

草地贪夜蛾到底有多“贪”

石旺鹏*

(中国农业大学植物保护学院昆虫学系, 农业农村部作物有害生物监测与绿色防控重点实验室, 北京 100193)

摘要: 草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 被认为是世界上最具破坏性的害虫之一。其巨大的破坏性主要源于其具有贪吃、贪育、贪婪、广适、耐药等特性。治“贪”就是要利用它的贪性发展出一系列的治理措施和技术, 使得其贪性难以发挥, 将其种群密度控制在经济为害水平以下, 以保障作物生产和生态安全。

关键词: 贪性; 草地贪夜蛾; 有害生物综合治理

How greedy are the fall armyworm?

SHI Wangpeng*

(Department of Entomology and MOA Key Lab of Pest Monitoring and Green Management, College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Fall armyworm is considered to be one of the most destructive pests in the world. Its great destructiveness is mainly due to its being gluttonous, greed, wide adaptability, pesticide resistance and other characteristics. To control fall armyworm is to use its greed to develop a series of control measures and technologies, which make it difficult to achieve its greed, control its population density below the level of economic damage, and ensure crop production and ecological security.

Key words: greedy; fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*); integrated pest management (IPM)

草地贪夜蛾隶属节肢动物门 Arthropoda 昆虫纲 Insecta 鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae 灰翅夜蛾属 *Spodoptera*, 目前认可种名为 *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797), 主要异名有 *Phalaena frugiperda* Smith 1797、*Laphygma macra* Guenée, 1852、*Laphygma frugiperda* Guenée, 1852、*Laphygma inepta* Walker, 1856、*Prodenia signifera* Walker, 1856、*Prodenia plagiata* Walker, 1856、*Prodenia plagiata* Walker, 1856、*Prodenia autumnalis* Riley, 1871、*Laphygma frugiperda* var. *fulvosa* Riley, 1876、*Laphygma frugiperda* var. *obscura* Riley, 1876; 最常用英文名称为 fall armyworm, 其他英文名称有 southern grass worm、southern grass-worm、alfalfa worm、buckworm、budworm、corn budworm、corn leafworm、cotton leaf worm、grass caterpillar、grass worm、maize budworm、overflow worm、rice caterpillar、southern armyworm、wheat cutworm、

whorlworm 等 30 多个; 缩写为 FAW; EPPO 码为 LAPHFR (Abrahams et al., 2017)。

草地贪夜蛾最早发现于美洲, 其在那儿被发现和为害已经有 200 多年; 2016 年首次在非洲中部和西部被发现, 2017 年入侵亚洲多国, 2018 年 8 月联合国粮农组织向全球发出草地贪夜蛾入侵为害预警, 2019 年 1 月入侵中国 (Ganiger et al., 2018; FAO, 2019)。以前美洲以外的人们对这种害虫知之甚少, 入侵亚非以后才逐渐开始认识和了解它, 寻找与之相处的对策, 知己知彼才能百战不殆; 但是要正真了解它还需要很长的路要走, 本文对该虫的“贪”性进行了概括和分析, 以期为进一步开展草地贪夜蛾的研究和防控提供参考。

1 贪食性

草地贪夜蛾是多食性害虫, 几乎可以取食任何

基金项目: 国家重点研发计划 (2019YFD0300100)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: wpshi@cau.edu.cn

收稿日期: 2020-08-13

植物类群,包括草本、藤本、木本等,但是其对禾本科植物有特定的偏好(Casmuz et al., 2010)。草地贪夜蛾为害记录较多的是野生或人工栽培的草本植物,如玉米、水稻、高粱、甘蔗等,最近报道其可以取食353种植物,来自于76科,主要包括禾本科(106种)、菊科(31种)、豆科(31种)等(Montezano et al., 2018)。1头草地贪夜蛾就可以破坏一整株玉米,因为其可以取食植物的各个器官,在作物的各个生育期都有破坏作用,如在苗期躲在心叶里取食,在营养生长期可取食生长点、叶片和茎,甚至从茎基部切断植株等,在花期可为害花丝、花蕊和穗,在果期可以从外面取食或钻蛀进入果实内为害。有报道称,当草地贪夜蛾对玉米的为害株率达26.4%~55.9%时,其产量减少11.57%(Baudron et al., 2019);如果有25%~50%的玉米叶片、花丝和穗受害,其产量将减少58%(Chimweta et al., 2020);如果在玉米的心叶中期至末期有55%~100%植株受害,将导致15%~73%的产量损失(Hruska & Gould, 1997);在非洲中部和西部,因为自然控害能力不足,草地贪夜蛾幼虫对玉米为害更严重(IITA, 2016)。

2 贪育性

草地贪夜蛾属于完全变态类昆虫,其生活史包括卵、幼虫、蛹和成虫4个发育时期,在夏季完成生活史需要约30 d,春季和秋季需要约60 d,冬季需要约90 d,发育起点温度为10.9℃,所需积温为559日·度;化蛹的阈值温度为14.6℃,成虫羽化的阈值温度为30℃。在热带地区草地贪夜蛾每年可以发生4~6代,而在北方低温地区每年繁育1~2代(Luginbill, 1928)。草地贪夜蛾多在夜间进行迁飞、交配和产卵,雌成虫可以多次交配产卵,夜晚成堆产卵于寄主下部叶片背面,有时2层,表面覆盖一层保护层刚毛,卵粒大小为0.3 mm×0.4 mm,每堆包含100~300粒卵,1头雌虫总产卵量可达1 500~2 000粒,卵期为2~10 d,在夏季卵期为2~3 d,刚孵化出来的幼虫群聚为害嫩叶,造成很多窗口或仅剩叶脉(Sparks, 1979)。草地贪夜蛾幼虫一般分6个龄期,幼虫期在夏季为14 d,在春秋两季为30 d;1~6龄幼虫的头宽分别为0.35、0.45、0.75、1.3、2.0和2.6 mm,体长分别为1.7、3.5、6.4、10.0、17.2和34.2 mm,25℃下的平均发育历期分别为3.3、1.7、1.5、1.5、2.0和3.7 d;草地贪夜蛾老熟幼虫一般进入土壤中2~8 cm处结茧化蛹,沙质黏土或黏质沙土适合其化蛹和羽化,羽化率与土壤温度成正比,与土壤湿度成反比;草地贪夜蛾蛹发育所需最低温度为14.6℃,所需积温为138日·度,超过

30℃翅发育畸形,蛹期在夏季为8~9 d,在冬季为20~30 d;草地贪夜蛾成虫多在炎热潮湿的夜晚羽化,羽化交配后3~4 d开始产卵,往往迁移很长距离后异地产卵,产卵高峰是开始产卵的前4~5 d,可以持续产卵3周,成虫寿命为7~21 d,平均存活12~14 d(Ramirez-Garcia et al., 1987; Ashley et al. 1989)。

3 贪婪性

草地贪夜蛾是典型的侵略性害虫,在美洲每年都会定期迁移,每年的夏季都会扩散到美国全境并进入加拿大南部等地区(Westbrook et al., 2016),侵略迁移已经进化为草地贪夜蛾生活史策略中的一个主要组成部分,未性成熟的雌成虫往往借助低空气流迁移到合适的地区产卵。在夏末秋初,幼虫常常成群局部扩散,以便降低幼虫死亡率。草地贪夜蛾幼虫通过隐藏在水果、蔬菜或者草本观赏植物中随飞机或轮船到达欧洲(Seymour et al., 1985)。2016年被发现入侵非洲后,因为其具有强大的飞行能力而迅速扩散,2017年又被发现迅速入侵蔓延到印度洋诸岛和亚洲多个国家,2019年初被发现入侵中国后迅速扩散到大部分省区。单靠借助风力飞行可能不足以让草地贪夜蛾成虫穿越大西洋或印度洋,可能还包括随植物商品被携带到其它地区(Goergen et al., 2016; Cock et al., 2017; EPPO, 2019)。截至2020年6月,草地贪夜蛾已经在北美洲32个国家、南美洲13个国家、非洲47个国家、亚洲18个国家、欧洲4个国家和澳大利亚被发现(EPPO, 2020)。因草地贪夜蛾贪婪入侵的本质,加上其幼虫扩散能力强、成虫迁移能力强、对环境的高度适应性、可在任何地方栖息、可容忍不同栽培制度和取食压力、可开拓新领地、耐受阴冷、食性杂、增殖能力强、发育速度快和遗传变异性高等特性,所以其进一步入侵扩散的风险始终存在。草地贪夜蛾入侵会破坏当地的生态系统,改变生态系统的营养级、使栖息地发生改变、为害寄主植物、增加生态系统的脆弱性、影响农业和畜牧业甚至是传统习俗和国际贸易关系等,因此,应该加强对草地贪夜蛾的国际联合监测和防控,阻止其进一步扩散为害(IPPC, 2020)。

4 广适性

草地贪夜蛾一方面贪图适宜的环境来繁衍扩张,另一方面对各种环境和气候条件具有极强的适应能力。草地贪夜蛾能适应南纬35°到北纬54°之间的各类栖息地,包括农田、温室、林场、果园、植物园、草场、牧场、集约化畜牧生产系统、生态干预地

区、轨道、路边、郊区、城乡结合部、原始森林、天然草场、河畔、湿地、灌木丛、干旱地区等;同时也可适应8.2℃的绝对最低温度、17℃的年平均温度、30℃的最热月平均最高气温、7℃的最冷月平均最低气温的温度条件以及3~7个月的持续旱季(降雨量<40 mm的连续月数)、0~400 mm的平均年降雨量的降水条件(Sparks, 1979; Ashley et al., 1989)。草地贪夜蛾在热带/高温气候(平均最低温度18℃以上,年降雨量1 500 mm)、热带雨林气候(月降雨量60 mm)、热带季风气候、热带干旱草原气候、热带干湿草原气候、干旱半干旱气候、草原气候、沙漠气候、温带/中温带气候、夏季干燥暖温带气候、冬季干燥暖温带气候和终年潮湿暖温带气候等各种气候条件下都能保证种群的持续发生和发展(Jacobs et al., 2018)。

5 耐药性

化学农药一开始被认为是抗击草地贪夜蛾蔓延的法宝,但现实很残酷,化学农药不仅没有阻止其进一步扩散、发展和蔓延,还促进了草地贪夜蛾的进化,使得其越来越强大,对数十种化学农药的耐药性目前已达到空前的强度。Young & McMillian (1979)首次报道了美国乔治亚州玉米田的草地贪夜蛾对氨基甲酸酯类化学农药西维因产生了562倍的抗性;之后,Yu (1991; 1992)报道了佛罗里达州北部的草地贪夜蛾对多种氨基甲酸酯类、有机磷类、拟除虫菊酯类均产生了很高的抗性,其中对氟胺氰菊酯的抗性达到216倍,对甲基对硫磷的抗性为271倍,对西维因的抗性超过192倍;佛罗里达州南部和中部的草地贪夜蛾显示了更高的抗药性,其对氟胺氰菊酯的抗性达到264倍,对甲基对硫磷的抗性达到517倍,对西维因的抗性超过507倍。据报道,2001年,委内瑞拉的草地贪夜蛾对氯氟氰菊酯和灭多威的抗性分别达到40倍和2倍以上(Morillo & Notz, 2001);2003年,美国佛罗里达州的草地贪夜蛾对甲基对硫磷的抗性达到354倍(Yu et al., 2003);2013年,巴西田间的草地贪夜蛾对毒死蜱的抗性达到18倍,对氯氟氰菊酯的抗性达到28倍(Carvalho et al., 2013);2020年,美国佛罗里达州的草地贪夜蛾对联苯菊酯的抗性达到436倍(Rabelo et al., 2020)。草地贪夜蛾对化学农药产生抗性的原因是其增强了体内多种解毒酶的活性,提高其分解代谢杀虫剂的能力,如谷胱甘肽S转移酶(glutathione S-transferase, GST)、细胞色素P450氧化酶(cytochrome P450, P450)、羧酸酯酶(carboxylesterase, CE)等,同时化学农药作用的靶标位点发生突变,降低了靶标位点对农药的敏感性,

如菊酯类农药的靶标位点电压门控钠离子通道(voltage gated sodium channel, VGSC)和有机磷农药的靶标位点乙酰胆碱酯酶(acetylcholinesterase, AChE)等(Carvalho et al., 2013)。2001年,对草地贪夜蛾具有较好控制作用的转*Cry1F*抗虫基因玉米被批准种植,大大减少了化学农药的使用。如2003年波多黎各开始大面积商业化种植转*Cry1F*抗虫基因玉米,但是到2006年就发现草地贪夜蛾对其产生了严重抗性,抗性倍数达到1 000倍以上,而且逐年增加,最后只能停止种植(Storer et al., 2010)。

6 治“贪”

治理草地贪夜蛾不能盲目使用化学合成农药,尤其是广谱高毒的化学农药,除非超过5%的玉米幼苗被切断或20%的玉米心叶被入侵或者高粱每片心叶有1~2头幼虫,否则不提倡采用化学农药防治,因为连续多次重复用药会促进草地贪夜蛾对主要化学农药产生抗性,也会因杀伤天敌而引起自然控制作用下降(King & Saunders, 1984; Pitre, 1985)。本文简述了治理草地贪夜蛾的策略、方法和技术。

栽培控制:主要通过清洁栽培即生产的每个环节与控制环境污染相结合、除去过多杂草等,从而破坏幼虫和蛹的越冬环境,减少越冬虫源的数量。

生态调控:一是采用可持续的土壤肥力管理,特别是保持或恢复土壤有机碳的措施;二是间作适当的伴生植物;三是通过在多个空间尺度上管理(半)自然栖息地,使农场环境多样化(Harrison et al., 2019)。“推拉”防治策略就是利用了草地贪夜蛾贪食的特点,一方面种植陷阱植物,如臂形草和大黍等,诱集其产卵,然后集中杀死;另一方面间作驱避其产卵的植物,如土荆芥、万寿菊和菽麻等,可以大大减少农作物上草地贪夜蛾的数量和密度;“推拉”系统已被证明可以减少草地贪夜蛾为害玉米(Midega et al., 2018);在乌干达的试验证明,玉米与食用豆类作物间作可将草地贪夜蛾为害程度降低30%,与菜用大豆间作可将其为害程度降低21%,与花生间作可将其为害程度降低31%(Hailu et al., 2018)。

生物防治:生物防治是最重要的绿色防控措施,自然情况下,寄生性天敌昆虫对草地贪夜蛾幼虫的寄生率可达20%~70%,目前发现能够有效寄生草地贪夜蛾幼虫或卵的寄生性天敌51种,其中4种寄生蝇被实践应用、19种寄生蜂被推广应用(Shylesha et al., 2018)。N-(17-羟基亚油酸基)-L-谷氨酰胺是鳞翅目幼虫口腔分泌物volicitin,其应用到玉米叶片上,玉米苗被刺激后会释放他感信息物质来吸引草

地贪夜蛾幼虫的寄生蜂盘绒茧蜂 *Cotesia marginiventris*, 可以显著调节作物、害虫和天敌之间的关系, 保护作物免受为害 (Alborn et al., 1997)。当前明确能够捕食草地贪夜蛾的捕食性天敌 19 种, 只有 1 种被推广应用, 即蠋螋。自然条件下有 10%~15% 的草地贪夜蛾幼虫被病原微生物寄生致死 (Kenis et al., 2019)。当前已经明确对草地贪夜蛾有致病作用的病原菌 19 种, 其中 4 种被推广应用, 即白僵菌 *Beauveria bassiana*、绿僵菌 *Metarhizium lepidiotae*、莱氏野村菌 *Nomuraea rileyi*、虫疫霉 *Erynia* sp.; 昆虫病毒是有潜力作为草地贪夜蛾防控的生物制剂, 主要是杆状病毒类, 如核型多角体病毒是最具应用潜力的病毒, 其具有高度的寄主特异性, 对其它有益生物无害 (Haase et al., 2015); 白僵菌和绿僵菌也显示对草地贪夜蛾的卵和 2 龄幼虫有明显的防治效果 (Akutse et al., 2019)。

植物源药剂: 印楝素对草地贪夜蛾是有效的, 氧化苦参碱和苦参碱也被报道可以有效防治草地贪夜蛾, 除虫菊酯被登记用于防治草地贪夜蛾, 但是对非靶标生物有风险; 炮弹树、龙神柱、金腰箭和羽扇豆的提取物对草地贪夜蛾幼虫和成虫有明显的控制效果 (Reed & Majumdar, 1998; Duarte et al., 2020)。

信息素: 草地贪夜蛾性信息素含有 (Z)-9-十四烷基乙酸酯 (Z-9-14:OAc), 在田间高浓度释放可以干扰草地贪夜蛾的正常交配, 抑制其种群增长 (Klun et al., 1996)。

综合防治: 综合防治是最有效的策略, 可以通过破坏越冬地点的栽培措施、结合常规农业措施保护和利用天敌、培育抗虫品种或引进新的转抗虫基因作物, 减少杀虫剂的施用量和施用频次, 以实现对草地贪夜蛾的综合治理。

草地贪夜蛾作为世界性的重大害虫, 其贪婪的特性不仅仅表现在取食面广、生育力强、侵略性明显、扩散迁移快等方面, 还表现在其环境适应性强和对化学农药高抗性等方面, 如果想要全面了解草地贪夜蛾有关取食、求偶、繁殖、入侵、抗药性等方面的信息, 可以阅读本专期的相关文章。

参 考 文 献 (References)

- ABRAHAM P, BATEMAN M, BEALE T, COLOTTEY V, COCK M, COLMENAREZ Y, CORNIANI N, DAY R, EARLY R, GODWIN J, et al. 2017. Fall armyworm: impacts and implications for Africa, evidence note (2), September 2017. Wallingford, UK: CAB International
- AKUTSE KS, KIMEMIA JW, EKESI S, KHAMIS FM, OMBURA OL, SUBRAMANIAN S. 2019. Ovicidal effects of entomopathogenic fungal isolates on the invasive fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Applied Entomology*, 143: 626–634
- ALBORN HT, TURLINGS TCJ, JONES TH, STENHAGEN G, LOUGHRIN JH, TURLINSON JH. 1997. An elicitor of plant volatiles from beet armyworm oral secretion. *Science*, 276 (5314): 945–949
- ASHLEY TR, WISEMAN BR, DAVIS FM, ANDREWS KL. 1989. The fall armyworm: a bibliography. *Florida Entomologist*, 72(1): 152–202
- BAUDRON F, ZAMAN-ALLAH MA, CHAIPA I, CHARI N, CHINWADA P. 2019. Understanding the factors conditioning fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith) infestation in African smallholder maize fields and quantifying its impact on yield: a case study in eastern Zimbabwe. *Crop Protection*, 120: 141–150
- CARVALHO RA, OMOTO C, FIELD LM, WILLIAMSON MS, BASS C. 2013. Investigating the molecular mechanisms of organophosphate and pyrethroid resistance in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *PLoS ONE*, 8(4): e622684
- CASMUZ A, JUÁREZ ML, SOCÍAS MG, MURÚA MG, PRIETO S, MEDINA S, WILLINK E, GASTAMINZA G. 2010. Review of the host plants of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 69(3/4): 209–231
- CHIMWETA M, NYAKUDYA IW, JIMU L, MASHINGAIDZE AB. 2020. Fall armyworm [*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)] damage in maize: management options for flood-recession cropping smallholder farmers. *International Journal of Pest Management*, 66(2): 142–154
- COCK MJW, BESEH PK, BUDDIE AG, CAFÁ G, CROZIER J. 2017. Molecular methods to detect *Spodoptera frugiperda* in Ghana, and implications for monitoring the spread of invasive species in developing countries. *Scientific Reports*, 7(1): 4103
- DUARTE JP, REDAELLI LR, SILVA CE, JAHNKE SM. 2020. Effect of *Azadirachta indica* (Sapindales: Meliaceae) oil on the immune system of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) immatures. *Journal of Insect Science*, 20(3): 17–18
- EPPO. 2019. *Spodoptera frugiperda* continues to spread in Asia.//EPPO Reporting Service, No. 2019/053. Paris, France: EPPO. <https://gd.eppo.int/reporting/article-6483>
- EPPO. 2020. EPPO global database.//EPPO Global database. Paris, France: EPPO
- FAO. 2019. Briefing note on FAO actions on fall armyworm. Rome, Italy: FAO. <http://www.fao.org/3/a-bs183e.pdf>
- GANIGER PC, YESHWANTH HM, MURALIMOHAN K, VINAY N, KUMAR ARV, CHANDRASHEKARA K. 2018. Occurrence of the new invasive pest, fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), in the maize fields of Karnataka, India. *Current Science*, 115(4): 621–623
- GOERGEN G, KUMAR PL, SANKUNG SB, TOGOLA A, TAMÒ M. 2016. 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. *PLoS ONE*, 11(10): e0165632

- HAASE S, SCIOCCO-CAP A, ROMANOWSKI V. 2015. Baculovirus insecticides in Latin America: historical overview, current status and future perspectives. *Viruses*, 7(5): 2230–2267
- HAILU G, NIASSE S, ZEYAU KR, OCHATUM N, SUBRAMANIAN S. 2018. Maize-legume intercropping and push-pull for management of fall armyworm, stemborers and striga in Uganda. *Agronomy Journal*, 110(6): 1–10
- HARRISON RD, THIERFELDER C, BAUDRON F, CHINWADA P, MIDEGA C, SCHAFFNER U, VAN DEN BERG J. 2019. Agroecological options for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) management: providing low-cost, smallholder friendly solutions to an invasive pest. *Journal of Environmental Management*, 243: 318–330
- HRUSKA AJ, GOULD F. 1997. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea lineolata* (Lepidoptera: Pyralidae): impact of larval population level and temporal occurrence on maize yield in Nicaragua. *Journal of Economic Entomology*, 90(2): 611–622
- IITA. 2016. First report of outbreaks of the “Fall Armyworm” on the African continent. IITA Bulletin, No. 2330. <http://bulletin.iita.org/index.php/2016/06/18/first-report-of-outbreaks-of-the-fall-armyworm-on-the-african-continent/>
- IPPC. 2020. First detection of *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm) in Torres Strait. Rome, Italy: FAO. <https://www.ippc.int/>
- JACOBS A, VAN VUUREN A, RONG IH. 2018. Characterisation of the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) from South Africa. *African Entomology*, 26(1): 45–49
- KENIS M, DU PLESSIS H, VAN DEN BERG J, BA MN, GOERGEN G, KWADJO KE, BAOU I, TEFERA T, BUDDIE A, CAFÀ G, et al. 2019. *Telenomus remus*, a candidate parasitoid for the biological control of *Spodoptera frugiperda* in Africa, is already present on the continent. *Insects*, 10(4): 92
- KING ABS, SAUNDERS JL. 1984. The invertebrate pests of annual food crops in Central America.//A guide to their recognition and control. London, UK: Overseas Development Administration
- KLUN JA, POTTS WJE, OLIVER JE 1996. Four species of noctuid moths degrade sex pheromone by a common antennal metabolic pathway. *Journal of Entomological Science*, 31(4): 404–413
- LUGINBILL P. 1928. The fall army worm. United States Department of Agriculture Technology Bulletin No. 34, pp. 91
- MIDEGA CAO, PITTCAR JO, PICKETT JA, HAILU GW, KHAN ZR. 2018. A climate-adapted push-pull system effectively controls fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J E Smith), in maize in East Africa. *Crop Protection*, 105: 10–15
- MONTEZANO DG, SPECHT A, SOSA-GÓMEZ DR, ROQUE-SPECHT VF, SOUSA-SILVA JC, PAULA-MORAES SV, PETERSON JA, HUNT TE. 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, 26(2): 286–300
- MORILLO F, NOTZ A. 2001. Resistance of *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) to lambda-cyhalothrin and methomyl. *Entomotropica*, 16(2): 79–87
- PITRE HN. 1985. Insect problems on sorghum in the USA.//Leuschner K, Teetes GL. Proceedings of the international sorghum entomology workshop, 15–21 July 1984, Texas A & M University, College Station, Texas, USA. Patancheru, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, pp. 73–81
- RABELO MM, PAULA-MORAES SV, PEREIRA EJG, SIEGFRIED BD. 2020. Contrasting susceptibility of lepidopteran pests to diamide and pyrethroid insecticides in a region of overwintering and migratory intersection. *Pest Management Science*, DOI: 10.1002/ps.5984
- RAMIREZ-GARCIA L, BRAVO MOJICA H, LLANDERAL CAZARES C. 1987. Development of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) under different conditions of temperature and humidity. *Agrociencia*, 67: 161–171
- REED E, MAJUMDAR SK. 1998. Differential cytotoxic effects of azadirachtin on *Spodoptera frugiperda* and mouse cultured cells. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 89(3): 215–221
- SEYMOUR PR, ROBERTS H, DAVIS ME. 1985. Insects and other invertebrates found in plant material imported into England and Wales, 1984. Reference Book, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, UK, No. 442/84
- SHYLESHA A, JALAL SK, GUPTA A, VARSHNEY R, VENKATESAN T, SHETTY P, OJHA R, GANIGER PC, NAVIK O, SUBAHARAN K, et al. 2018. Studies on new invasive pest *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and its natural enemies. *Journal of Biological Control*, 32(3): 201–211
- SPARKS AN. 1979. A review of the biology of the fall armyworm (Lepidoptera, Noctuidae). *Florida Entomologist*, 62(2): 82–87
- STORER NP, BABCOCK JM, SCHLENZ M, MEADE T, THOMPSON GD, BING JW, HUCKABA RM. 2010. Discovery and characterization of field resistance to Bt maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. *Journal of Economic Entomology*, 103(4): 1031–1038
- WESTBROOK JK, NAGOSHI RN, MEAGHER RL, FLEISCHER SJ, JAIRAM S. 2016. Modeling seasonal migration of fall armyworm moths. *International Journal of Biometeorology*, 60(2): 255–267
- YOUNG JR, MCMILLIAN WW. 1979. Differential feeding by two strains of fall armyworm larvae on carbaryl surfaces. *Journal of Economic Entomology*, 72(2): 202–203
- YU SJ. 1991. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 39(1): 84–91
- YU SJ. 1992. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 85(3): 675–682
- YU SJ, NGUYEN SN, ABO-ELGHAR GE. 2003. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 77(1): 1–11

(责任编辑:高峰)