说明病毒领域是草地贪夜蛾研究的一个热点领域,是值得关注的研究方向。1984 年,严家骐研究了草地贪夜蛾多粒包埋核型多角体病毒 DNA 基因组的物理图谱和克隆[20],这是我国学者发表的第一篇有关草地贪夜蛾的中文论文。

2.3 文献发表国家、机构和作者分析

共有 87 个国家的学者发表了有关草地贪夜蛾的学术论文(图 3)。其中美国学者的发文量最多,与其他国家之间的合作也最多,例如美国与巴西、中国、墨西哥和智利均开展了大量合作。有关草地贪夜蛾的论文数量排名前 10 的世界机构分别来自美国、巴西和墨西哥,其中美国农业部农业研究局和相关大学是绝对的主体(表 2)。来自美国农业部农业研究局的 Meagher 自 1998 年发表第一篇有关草地贪夜蛾的论文,到目前已发表 65 篇相关论文,他主要研究草地贪夜蛾信息素和田间诱捕等技术和方法。来自墨西哥的 William 主要研究草地贪夜蛾核型多角体病毒等(表 3)。我国与其他国家合作研究的主要领域包括核型多角体病毒、细胞凋亡和细胞克隆等方面。我国与美洲的巴西、墨西哥以及欧洲的法国、英国、德国等国家也有合作,但与非洲国家基本没有合作发表论文。

表 1　Web of Science 数据库中关于草地贪夜蛾的论文数量排前 10 位的期刊

Table 1　Top 10 journals publishing papers related to *Spodoptera frugiperda* based on Web of Science

期刊 Journal	影响因子 Impact factor	载文量/篇 No. of paper	总被引次数 Total cited times	每篇被引次数 Mean cited times per paper	*h* 指数 *h* index
Journal of Economic Entomology	1.79	176	1 421	8.07	86
Florida Entomologist	0.87	104	862	8.29	45
Journal of Virology	4.24	91	676	7.43	268
Journal of Invertebrate Pathology	2.42	85	429	5.05	72
PLoS ONE	3.01	82	348	4.24	241
Journal of General Virology	2.68	81	347	4.28	147
Virology	3.14	71	492	6.93	159
Insect Biochemistry and Molecular Biology	3.82	66	293	4.44	97
Southwestern Entomologist	0.51	55	85	1.55	21
Journal of Chemical Ecology	2.31	54	193	3.57	99

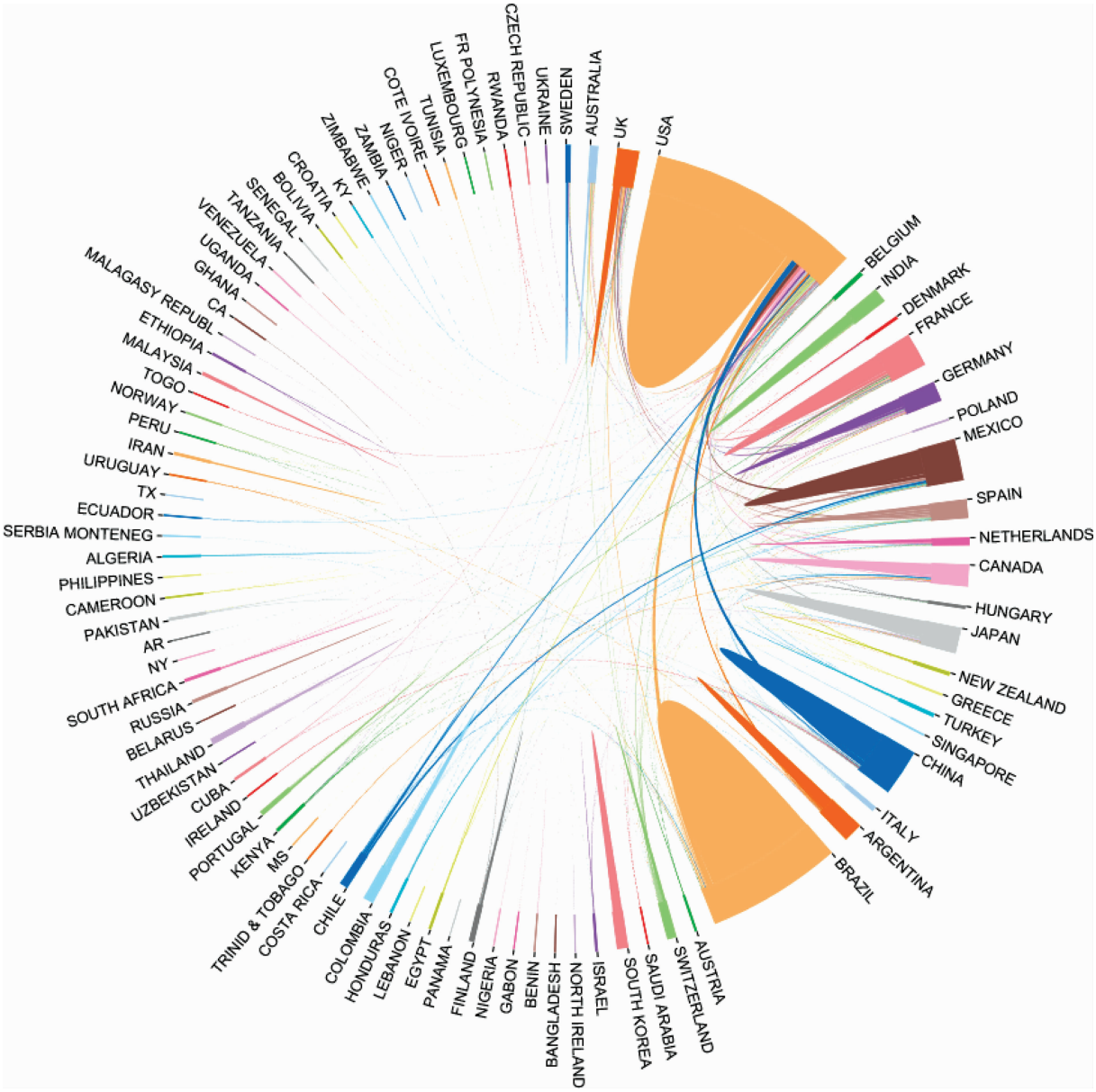


图 3　Web of Science 核心合集中关于草地贪夜蛾发文的国家概况

Fig. 3　The countries involved in the publications related to *Spodoptera frugiperda* based on Web of Science

我国从事草地贪夜蛾工作的主要机构包括中国农业科学院植物保护研究所、全国农业技术推广服务中心和北京农学院等，主要领域包括草地贪夜蛾的监测、防控以及相关的病毒研究等。昆虫杆状病毒 SfMNPV-D7 能在连续传代的草地贪夜蛾细胞中进行复制，并产生多角体病毒和未封闭在多角体内的病毒[20]。而大多数昆虫杆状病毒不能在昆虫细胞培养中进行复制，因此草地贪夜蛾细胞为有关病毒学的研究提供了很大便利。在草地贪夜蛾入侵我国之前，我国学者利用草地贪夜蛾细胞做了大量病毒方面的研究。2018 年 9 月，《世界农业》[21]摘录并发表了联合国粮农组织于 2018 年 8 月 14 日发出的预警信息，草地贪夜蛾很有可能从印度蔓延至以东南亚和中国南部为主的亚洲其他地区。2018 年 12 月，郭井菲等[22]发表了“警惕危险性害虫草地贪夜蛾入侵中国”一文，从生物学特征、为害、分布区域及入侵性、形态及分子鉴定方法等方面做了较为详细的论述，并对其入侵中国的风险进行了预测分析，同时提出应对策略。随着草地贪夜蛾的入侵，我国学者的研究方向正在转变为草地贪夜蛾的预测、监测、迁飞和可持续治理。吴孔明、姜玉英和张志勇是发文量最多的中国学者，分别为 8 篇、7 篇和 6 篇。

表 2 Web of Science 数据库关于草地贪夜蛾发文量前 10 位的研究机构

Table 2 Top 10 research institutions publishing papers related to *Spodoptera frugiperda* based on Web of Science

机构 Institution	论文总数/篇 Total no. of papers	总被引次数 Total cited times	第一作者总数 Total no. of first author	第一作者被引次数 Total cited of first author
美国农业部农业研究局 USDA Agricultural Research Service	381	2 580	206	1 302
巴西圣保罗大学 Universidade de São Paulo, Brazil	158	744	91	491
巴西维科萨大学 Universidade Federal de Vicosa, Brazil	130	481	50	208
美国佐治亚大学 University of Georgia, USA	97	933	40	343
美国佛罗里达大学 University of Florida, USA	96	549	44	233
美国德州农工大学 Texas A&M University, USA	86	644	36	253
美国路易斯安那州立大学 Louisiana State University, USA	85	737	50	467
美国宾夕法尼亚州立大学 Pennsylvania State University, USA	75	265	25	59
墨西哥国立自治大学 Universidad Nacional Autónoma de México	62	377	30	224
法国国家农业科学研究院 Institute National de la Recherche Agronomique, France	55	217	22	52

2.4 研究热点分析

文献关键词是作者用简洁的词语对论文主旨内容的高度概括，用 VOSviewer 软件对高频关键词进行网络聚类，高频关键词间共现强度的聚类在一定程度上可以代表这一领域内的研究热点[23]。对 Web of Science 核心合集收录的 3 660 篇发表于 1995 年—2019 年的草地贪夜蛾相关文献进行高频关键词聚类分析。将频次阈值设定为 8，从 7 218 个关键词中筛选出 201 个高频关键词进行聚类分析，得到 8 个聚类，即草地贪夜蛾研究的 8 个热点：杆状病毒，苏云金芽孢杆菌(Bt)，核型多角体病毒，生物防治，有害生物综合治理(IPM)，寄主抗性及抗性管理，种群繁殖、行为及监测，生物化学与分子遗传学(表 4)。

表 3 Web of Science 数据库关于草地贪夜蛾发文量前 10 位的作者

Table 3 Top 10 authors publishing papers related to *Spodoptera frugiperda* based on Web of Science

作者 Author	论文总数/篇 Total no. of papers	总被引次数 Total cited times	第一作者总数 Total no. of first author	第一作者被引次数 Total cited times of first author	通信作者数 No. of corresponding author
Meagher R L	65	855	18	175	19
Williams T	55	459	3	50	17
Nagoshi R N	51	699	30	509	31
Caballero P	47	427	0	0	22
Omoto C	39	395	1	37	10
Williams W P	37	375	12	143	12
Terra W R	35	217	1	0	3
Zanuncio J C	34	125	3	23	14
Ferreira C	32	198	2	20	20
Cespedes C L	28	274	16	165	21

表 4　草地贪夜蛾高频关键词聚类八大研究热点及其对应的关键词

Table 4　Eight keywords clusters of *Spodoptera frugiperda* papers and remarkable keywords in each cluster

聚类序号 No of cluster	研究热点 Research hotspots	关键词 Keywords of papers
1	杆状病毒	Baculovirus, insect cells, baculovirus expression, sf9 cells, purification, gene expression 等
2	苏云金芽孢杆菌	*Bacillus thuringiensis*, insecticidal activity, toxicity, sublethal effect, biopesticide 等
3	生物防治	Biological control, egg parasitoid, host strains, migration 等
4	核型多角体病毒	Nucleopolyhedrovirus, *Anticarsia gemmatalis*, *Heliothis virescens*, cry1Ac, AcMNPV 等
5	寄主抗性和抗性管理	Resistance, resistance management, plant resistance, inheritance, *Helicoverpa zea* 等
6	种群繁殖、行为及监测	Noctuidae, parasitoids, natural enemies, monitoring, behavior, maize, pheromone, artificial diet 等
7	有害生物综合治理	Integrated pest management, botanical insecticide, antifeedant, synergism, bioassay 等
8	昆虫生理生化与分子遗传学	Apoptosis, *Bombyx mori*, RNA interference, juvenile hormone 等

深入剖析生物防治与其他研究热点的关键词共现关系发现,生物防治除了与昆虫生理生化和分子遗传学研究热点无直接关联外,与其他 6 个研究热点均有不同程度的关联(图 4),特别是与寄主抗性和抗性管理,种群繁殖、行为和监测两个研究热点交叉非常多。以生物防治作用物的种类对草地贪夜蛾生物防治相关文献进行进一步分析,可见寄生蜂相关研究最为活跃,发文量占草地贪夜蛾生物防治发文量的 29.7%,其次是捕食性天敌和细菌类(以 Bt 为主),均约占 19.5%;病毒类相关文献占 16.6%,主要包括杆状病毒、核型多角体病毒等;线虫和真菌类相关文献相对较少,各约占 7.0%。

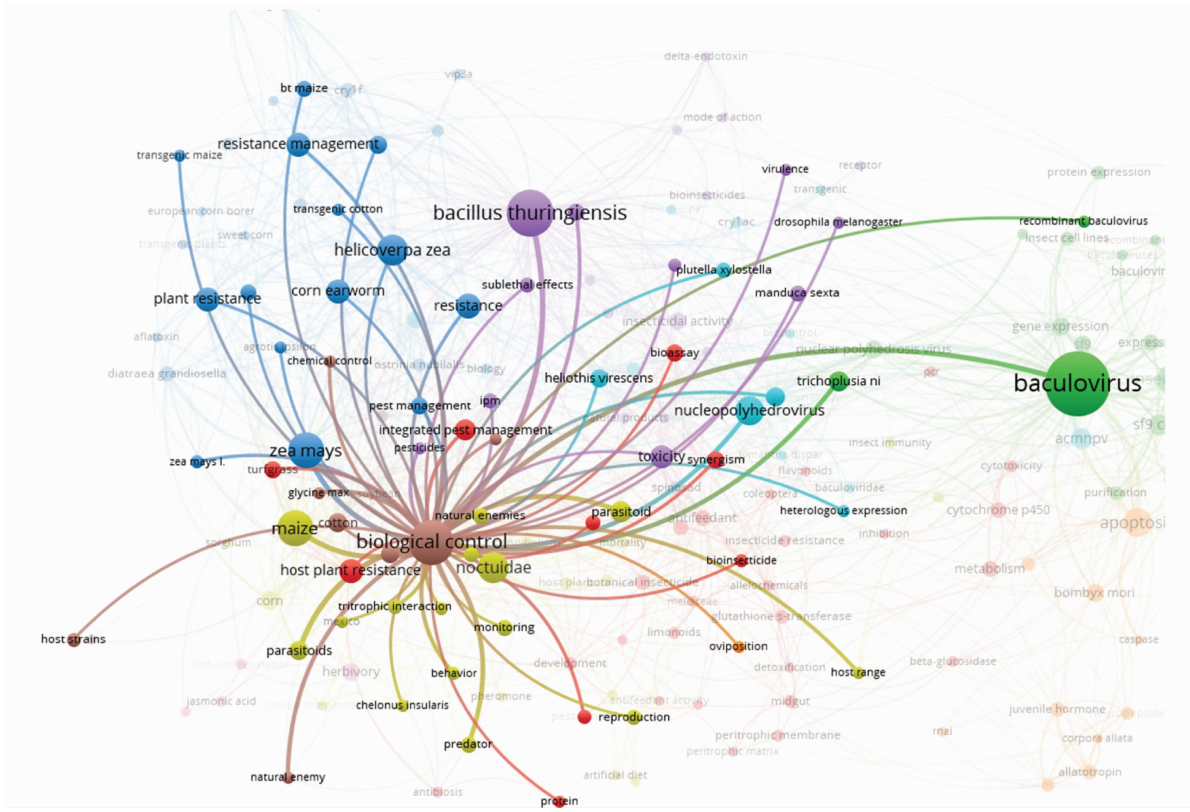


图 4　草地贪夜蛾生物防治相关论文关键词与其他研究主题关键词的共现关系图

Fig. 4　Keywords co-occurrence network map between biological control cluster and other clusters of *Spodoptera frugiperda* related papers

3　讨论

尽管文献计量学研究受下列因素的影响存在一定的局限性,如文献数据库的选择、个别文献的遗漏或者重复、人工筛选文献时的主观因素、关键词的覆盖面等,但还是能够客观、全面、科学合理地分析和反映被研究对象的现状和发展趋势[24]。本研究通过文献计量学分析发现,关于草地贪夜蛾的研究自

20 世纪 90 年代以来出现井喷式增长，年均发文量持续在 100 篇以上，远远高于其他害虫如亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*（Guenée）[25]、扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* Tinsley[26]、桃小食心虫 *Carposina niponensis* Walsingham[27]和铃木氏果蝇 *Drosophila suzukii* Matsumura[24]等的发文量。这不仅表明草地贪夜蛾的科研活动维持在一个较高的水平和强度，也反映出草地贪夜蛾的重要程度，同时也为本研究提供了丰富的数据基础。

随着草地贪夜蛾在非洲和亚洲的入侵和快速大范围扩散，目前其已经演变为世界性的重大害虫。在美国，草地贪夜蛾暴发成灾的最早两次记录出现在 1797 年和 1856 年，然后多年来不定期的发生虫灾，严重影响玉米、谷子和棉花等作物的生产；1975 年和 1976 年在美国东南部各州为害作物造成的经济损失估计分别在 6 120 万和 3 190 万美元；1977 年成灾尤其严重，仅在佐治亚州造成的经济损失就高达 1.375 亿美元[5]。在巴西，草地贪夜蛾为害造成玉米减产最高可达 34%[28]，经济损失每年约为 4 亿美元[29]。在已被入侵的非洲 12 个玉米种植国家中（包括加纳、赞比亚、贝宁、喀麦隆、刚果、埃塞俄比亚、马拉维、莫桑比克、尼日利亚、乌干达、坦桑尼亚、津巴布韦），草地贪夜蛾为害导致玉米年减产 410 万～1 770 万 t，经济损失每年高达 10.88 亿～46.61 亿美元，严重影响非洲粮食安全和小农户生计[12]。可以预计，随着草地贪夜蛾在全球范围的进一步扩散和定殖，草地贪夜蛾对于全球粮食安全和可持续发展目标的实现将具有不可忽视的影响。

草地贪夜蛾具有远距离迁飞能力、杂食性、高繁殖力和抗药性等特点，入侵非洲后两年时间就席卷了撒哈拉以南地区，被称为“超级害虫”[13]。自 2018 年起，在亚洲多个国家发生为害；自 2019 年 1 月入侵我国云南后，在 5 个月内，席卷了全国 380 多个县，并有继续大范围扩散为害的趋势[16,30]。因此，借鉴和分析草地贪夜蛾在美洲大陆和非洲的防控十分必要。美洲大陆对草地贪夜蛾的防治可以为两个阶段，20 世纪以化学农药防治为主，并使草地贪夜蛾的发生与为害得到有效控制。随着长期大量使用化学农药，草地贪夜蛾对氨基甲酸酯类、有机磷类和拟除虫菊酯类化学药剂产生了抗性[31-32]，防治效果显著下降。20 世纪后期开始，转基因抗虫作物和其他综合防治手段逐渐成为美洲大陆控制草地贪夜蛾发生为害的主要手段，特别是田间释放天敌昆虫、使用微生物农药、植物源农药、昆虫病原线虫以及利用昆虫性信息素诱捕害虫等生物防治方法和措施等。Bateman 等[33]对非洲地区防治草地贪夜蛾的潜在生物农药进行了评估，综合分析了原产地 11 个国家和 19 个非洲国家已登记农药，明确了有 50 种生物农药活性成分已在一个或多个国家登记注册，其中 23 个建议用于生物测定和田间防治，包括含有异硫氰酸酯和辛酸蔗糖酯、大蒜油、辣椒素、绿僵菌和橙油等活性成分的生物农药。另外，白僵菌、Bt、核型多角体病毒以及杆状病毒等一些昆虫病原微生物杀虫剂已在国外登记用于防治草地贪夜蛾；表达 Cry1F 杀虫蛋白的转基因抗虫玉米是美洲大陆种植较为广泛的品种，并在阿根廷、哥伦比亚、巴西、洪都拉斯、乌拉圭和巴拉圭等国家种植[34]。但近年来，草地贪夜蛾已对 Cry1F、Cry1Ab 和 Cry2Ab2 等 Bt 蛋白产生抗性，需要使用新的杀虫蛋白如 Vip3Aa20 和高剂量-庇护所管理策略来发挥更持久的抗虫作用[22]。

我们通过高频关键词聚类分析发现，草地贪夜蛾的研究热点与其可持续防控高度相关，包括杆状病毒，苏云金芽孢杆菌（Bt），核型多角体病毒，生物防治，有害生物综合治理（IPM），寄主抗性及抗性管理，种群繁殖、行为及监测等。其中，草地贪夜蛾的生物防治研究与其他研究热点均有不同程度的关联，特别是寄生蜂、捕食性天敌以及细菌和病毒等病原微生物的研究。在其原产地，草地贪夜蛾的寄生性天敌昆虫资源非常丰富，包括 150 多种膜翅目和双翅目天敌昆虫[35-37]。其中，寄生卵和幼虫的寄生蜂和寄生蝇占 90%以上，又以姬蜂科 Ichneumonidae、茧蜂科 Braconidae 和寄蝇科 Tachinidae 的种类最多；卵寄生蜂岛甲腹茧蜂 *Chelonus insularis*（Cresson）和幼虫寄蝇 *Archytas marmoratus*（Townsend）分布的国家和生境寄主植物最为广泛；美国、巴西、洪都拉斯和尼加拉瓜发现的幼虫寄生蜂种类最多，尼加拉瓜、巴西、巴巴多斯和墨西哥发现的卵寄生蜂种类最多；寄生蜂和寄生蝇来源的主要生境植物包括玉米、高粱、棉花、花生、紫花苜蓿、水稻和狗牙根 *Cynodon dactylon* L.[35]。在美国佛罗里达州南部三个县连续 6 年的甜玉米田间调查结果表明，草地贪夜蛾幼虫的自然寄生率在 1%～91.7%，非化学防治田的寄生率明显高于化学防治田的寄生率。缘腹绒茧蜂

Cotesia marginiventris (Cresson)和岛甲腹茧蜂是两种最主要的寄生蜂[37]。鉴于草地贪夜蛾幼虫在玉米叶片背面、心叶或者是穗内取食为害,很难完全接触到药剂,寄生性或者捕食性天敌昆虫可以有效地解决这一难题而在田间发挥自然控制作用。

源自东南亚马来半岛的夜蛾黑卵蜂 *Telenomus remus* Nixon 被引入到世界多个国家防治灰翅夜蛾属害虫,目前已经分布在美洲的 14 个国家和非洲的 5 个国家[35,38-39]。与赤眼蜂只寄生草地贪夜蛾卵块的外层卵相比,夜蛾黑卵蜂具有明显的寄生效率优势,能够寄生卵块的每一粒卵[40],平均产卵量为 270 粒[41]。在玉米田助增式释放夜蛾黑卵蜂后的寄生率最高达到 90% 以上,能够有效防治草地贪夜蛾[29, 41-42]。尽管用于商业或者田间释放试验的夜蛾黑卵蜂大规模饲养已经在拉丁美洲的 7 个国家得以实现[42],但是夜蛾黑卵蜂大范围应用的主要挑战在于利用适合的中间寄主、提高大规模饲养效率和降低生产成本[29,41, 44]。

与原产地的草地贪夜蛾寄生蜂种类相比较,夜蛾黑卵蜂、短管赤眼蜂 *Trichogramma pretiosum* Riley、螟蛉盘绒茧蜂 *Cotesia ruficrus* (Haliday)和棉铃虫齿唇姬蜂 *Campoletis chlorideae* Uchida 在我国也有分布[45-46]。田间调查发现草地贪夜蛾与同属的甜菜夜蛾 *S. exigua* (Hübner)和斜纹夜蛾 *S. litura* (Fabricius) 混合发生[47],而甜菜夜蛾和斜纹夜蛾在我国的天敌物种比较丰富[45, 48-50]。这些天敌昆虫在我国是否能够迅速适应并寄生草地贪夜蛾,对于草地贪夜蛾的生物防治和生态调控具有重要的理论和实践意义。

参考文献

[1] 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.

[2] JOHNSON S J. Migration and the life history strategy of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in the Western Hemisphere[J]. International Journal of Tropical Insect Science, 1987, 8(4/5/6):543-549.

[3] CABI. Datasheet. *Spodoptera frugiperda* (fall army worm) [EB/OL]. Invasive Species Compendium, (2019-04-23) [2019-06-19]. https://www.cabi.org/ISC/datasheetreport/29810.

[4] MONTEZANO D G, SPECHT A, SOSA-GÓMEZ D R, et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas [J]. African Entomology, 2018, 26(2): 286-301.

[5] SPARKS A N. A review of the biology of the fall armyworm [J]. Florida Entomologist, 1979, 62(2):82-87.

[6] PITRE H N, HOGG D B. Development of the fall armyworm on cotton, soybean and corn [J]. Journal of the Georgia Entomology Society, 1983, 18(2):182-187.

[7] BUENO R C O F, BUENO A F, MOSCARDI F, et al. Lepidopteran larvae consumption of soybean foliage: basis for developing multiple-species economic thresholds for pest management decisions [J]. Pest Management Science, 2011, 67(2): 170-174.

[8] HARDKE J T, LORENZ G M, LEONARD B R. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) ecology in south-eastern cotton [J/OL]. Journal of Integrated Pest Management, 2015, 6(1): 10. https://doi.org/10.1093/jipm/pmv009.

[9] FAO. Integrated management of the fall armyworm on maize: A guide for farmer field schools in Africa [R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018.

[10] 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/OL]. NeoBiota, 2018, 40:25-50.

[11] GOERGEN G, KUMAR P L, 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/OL]. PLoS ONE, 2016, 11(10):e0165632.

[12] RWOMUSHANA I, BATEMAN M, BEALE T, et al. Fall armyworm: impacts and implications for Africa [R]. CABI, 2018: 1-54.

[13] FAO. Fall armyworm likely to spread from India to other parts of Asia with South East Asia and South China most at risk [R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018.

[14] 杨学礼, 刘永昌, 罗茗钟, 等. 云南省江城县首次发现迁入我国西南地区的草地贪夜蛾[J]. 云南农业, 2019(1):72.

[15] 姜玉英, 刘杰, 朱晓明. 草地贪夜蛾侵入我国的发生动态和未来趋势分析[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(2):33-35.

[16] 于文静. 农业农村部要求加强草地贪夜蛾监测防治[EB/OL]. (2019-05-22)[2019-06-19]. http://www.xinhuanet.com/food/2019-05/22/c_1124525666.htm.

[17] 杨普云, 朱晓明, 郭井菲, 等. 我国草地贪夜蛾的防控对策与建议[J/OL]. 植物保护, (2019-05-29)[2019-06-19]. https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019260.

[18] 邱均平. 文献计量学[M]. 北京:科技文献出版社, 1988.

[19] PIERCE D W, HOLLOWAY T E. Notes on the biology of *Chelonus texanus*, Cress [J]. Journal of Economic Entomology, 1912, 5(6):425-428.

[20] 严家骐. 草地贪夜蛾多粒包埋核型多角体病毒 DNA 基因组的物理图谱及其部分 DNA 片段的克隆[J]. 武汉大学学报(自然

科学版)，1984，30(3)：101－108.
[21] 秋黏虫可能从印度蔓延到亚洲其他地区，东南亚和中国南部首当其冲[J]. 世界农业，2018(9)：239.
[22] 郭井菲，赵建周，何康来，等. 警惕危险性害虫草地贪夜蛾入侵中国[J]. 植物保护，2018，44(6)：1－10.
[23] 周超峰. 文献计量常用软件比较研究[D]. 武汉：华中师范大学信息管理学院，2017.
[24] 蔡普默，仪传冬，张琪文，等. 应该引起重视的害虫：基于文献计量铃木氏果蝇的国内外研究现状分析[J]. 果树学报，2018，35(12)：1530－1540.
[25] CAI Zhuoping，ZHU Honghui. Using bibliometrics method to analyze researches on Asian corn borer during 2005—2009 in China [J]. 浙江农业学报，2012，24(10)：76－80.
[26] 翟欣. 扶桑绵粉蚧研究状况的文献计量分析[J]. 环境昆虫学报，2015，37(3)：693－699.
[27] 孙丽娜，仇贵生，张怀江，等. 基于文献计量学的桃小食心虫研究动态分析[J]. 果树学报，2015，32(6)：1208－1219.
[28] LIMA M S，SILVA P S L，OLIVEIRA O F，et al. Corn yield response to weed and fall armyworm controls [J]. Planta Daninha，2010，28(1)：103－111.
[29] FIGUEIREDO M L C，DELLA LUCIA T M C，CRUZ I. Effect of *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera：Scelionidae) density on control of *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera：Noctuidae) egg masses upon release in maize field [J]. Revista Brasileira de Milho e Sorgo，2002，1(2)：12－19.
[30] 吴秋琳，姜玉英，吴孔明. 草地贪夜蛾缅甸虫源迁入中国的路径分析[J]. 植物保护，2019，45(2)：1－6.
[31] ADAMCZYK J J JR，HOLLOWAY J W，LEONARD B R，et al. Susceptibility of fall armyworm collected from different plant hosts to selected insecticides and transgenic Bt cotton [J]. Journal of Cotton Science，1997，1(1)：21－28.
[32] YU S J，NGUYEN S N，ABO-ELGHAR G E. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm，*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)[J]. Pesticide Biochemistry & Physiology，2003，77(1)：1－11.
[33] BATEMAN M L，DAY R K，LUKE B，et al. Assessment of potential biopesticide options for managing fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Africa [J]. Journal of Applied Entomology，2018，142(9)：805－819.
[34] CHANDRASENA D I，SIGNORINI A M，ABRATTI G，et al. Characterization of field-evolved resistance to *Bacillus thuringiensis*-derived Cry1F δ-endotoxin in *Spodoptera frugiperda* populations from Argentina[J]. Pest Management Science，2017，74(3)：746－754.
[35] MOLINA-OCHOA J，CARPENTER J E，HEINRICHS E A，et al. Parasitoids and parasites of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera：Noctuidae) in the Americas and Caribbean Basin：An inventory [J]. Florida Entomologist，2003，86(3)：254－289.
[36] ESTRADA ViRGEN O，CAMBERO CAMPOS J，ROBLES BERMUDEZ A，et al. Parasitoids and entomopathogens of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera：Noctuidae) in Nayarit，Mexico [J]. Southwestern Entomologist，2013，38(2)：339－344.
[37] MEAGHER R L，Nuessly G S，Nagoshi R N，et al. Parasitoids attacking fall armyworm (Lepidoptera：Noctuidae) in sweet corn habitats [J]. Biological Control，2016，95：66－72.
[38] COCK M J W，BENNETT F D，HUGHES I W，et al. A review of biological control of pests in the Commonwealth Caribbean and Bermuda up to 1982 [R]. Wallingford，UK：Commonwealth Agricultural Bureaux，1985.
[39] KENIS M，DU PLESSIS H，VAN DEN BERG J，et al. *Telenomus remus*，a candidate parasitoid for the biological control of *Spodoptera frugiperda* in Africa，is already present on the continent[J/OL]. Insects，2019，10：92，doi：10. 3390/insects10040092.
[40] CAVE R D，ACOSTA N M. *Telenomus* remus Nixon：Un parasitoide en el control biológico del gusano cogollero，*Spodoptera frugiperda* (Smith) [J]. Ceiba 1999，40(2)：215－227.
[41] CAVE R D. Biology，ecology and use in pest management of *Telenomus remus* [J]. Biocontrol News and Information，2000，21(1)：21－26.
[42] GUTIERREZ-MARTINEZ A，TOLON-BECERRA A，LASTRA-BRAVO X B. Biological control of *Spodoptera frugiperda* eggs using *Telenomus remus* Nixon in maize-bean-squash polyculture [J/OL]. American Journal of Agriculture and Biological Sciences，2012，7(3)：285－292.
[43] POMARI-FERNANDES A，DE QUEIROZ A P，DE FREITAS BUENO A，et al. The importance of relative humidity for *Telenomus remus* (Hymenoptera：Platygastridae) parasitism and development on *Corcyra cephalonica* (Lepidoptera：Pyralidae) and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera：Noctuidae) eggs [J]. Annals of Entomological Society of America，2015，108(1)：11－17.
[44] VIEIRA N F，POMARI-FERNANDES A，LEMES A A F，et al. Cost of production of *Telenomus remus* (Hymenoptera：Platygastridae) grown in natural and alternative hosts [J]. Journal of Economic Entomology，2017，110(6)：2724－2726.
[45] 何俊华，刘银泉，施祖华. 中国斜纹夜蛾寄生蜂名录[J]. 昆虫天敌，2002，24(3)：128－137.
[46] 唐雅丽，陈科伟，许再福. 夜蛾黑卵蜂(*Telenomus remus* Nixon)个体发育研究[J]. 长江蔬菜，2010(18)：1－3.
[47] 郭井菲，静大鹏，太红坤，等. 草地贪夜蛾形态特征及与3种玉米田为害特征和形态相近鳞翅目昆虫的比较[J]. 植物保护，2019，45(2)：7－12.
[48] 刘悦秋，江幸福. 甜菜夜蛾的生物防治[J]. 植物保护，2002，28(1)：54－56.
[49] 司升云，周利琳. 甜菜夜蛾[M]//中国农业科学院植物保护研究所，中国植物保护学会. 中国农作物病虫害，中册，3版. 北京：中国农业出版社，2014：456－461.
[50] 蒋杰贤. 斜纹夜蛾[M]//中国农业科学院植物保护研究所，中国植物保护学会. 中国农作物病虫害，中册，3版. 北京：中国农业出版社，2014：461－467.

(责任编辑：杨明丽)