

◆ 综述与专论 ◆

蝗虫化学防控研究进展

涂雄兵, 李霜, 潘凡, 徐超民, 陈俊, 董丰收*, 张泽华*

(中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要:2020年初,三十年不遇的沙漠蝗灾突发,数百万人口受灾。自然界发出警告,蝗灾依然是人类需要面对的严重威胁。蝗灾暴发,化学防治往往是首选的技术手段。近百年来,总体上蝗虫防治紧跟绿色发展的脚步,但也存在农药不合理使用现象及对非靶标生物的影响。本文简述了世界蝗虫灾害概况,回顾了蝗虫化学防治的发展历程,探讨了存在的问题及对策。指出未来随着新型农药的研发、监测技术的提高,蝗虫防治必将走向无害化精准防控。

关键词:蝗灾;新靶点药物;精准防控;防控策略

中图分类号:TQ 450.1 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2020.02.001

Advances Research on Chemical control of Locusts and Grashoppers

TU Xiongbing, LI Shuang, PAN Fan, XU Chaomin, CHEN Jun, DONG Fengshou*, ZHANG Zehua*

(Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100193, China)

Abstract: The desert locust plague, which is severe in nature over past 30 years, have been destroyed standing crops and plants at the beginning of 2020, and the millions of people were affected. Nature warns that locusts are still a serious threat to human beings. Chemical is often the first choice to control locust outbreak. In the past hundred years, the locusts and grasshoppers management have been closely followed the development of green environmental protection in general, but there were also unreasonable application of pesticides and the negative impact on non-target organisms. This paper briefly described the outbreak general situation, the chemical control development course, and discussed the existing problems and countermeasures of locust and grasshopper in the world. With the development of new pesticide and the improvement of monitoring technology, the control of locust will be harmless and precise.

Key words: Locusts disaster; New target pesticide; Accurate control; Management strategy

蝗虫是世界性农业重大害虫,除南极大陆、北纬55°以北区域,均发生过蝗虫灾害,全球常年发生面积4 680万km²,约1/8的人口遭受蝗灾的影响^[1-2]。在我国历史上蝗灾、水灾和旱灾并称为三大自然灾害。公元前976年至今,我国共发生蝗灾1 200余次,平均3~5年一次大发生^[3]。2020年2月10日,联合国粮农组织(FAO)向全球发布了沙漠蝗灾害预警,希望全球高度戒备正在肆虐的蝗灾,防止被入侵国家出现粮食危机。这也再次提醒人们,蝗灾依然是

粮食生产和生态安全的严重威胁^[4]。

1 世界蝗虫灾害概况

1.1 主要成灾蝗虫

全世界有记录的蝗虫约14 000种,隶属于昆虫纲(Insecta)、直翅目(Orthoptera)、蝗亚目(Caelifera),分为蝗总科(Acridoidea)、蚱总科(Tetragoidea)和蚻总科(Eumastacoidea),2 364属,约300种形成灾害。我国有记录的蝗虫1 200余种,约占世界全部种类的

收稿日期:2020-03-17

基金项目:国家自然科学基金(31671485);现代农业产业技术体系项目(CARS-34-07)

作者简介:涂雄兵(1983—),男,湖北武穴人,博士,副研究员,主要从事农业昆虫与害虫防治研究。E-mail: xbtu@ippcaas.cn

共同第一作者:李霜(1989—),女,四川广安人,博士研究生,主要从事农业昆虫与害虫防治研究。E-mail: sclishuang61@163.com

通信作者:董丰收(1974—),男,河南焦作人,博士,研究员,主要从事农药应用风险评估研究。E-mail: dongfengshou@caas.cn

共同通信作者:张泽华(1963—),男,内蒙古通辽人,博士,研究员,主要从事农业昆虫与害虫防治研究。E-mail: zhangzehua@caas.cn

8.5%，隶属于283属，60多种为害严重^[5-7]。其中东亚飞蝗 (*Locusta migratoria manilensis*)、亚洲飞蝗 (*Locusta migratoria migratoria* L.)、西藏飞蝗 (*Locusta migratoria tibetensis*) 3个飞蝗亚种，以及亚洲小车蝗 (*Oedaleus asiaticus*)、意大利蝗 (*Calliptamus italicus* L.)、西伯利亚蝗 (*Gomphoceris sibiricus* L.) 等迁飞性蝗虫，可形成异地突发性灾害。其他50余种蝗虫多为害草原，不具备迁飞特性。2020年初，突袭了非洲北部、阿拉伯半岛、西南亚地区的沙漠蝗 (*Schistocerca gregaria*) 为大众所认知^[2, 4]。另外，还有非洲飞蝗 (*Locusta migratoria migratorioides*)、红蝗 (*Nommadacris septemfasciata*)、树蝗 (*Anacridium melanorhodon*)、塞纳加尔蝗 (*Oedaleus senegalensis*) 等几十种蝗虫，也曾多次导致非洲大陆严重的灾害。发生在欧洲大陆的摩洛哥蝗 (*Docostaurus maroccanus*)、白边雏蝗 (*Chorthippus albomarginatus*)、意大利蝗等也曾导致数次严重的灾害^[2, 4, 7]。美国最典型的蝗虫是落基山蝗 (*Melanoplus spretus*)，暴发于1870年，数万家农场因此变成了废墟，导致了经济大萧条，失业增加，社会动荡；美国动员全社会共同努力，用尽各种手段，于1902年彻底消灭了落基山蝗，如今人们只能在博物馆里见到该种蝗虫^[8]。此外，北美洲还有美洲沙漠蝗 (*Schistocerca americana americana*)、迷彩车蝗 (*Oedaleonotus enigma*)、血黑蝗 (*Melanoplus sanguinipes*)、双带黑蝗 (*Melanoplus packardii*)、双线黑蝗 (*Melanoplus bivittatus*) 等主要成灾种类^[2]。澳大利亚成立了蝗虫防治委员会，专门防治澳大利亚的灾蝗 (*Chortoicetes terminifera*)、飞蝗 (*Locusta migratoria* L.)、红蝗等3种成灾蝗虫^[2, 9]。

1.2 国际蝗灾发生情况

蝗灾发生是世界性的，也是历史性的。公元前4500年，古埃及法老陵墓中就发现了关于蝗虫的雕刻。《旧约全书》记载了古希腊人和罗马人对蝗灾的恐惧。公元前3世纪，《圣经》中生动描述了沙漠蝗虫暴发成灾的场景。公元811年，蝗虫吞噬了阿拉伯、拉辛、泰拉和埃德莎领土上的所有作物^[10]。即使到了20世纪，蝗灾也是决定非洲国家粮食供给的重要影响因素。20世纪后半叶，非洲发生蝗灾17次，平均2.9年一次；1900—2000年，南美洲发生蝗灾28次，平均3.6年一次^[10-11]；1818—1985年，以色列发生沙漠蝗灾达12次，损失惨重^[10, 12]。1986—1989年北美采用化学防治措施控制蝗虫危害面积达8 200万hm²^[13]。2003—2005年，为防治沙漠蝗，数百万升的化学农

药倾倒在非洲2 980万hm²的土地上^[14]。尽管如此，2012年，马达加斯加再次暴发蝗灾，导致60%人口面临饥饿问题^[15]。2014年，意大利蝗和摩洛哥蝗席卷高加索和中亚地区670万hm²农田^[16]。沙漠蝗被认为是世界上最为严重的成灾蝗虫之一，2020年初大面积暴发，一天随风迁飞100~200 km，侵袭了从非洲西部苏丹和厄立特里亚至巴基斯坦和印度交界地区，数百万人口受灾，给近20个国家粮食生产带来严重威胁^[4, 17]。

1.3 我国蝗灾发生情况

历史上我国是蝗灾为害最为严重的国家之一，明代徐光启曾说：“凶饥之因有三，曰水，曰旱，曰蝗……惟旱极而蝗，数千里间，草木皆尽，或牛马毛幡帜皆尽，其害尤惨过于水旱者也”^[18]。北宋时期制定了《捕蝗法》；元朝建立了地方首官负责制，有了“除蝗于未然”的预防意识，制定了秋耕晒卵的耕作制度和保护天敌的明令；明朝的徐光启撰写的《除蝗疏》中详尽地论述了如何治蝗；清代的治蝗律例更为完善，在陈芳生撰写的《捕蝗考》中，介绍了蝗虫发生规律与防治方法，逐渐趋向科学防蝗^[19-20]。周尧^[21]在《中国昆虫学史》中系统地阐述了蝗灾的历史。

新中国成立以来，党和国家高度重视治蝗工作，通过对蝗区进行大规模改造，结合化学防治，使蝗灾治理取得了明显成效。1951年，曹骥等^[22]首先研究了六六六毒饵治蝗技术。1952年，邱式邦等^[23-24]将六六六粉使用量减小，仅为原用量的1/6，并于1975年提出了“预防为主，综合防治”的植保方针。1954年，马世骏^[25]提出了“改治结合、根除蝗害”指导思想。20世纪90年代，严毓华^[26-27]提出了“生物防治与生态治理相结合”的蝗虫治理理论，李鸿昌等^[28]提出了“农田连片、减少入侵”的统一规划理念。陈永林^[1]提出了“系统生态学和生态工程学”的观点，以及“植物保护、生物保护、资源保护、环境保护”相结合的“四保”对策。Wang等^[29]建立了蝗虫分子生物学基础，揭示了飞蝗散居型向群居型过渡的型变机制。另外，中国农业大学应用微孢子虫治蝗取得重要进展^[30]。中国农业科学院植物保护研究所应用真菌防治蝗虫取得长足进步，与农业农村部农药检定所共同制定了真菌农药国家标准，启动了我国真菌杀虫剂登记，2002年我国第一个真菌杀虫剂产品上市，截止2017年应用真菌防治蝗虫面积超过666.67万hm²，2019年完成了国内首条全过程自动控制生产线建设^[31]。

2 蝗虫化学防治进展

2.1 蝗虫化学防治的历史

蝗虫化学防治见证了化学农药使用的变迁过程。1874年,德国化学家齐德勒采用化学方法合成了DDT。1939年,瑞士化学家穆勒发现DDT是昆虫的神经毒剂,能够有效地防除蚊虫而控制虫媒传播的疟疾、伤寒蔓延,产品上市后使数亿人从疾病的痛苦中解救出来,挽救了近千万人的生命。一时之间DDT成为灵丹妙药,穆勒也因为发现DDT杀虫活性于1948年荣获诺贝尔生理/医学奖^[32]。随后,1942—1945年,有机氯同族化合物林丹、六氯环己烷、艾氏剂、狄氏剂和异狄氏剂相继被研发合成。1946年,六氯环己烷(六六六)被英国帝国化学公司大规模开发上市。人们以为找到了包医百病的良药,这些化学药剂也被认为是害虫的终结者。这一时期,六六六、狄氏剂也开始用于防治蝗虫,能迅速减少蝗虫种群数量。1952年,六六六粉剂和毒饵在我国蝗虫防治工作中发挥了重要作用。1953年以后,有机氯为主要有效成份的农药被大面积推广应用,有效地控制了蝗灾的发生^[24-25,33]。

20世纪70年代,有机磷农药马拉硫磷、乐果、甲胺磷等开始占据主导地位^[34]。有机磷农药具有选择性强、药效高、成本低等特点,在防治工作中被广泛应用。如美国采用马拉硫磷和乙酰甲胺磷防治蝗虫,巴西采用杀螟硫磷和马拉硫磷防治迁飞性蝗虫,均取得了很好的防治效果^[35]。在我国新疆巴里坤草原,用飞机超低量喷雾进行化学防治蝗虫试验,结果表明马拉硫磷、马拉硫磷与敌敌畏混剂、乐果、稻丰散和乙基稻丰散分别与敌敌畏混用等5个处理均可替代六六六粉剂防治草原蝗虫^[36]。

20世纪80年代后期,蝗虫的防控工作逐渐由单一追求防效,向防效与环保兼顾转变。人们开始关注高效低毒化学农药的使用,多种药剂混用、轮用、交替使用。20世纪90年代,随着拟除虫菊酯类农药的引进,逐渐替代了有机磷类农药为主的蝗虫防治^[37]。例如,杀螟硫磷和氯氰菊酯混配试验,对抗药较强的蝗虫种类防效达90.0~97.0%,杀螟硫磷与氰戊菊酯混配试验,施药后72 h蝗虫死亡率达到88.5~97.0%^[38]。

2.2 蝗虫化学防治的现状

20世纪90年代至21世纪初,氟虫腈在蝗虫的防治工作中占据了重要地位。但由于其对水生生物、传粉昆虫、昆虫天敌等非靶标生物的不良影响,2009年7月1日被限制使用。目前,蝗虫化学防治药

剂种类多样,有菊酯类、大环内脂类、新烟碱类农药等,符合高效低风险要求^[39],在蝗虫防治过程中发挥了重要作用。例如,应用4.5%的高效氯氰菊酯和2.5%的高效氯氟氰菊酯超低量喷雾,3 d后蝗虫防治效果达到86.5%,7 d后就达到90.4%,15 d后达到92.1%^[40]。这类药剂不仅用药量低,且与有机磷化学农药相比成本较低,可节约开支近90%^[39]。据最新统计表明,我国农药登记用于防治蝗虫的产品有35个,有效成分12个,其中化学农药有敌敌畏、马拉硫磷、吡虫啉、溴氰菊酯、高效氯氰菊酯、阿维·三唑磷等7个产品,植物源农药有苦参碱和印楝素2种,微生物农药有球孢白僵菌(*Beauveria bassiana*)、金龟子绿僵菌(*Metarhizium anisopliae*)、蝗虫微孢子虫(*Nosema locustae*)3种。上述产品通过了我国农药登记风险评估程序,均为低风险防蝗药剂,正常使用对农产品和环境安全无不良影响^[41]。

2.3 蝗虫化学防治技术

除选择高效安全农药外,防治指标和防治适期也至关重要。目前,我国蝗虫防治指标中飞蝗防治指标为0.5头/m²,其他蝗虫为5~25头/m²。根据种群发生密度,危害区分为3个级别,超过防治指标2倍以上为严重危害区;超过防治指标,低于2倍防治指标为危害区;未超过防治指标但存在暴发风险的为潜在危害区。依据危害区不同级别采取相应措施,严重危害区域以化学防治为主,危害区域主要以生物防治为主,潜在危害区以生物防治结合生态调控进行预防。建议进行蝗虫种类普查,蝗区区划,作为分区分级防控的依据。蝗虫种类多、交替发生,防治适期选择是关键,优势种3龄之前防治效果最佳,此时蝗蛹聚集为害,虫体小、耐药性差^[31],同时要兼顾其他种类防治。制定化学农药交替使用、间隔施药技术,化学农药与生物农药互补应用技术措施,预留天敌避难所,依据发生区面积制定防治方案。小面积、局部发生区域采用背负式设备带药侦察,发现高密度区及时防治;在发生面积小于500 hm²的集中连片区域,采用大型地面喷雾设备进行防治;发生面积大于500 hm²以上的区域,优先使用飞机防治,推广超低容量喷雾施药技术和GPS飞机导航精准控制技术。在地形、植被环境复杂发生区域,可以选择适宜的防治措施提高防治效果^[31]。

3 蝗虫化学防治存在的问题与对策

3.1 蝗虫化学防治存在的问题

高风险化学农药用于防控蝗虫引发的环境污

染及健康损害问题。1985年~1986年,呋喃丹被广泛用于加拿大蝗虫防治,分别占艾伯塔省总喷洒面积的57% (44.06万 hm^2) 和65% (46.87万 hm^2), 导致大量动物、鸟类因取食植物而死亡, 大量海鸥等天敌捕食蝗虫二次中毒^[42]。萨勒赫地区因化学防治蝗虫后禁令管理不善, 导致民众出现了头晕、头痛、呕吐等症状, 呼吸系统、神经系统、消化系统等均受到了影响^[43]。

化学防控剂型技术落后导致环境污染及生态损害问题^[44-45]。1970年以前, 化学防治蝗虫的油剂和饵剂以现场配制为主^[44]。油剂多以二线油为载体, 对喷施设备有腐蚀作用, 对环境影响较大^[46]; 饵剂配制管理粗放, 导致非靶标生物中毒事件时有发生^[47]。悬浮剂易发生变化, 如分层、絮凝、结块等^[48]。可湿性粉剂用于蝗虫防治, 但影响土壤理化性质, 对土壤中蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶及细菌等微生物有明显的抑制作用^[49-50]。乳油助剂多为苯、甲苯、甲醇等, 比例占到30%~60%, 对防治区人畜、鸟类影响严重, 导致环境安全问题^[43]。

化学防控技术落后造成的3R问题。防治措施单一和过度依赖化学农药导致的抗性、残留和再猖獗问题, 已成为世界公认亟待解决的难题^[51]。经检测, 东亚飞蝗对马拉硫磷已产生抗性, 其中天津地区的东亚飞蝗抗性水平为2.9倍^[52], 海南为14.8倍, 河北为57.5倍^[53]。部分区域生态保护意识落后, 农药使用量逐年增加, 蝗虫天敌等有益昆虫迅速减少, 导致生态系统失衡进而引发蝗灾再次暴发。另外, 飞机和无人机缺乏精准控制、漂移严重、环境残留污染问题严重。2015年前, 北美、澳大利亚、非洲部分地区已经使用GPS导航系统, 但仍存在定位精度不够、设备匹配不到位问题, 并未实现真正意义上的精准施药^[54-55]。

3.2 蝗虫化学防治问题对策

新型高效低风险化学药剂研制开发为蝗虫的有效防控提供物质基础。我国化学农药创新平台建设日趋完善, 高效低风险农药设计理念已经形成^[31]。未来针对分子靶标设计开发的新药将会有巨大的商业前景, 包括以发育抑制^[56]、不育诱导^[57-58]、滞育调控^[59]等为目的的新靶点药物研发将会有重大突破, 其特点是专一性强, 理想状态可以一虫一药, 环境友好, 对人畜无害。另外, 缓控释型新剂型具有良好的开发价值。针对目前防治蝗虫应用成熟的高效低毒化学农药, 如拟除虫菊酯类^[37]、新烟碱类^[60]等常规农药开发新剂型, 能够显著克服原有助剂污染环境、有效利用率低的局限, 为蝗虫高效精准防控提

供有力支撑。

大力发展精准高效施药技术为蝗虫应急快速精准防控提供技术基础。利用红外传感和3D识别技术, 研发基于施药场景和靶标生物特征识别技术, 研制人工智能精准变量施药装备^[61-62]。蝗灾发生区面积大, 识别困难, 无人机遥感平台可以轻易实现大面积监测与防控。通过土壤特征及理化性质分析, 建立蝗卵密度、发育进度预测模型, 可以准确描述发生区及其蝗卵分布特征^[62-63]。既可以减少工作量, 又能弥补卫星遥感分辨率低的缺陷。无人机用于防治蝗虫单机一天作业量超过66.67 hm^2 , 实现省水90%、省药30%, 有效解决了漏喷、重喷的问题。对于局部高密度蝗群防治, 具有重要的应用价值^[64]。

蝗虫具有突发性、暴发性、迁飞性特征, 化学防治是应急治理的主要技术手段, 而有蝗无害, 实现生态系统平衡是未来蝗灾绿色可持续防控的理想目标, 因此, 应推广与应用绿色可持续防控技术。①构建蝗虫防治生态经济阈值, 蝗灾防控不能只考虑经济, 还要兼顾生态; ②化学防治要考虑与生物农药互补应用, 既可以快速压低蝗虫种群又能够实现持续。同时要保护天敌, 实现生态治理; ③实行分级分区策略, 应根据蝗灾的不同发生区域和危害程度采取相应的防治手段, 多种防治措施相结合建立蝗虫综合防控技术体系, 才能从根本上控制蝗害^[31, 65-66]。

此次沙漠蝗灾害引起世界各国的关注, 因涉及粮食安全、生态安全, 属全球公共事件。如果蝗灾导致粮食供给短缺, 势必会波及全球市场, 没有人能置身事外。现阶段, 草原蝗虫仍然是我国面临的重大威胁。如果草原生态遭到破坏, 将会造成结构性失衡, 进而引发草原沙化、荒漠化的恶性循环, 或导致生态移民。因此, 坚持“预防为主, 绿色防控, 系统平衡, 和谐共生”的新理念, 坚持“生态与经济并重, 生态优先”的防控策略, 是实现生态系统平衡、有蝗无害的根本保障。我们只有一个地球, 希望加强国际合作, 共同应对蝗虫灾害!

参考文献

- [1] 陈永林. 蝗虫再猖獗的控制与生态学治理[J]. 中国科学院院刊, 2000(5): 341-345.
- [2] 陈永林. 中国主要蝗虫及蝗灾的生态学治理[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 2-3.
- [3] 全国农业技术推广服务中心. 中国三千年气象记录总集[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 1-20.
- [4] 联合国粮食及农业组织. 沙漠蝗[EB/OL]. [2020-02-10]. <http://www.fao.org/locusts/zh/>.
- [5] 印展. 山东蝗虫分类研究[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2010.

- [6] CLAUDIO J B. Patterns in Orthoptera biodiversity. I. adaptations in ecological and evolutionary contexts[J]. *Journal of Insect Biodiversity*, 2014, 2(20): 1-39.
- [7] 中国动物志. 蝗虫种类检索数据[DB]. [2020-03-16]. <http://www.zoology.csdb.cn>
- [8] EDWARD W E. Interactions among grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) in entermountain grassland of western north America[J]. *Oikos*, 1995, 73(1):73-78.
- [9] CAPINERA J L. Insects in art and religion: the American southwest [J]. *American Entomologist*, 1993(4): 4.
- [10] NEVO D. The desert locust, *Schistocerca gregaria*, and its control in the land of israel and the near east in antiquity, with some reflections on its appearance in Israel in modern times[J]. *Phytoparasitica*, 1996, 24(1): 7-32.
- [11] NEVO D. Pests and diseases of agricultural crops and their control in Erez Israel during the Biblical and Mishna periods[D]. Ramat Gan, Israel: Bar-Ilan University, 1992.
- [12] BODENHEIMER F S. Animal and man in bible lands [M]. Brill, Leiden, Netherlands: Brill Archive, 1960: i-viii, 1-232.
- [13] ENSERINK M. Can the war on locusts be won?[J]. *Science*, 2004, 306(5703): 1880-1882.
- [14] BELAYNEH Y T. Acridid pest management in the developing world: a challenge to the rural population, a dilemma to the international community[J]. *Journal of Orthoptera Research*, 2005, 14(2): 187-195.
- [15] None. MADAGASCAR: Locust Plague[J]. *Africa Research Bulletin Economic Financial and Technical Series*, 2013, 50(3): 1991B-1910C.
- [16] FOOD A O. Food and agricultural organization of the United Nations: madagascar locus crisis[EB/OL]. [2020-02-20]. <http://www.fao.org/emergencies/crisis/madagascar-locust/en>
- [17] 杨忠岐. 正确看待印度和巴基斯坦发生的蝗灾. 人民政协报[EB/OL]. [2020-02-20]. <http://mobile.rmzxb.com.cn/tranm/index/url/www.rmzxb.com.cn/c/2020-02-19/2524035.shtml>.
- [18] 徐光启. 农政全书[M]. 北京: 中华书局, 1956: 916-917.
- [19] 陈永林. 中国的飞蝗研究及其治理的主要成就[J]. *昆虫知识*, 2000(1): 50-59.
- [20] 施和金. 论中国历史上的蝗灾及其社会影响[J]. *南京师大学报(社会科学版)*, 2002(2): 148-154.
- [21] 周尧. 中国昆虫学史[M]. 上海: 昆虫分类学报社, 1980: 52-83.
- [22] 曹骥, 李光博. “五一”标准治蝗饵料: 初步解决了治蝗饵料的问题[J]. *中国农业科学*, 1951(5): 3-4.
- [23] 邱式邦, 李光博, 郭守桂. 一九五二年推广毒饵治蝗的结果[J]. *中国农业科学*, 1953(2): 54-55.
- [24] 陈建峰, 杨怀文. 回眸中国植物保护学会首位“植物保护终身成就奖”获得者: 邱式邦院士的科研工作足迹[J]. *中国生物防治学报*, 2011, 27(1): 140-144.
- [25] 马世骏. 根除蝗害的阶段性问题[J]. *科学通报*, 1965(12): 1072-1077.
- [26] 严毓骅. 害虫防治新方向应用替代性防治措施走向害虫持续治理[C]//农业部全国农业技术推广服务中心、中国昆虫学会. 中国有害生物综合治理论文集. 昆明: 农业部全国农业技术推广服务中心、中国昆虫学会 中国植物保护学会生物入侵分会, 1996: 97-100.
- [27] 严毓骅. 微孢子虫治蝗技术的进展 [C]//中国农业科学院生物防治研究所. 全国生物防治学术讨论会论文集. 昆明: 中国农业科学院生物防治研究所, 中国植物保护学会生物入侵分会, 1991: 31-33.
- [28] 李鸿昌, 邱星辉. 中国北方草地蝗虫学研究概况[J]. *昆虫知识*, 1992(3): 149-152.
- [29] WANG X, KANG L. Molecular mechanisms of phase change in locusts[J]. *Annual Review of Entomology*, 2013, 59(1): 225.
- [30] 张龙. 蝗虫微孢子虫及其在蝗害治疗中的作用[J]. *生物学通报*, 1999, 34(2): 11-12.
- [31] 张泽华, 黄训兵, 高文渊. 草原蝗虫基础生物学研究与方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
- [32] 魏峰, 董元华. DDT引发的争论及启示[J]. *土壤*, 2011, 43(5): 698-702.
- [33] Connin R V, Kuitert L C. Control of the American grasshopper with organic insecticides in Florida[J]. *Journal of Economic Entomology*, 1952, 45: 684-687.
- [34] 张默. 常见杀虫剂的分类与科学选用[J]. *河北果树*, 2001(1): 33-34.
- [35] DAVIS R M, SKOLD M D, BERRY J S, et al. The economic threshold for grasshopper control on public rangelands[J]. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 1992, 17(1): 56-65.
- [36] 李允东, 黄九根, 阎洪纪, 等. 用飞机喷洒有机磷超低容量制剂防治蝗虫[J]. *昆虫学报*, 1982(3): 275-283.
- [37] JOHNSON D L, HILL B D, HINKS C F, et al. Aerial application of the pyrethroid deltamethrin for grasshopper (orthoptera: acrididae) control[J]. *Journal of Economic Entomology*, 2014(1): 181-188.
- [38] 张泉. 不同农药混配防治草原蝗虫的效果[J]. *新疆农业科学*, 1990(4): 172.
- [39] 赵玲, 王登元, 赵莉, 等. 新疆蝗虫的研究进展[J]. *新疆农业科学*, 2012, 49(7): 1212-1223.
- [40] 陈净彤, 肖宏伟, 林俊. 草原蝗虫化学防治与生物制剂防治示范区的调查研究[J]. *新疆畜牧业*, 2012(9): 44-45; 57.
- [41] 中国农药信息网. 农药登记数据[DB]. [2020-03-16]. <http://www.chinapesticide.org.cn/hysj/index.jhtml>.
- [42] MARTIN P A, JOHNSON D L, FORSYTH D J, et al. Effects of two grasshopper control insecticides on food resources and reproductive success of two species of grassland songbirds [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2000, 19(12): 2987-2996.
- [43] WIKTELIUS S, ANDRÖ J, Fransson T. Desert Locust control in ecologically sensitive areas: need for guidelines[J]. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2003, 32(7): 463-468.
- [44] 赵艳萍, 倪根金. 民国时期药械治蝗技术的引入与本土化[J]. *南京农业大学学报(社会科学版)*, 2013, 13(2): 116-122.
- [45] 张祥丹, 刘国光. 锐劲特在环境中的降解及其毒理学研究进展[J]. *环境与健康杂志*, 2009, 26(8): 749-751.
- [46] 高占林, 潘文亮, 安建辉, 等. 吡虫啉防治草原蝗虫研究初报[C]//高占林. 河北省植物保护学会2004年会员代表大会. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004: 199-201.
- [47] 李华宇, 董建国, 赵亚冰, 等. 草原大面积灭鼠对草原鸟类数量变化的影响[J]. *中国地方病防治杂志*, 2013, 28(2): 114-115
- [48] 潘立刚, 陶岭梅, 张兴. 农药悬浮剂研究进展[J]. *植物保护*, 2005, 31(2): 17-20.
- [49] 陈金, 龚道新, 彭祜, 等. 氯溴异氰尿酸对植烟土壤酶活性的影响[J]. *浙江农业科学*, 2012(4): 477-479.
- [50] 袁志华, 程波, 常玉海, 等. 15%多效唑可湿性粉剂对土壤微生物多样性的影响研究[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(5): 1848-1852.
- [51] 傅泽田, 祁力钧. 国内外农药使用状况及解决农药超量使用问题的途径[J]. *农业工程学报*, 1998, 14(2): 13-18.
- [52] 杨红军, 王东升, 张立顺, 等. 东亚飞蝗对马拉硫磷抗性研究初报

(下转第33页)

500 L/hm²,履带速度1.48 km/h)。试验设3次重复。试材处理后置于操作大厅自然阴干,放于温室内按常规方法管理,观察并记录杂草对药剂的反应情况,处理后定期目测供试药剂对杂草的防除效果,用0~100%来表示,以“0”代表无防效,“100%”代表完全杀死。

3.2 实验结果

对百日草、苘麻、金色狗尾草和稗草进行室内活性筛选(表3),tolpyralate在150 g/hm²有效剂量下对百日草和苘麻的防效均达到98%。

表3 Tolpyralate 除草活性数据

剂量/ (g·hm ⁻²)	除草效果/%			
	百日草	苘麻	金色狗尾草	稗草
600	100	100	90	90
150	98	98	80	80

4 结果与讨论

笔者简要阐述了tolpyralate的合成,并对其除草活性进行试验研究。在文献报道tolpyralate的合成路线中,中间体m1须原料在三氯化铁的作用下经傅克酰基化反应制得,反应温度较高,操作繁琐;中间体m3须中间体m2在钨碳的催化下,与一氧化碳经高温高压反应制得,反应条件苛刻,操作复杂且具有一定危险性。笔者所提tolpyralate的合成以2-氟-3-甲基苯胺为起始原料,经过6步反应制得目标物。该路线中反应条件温和,安全可控,操作简便。目标产物结构通过¹H NMR及HRMS得到确证。除草活性测试结果表明,tolpyralate对百日草、苘麻、金色狗尾草和

稗草均具有优异的除草活性,在有效成分为150 g/hm²剂量下对百日草和苘麻的防效可达到98%。

参考文献

- [1] KIKUGAWA H, SATAKE Y, TONKS D J, et al. A new post-emergence herbicide for weed control in corn[R]. Lexington, KY, United States: 55th Annual Meeting of the Weed Science Society of America, 2015.
- [2] SUGANUMA T, NAITO Y. Herbicidal composition containing carotenoid biosynthesis inhibitor and fat biosynthesis inhibitor: WO, 2019171918[P]. 2019-09-12.
- [3] BICKERS U, DITTGEN J, AULER T, et al. Method of reducing crop damage by treating the seed of the crop with herbicide/safener before sowing: WO, 2019166403[P]. 2019-09-06.
- [4] 金涛,彭学岗,赵德,等. 包含嘧啶甲酰基胍类化合物的除草组合物: CN, 109964943[P]. 2019-07-05.
- [5] METZGER, B A. Evaluation of tolpyralate for weed management in field corn (*Zea mays* L.)[D]. Guelph, Ontario, Canada: McLaughlin Library, University of Guelph, 2019.
- [6] TSUKAMOTO M, KIKUGAWA H, NAGAYAMA S, et al. Pyrazole compounds, process for their production and herbicides containing them: WO, 2009142318[P]. 2009-11-26.
- [7] STEPHANE J, ANDREW J F E, CLEMENS L, et al. Synthetic approaches to the 2010-2014 new agrochemicals[J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 2016, 24(3): 317-341.
- [8] CABIDDU M G, CABIDDU S, CADONI E, et al. Metallation reactions. XXV. A re-examination of the metalation reaction of (alkylthio) fluorobenzenes[J]. Journal of Fluorine Chemistry, 1999, 98(2): 97-106.
- [9] NAGANATHAN S, ANDERSEN D L, ANDERSEN N G, et al. Process development and scale-up of a benzoxazepine-containing kinase inhibitor[J]. Organic Process Research & Development, 2015, 19(7): 721-734.

(责任编辑:范小燕)

(上接第5页)

- [J]. 植保技术与推广, 2002(8): 11-12; 16.
- [53] 杨美玲. 东亚飞蝗对有机磷杀虫剂的抗性及其机理研究[D]. 太原: 山西大学, 2008.
- [54] 傅泽田, 祁力钧, 王俊红. 精准施药技术研究进展与对策[J]. 农业机械学报, 2007, 38(1): 189-192.
- [55] 张龙. 国内外蝗害治理技术现状与展望[J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(4): 804-810.
- [56] ZAINAB A S A, MANFRED H. Plant oil mixtures as a novel botanical pesticide to control gregarious locusts[J]. Journal of Pest Science, 2020, 93(2): 341-353.
- [57] 刘刚. 甲羟基孕酮和虱螨脲均对橘小实蝇有显著的化学不育效果[J]. 农药市场信息, 2019(13): 50.
- [58] GHAZAWY N A, RAHMAN H H A M A. Effects of azadirachtin on embryological development of the desert locust *Schistocerca gregaria* forsk? (Orthoptera: Acrididae)[J]. Journal of Orthoptera Research, 2010, 19(2): 327-332.
- [59] HAO K, JARWAR A R, ULLAH H, et al. Transcriptome sequencing reveals potential mechanisms of the maternal effect on egg diapause induction of *Locusta migratoria*[J]. International Journal of

Molecular Sciences, 2019, 20(8): 1-19.

- [60] 程根武. 新烟碱类杀虫剂及使用[J]. 新农业, 2007(3): 46.
- [61] TU X B, LI Z H, ZHANG Z H, et al. The potential geographical distribution of *Locusta migratoria tibetensis* chen (Orthoptera: Acrididae) in Qinghai-Tibet Plateau[J]. International Federa Information Proceeding, 2013: 343-351.
- [62] GÓMEZ D, SALVADOR P, SANZ J, et al. Desert locust detection using earth observation satellite data in mauritania[J]. Journal of Arid Environments, 2019, 164: 29-37.
- [63] RIFAAT A, MARWA E. Artificial intelligence and WebGIS for disaster and emergency management: IEREK interdisciplinary series for sustainable development[M]. Springer: Cham, 2019: 57-62.
- [64] 何雄奎. 我国植保无人机喷雾系统与施药技术[J]. 农业工程技术, 2018, 38(9): 33-38.
- [65] TU X B, LI Z H, WANG J, et al. Improving the degree-day model for forecasting locusta migratoria manilensis (meyen) (orthoptera: acridoidea)[J]. PLoS ONE, 2014, 9(3): 1-12.
- [66] 马崇勇, 杜桂林, 张卓然, 等. 内蒙古草原蝗虫区划及其绿色防控配套技术研究[J]. 草地学报, 2018, 26(4): 17-23.

(责任编辑:范小燕)