

草地贪夜蛾对四种蔬菜的胁迫取食和产卵偏好选择



肖 勇¹ 单 双² 沈修婧² 尹 飞¹ 杨现明²
黄欣蒸³ 张永军² 李振宇^{1*}

(1. 广东省农业科学院植物保护研究所, 广东省植物保护新技术重点实验室, 广州 510640;

2. 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;

3. 中国农业大学植物保护学院, 北京 100193)

摘要:为明确草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 入侵种群是否对我国蔬菜生产构成威胁,以玉米 *Zea mays* 为参照,通过室内饲养观察比较分析草地贪夜蛾胁迫取食黄瓜 *Cucumis sativus*、豇豆 *Vigna unguiculata*、番茄 *Solanum lycopersicum* 和菜心 *Brassica campestris* 这4种蔬菜后的生存能力和产卵选择性。结果表明,以黄瓜、番茄、豇豆和菜心嫩叶饲养的草地贪夜蛾幼虫存活率分别为30.56%、19.44%、20.83%和5.56%,显著低于玉米嫩叶饲养的幼虫存活率(75.00%)。综合分析幼虫发育历期、蛹历期、蛹重和羽化率,发现草地贪夜蛾在菜心上的适合度最低。产卵选择试验表明,草地贪夜蛾在番茄、豇豆和菜心上的产卵量分别仅为669.00、116.33和101.00粒,该虫更偏好于在玉米和黄瓜上产卵,产卵量分别达到2 522.33粒和2 948.00粒。表明虽然草地贪夜蛾幼虫和成虫在黄瓜、番茄、豇豆、菜心上的适合度显著低于玉米,但仍具有在黄瓜、豇豆、番茄和菜心上建立种群的能力,对我国蔬菜生产构成潜在威胁。

关键词:草地贪夜蛾;蔬菜;胁迫取食;产卵选择;繁殖

The feeding stress and oviposition preference of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* to four species of vegetables

Xiao Yong¹ Shan Shuang² Shen Xiujing² Yin Fei¹ Yang Xianming² Huang Xinzheng³
Zhang Yongjun² Li Zhenyu^{1*}

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of High Technology for Plant Protection, Institute of Plant Protection,

Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong Province, China;

2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection,

Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. College of Plant Protection,

China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to find out whether the invasive population of *Spodoptera frugiperda* poses a threat to vegetable production in China, the viability and oviposition selectivity of *Sp. frugiperda* on four species of vegetables, *Cucumis sativus*, *Vigna unguiculata*, *Solanum lycopersicum* and *Brassica campestris*, were compared and analyzed, with *Zea mays* as a control. The results showed that the larval survival rates of *Sp. frugiperda* reared with tender leaves of *C. sativus*, *So. lycopersicum*, *V. unguiculata* and *B. campestris* were 30.56%, 19.44%, 20.83% and 5.56%, respectively, which were significantly lower than those fed with *Z. mays* tender leaves (75.00%). Further analysis of larval duration, pupa duration, pupa weight and eclosion rate showed that *Sp. frugiperda* had the lowest fitness on *B. campestris*. *Sp.*

基金项目: 广东省现代农业产业技术体系叶菜创新团队项目(2021KJ122), 国家重点研发计划(2021YFD1400704)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: lizhenyu@gdaas.cn

收稿日期: 2021-01-15

frugiperda preferred laying eggs on *Z. mays* (no. of eggs: 2 522.33) and *C. sativus* (2 948.00), to *So. lycopersicum* (669.00), *V. unguiculata* (116.33) and *B. campestris* (101.00). The results indicated that the fitness of larvae and adults on four species of vegetables was significantly lower than that on *Z. mays*, but the pest could still establish population on tested vegetables, and thus poses a potential threat to vegetable production.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; vegetables; feeding stress; oviposition preference; fecundity

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 属鳞翅目夜蛾科灰翅夜蛾属 *Spodoptera*, 源自美洲热带和亚热带地区 (Todd et al., 1980)。2016年1月, 草地贪夜蛾首次入侵非洲, 之后迅速扩散至非洲与亚洲, 成为世界性的重大迁飞害虫 (杨普云和常雪艳, 2019)。自2019年1月, 草地贪夜蛾侵入我国云南省以来, 已迅速在全国范围内蔓延 (Sun et al., 2021)。据全国农业技术推广服务中心统计数据显示, 截止到2020年9月初, 其发生为害的省份逾30个, 为害面积超过了409万 hm^2 , 给我国粮食安全生产构成了严重威胁 (<https://www.natesc.org.cn/>)。

草地贪夜蛾具有寄主种类多、繁殖能力强、幼虫取食量大、迁飞扩散快和防控难度大等特点 (Buginbill, 1928; Sparks, 1979; 石旺鹏, 2020)。其寄主包括76科350多种植物 (Montezano et al., 2018, 石旺鹏, 2020), 当虫口密度过高或食物匮乏时, 草地贪夜蛾幼虫可依靠其迁移扩散能力, 向非嗜好作物转移, 提高其种群存活率 (徐艳玲等, 2020)。草地贪夜蛾取食不同植物时表现出一定的适合度差异。例如, 取食小麦 *Triticum aestivum* 和烟草 *Nicotiana tabacum* 的草地贪夜蛾幼虫存活率、幼虫体重、化蛹率、羽化率和世代存活率等指标显著低于取食玉米 *Zea mays* 时 (徐蓬军等, 2019; 巴吐西等, 2020)。草地贪夜蛾在产卵植物选择上也表现出明显差异, 会优先选择在禾本科植物玉米和薏米 *Coix lacryma-jobi* var. *ma-yuen* 上产卵, 而不喜欢在烟草、水稻 *Oryza sativa* 和荞麦 *Fagopyrum esculentum* 上产卵 (李定银等, 2019)。此外, 一些常见旱田杂草如婆婆纳 *Veronica polita* 和鹅肠菜 *Stellaria aquatica* 等也是草地贪夜蛾的自然产卵寄主 (房敏等, 2020)。同时, 草地贪夜蛾没有滞育行为, 每年必须南迁过冬 (Day et al., 2017), 预测与调查结果显示, 草地贪夜蛾在 31°N (即1月平均温度 6°C 等温线) 以南可以安全越冬; 在 28°N (即1月平均温度 10°C 等温线) 以南能够周年繁殖, 主要包括云南、广东、广西、海南、四川、福建和贵州7个省区 (陈辉等, 2020; Yang et al., 2021), 从而使得

以上省区成为草地贪夜蛾向南回迁越冬及周年繁殖的主要地区。更重要的是这些区域属于我国主要的蔬菜冬产区, 冬玉米和蔬菜相邻种植较为普遍 (齐国君等, 2020; 姜玉英等, 2021)。因此, 为了明确草地贪夜蛾对蔬菜产业是否存在潜在风险, 本研究以玉米作为对照植物, 选择菜心 *Brassica campestris*、豇豆 *Vigna unguiculata*、番茄 *Solanum lycopersicum* 和黄瓜 *Cucumis sativus* 这4种不同科属蔬菜, 解析蔬菜胁迫取食对草地贪夜蛾生存能力的影响以及草地贪夜蛾对这5种植物的产卵选择性, 以期制订草地贪夜蛾的绿色防控技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试昆虫: 草地贪夜蛾幼虫于2019年夏天采自广东省广州市钟落潭广东省农业科学院基地玉米田。在温度 $(26\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(75\pm 5)\%$ 、光周期 16 L:8 D 的人工温室内用人工饲料饲养5代后, 选取初孵幼虫用于胁迫取食试验, 选取羽化当天的成虫用于产卵选择试验。人工饲料参照黄欣蒸等 (2020) 配方配制。

供试植物: 菜心品种为F1顺兰, 番茄品种为广良3号, 黄瓜品种为GL 03-2, 玉米品种为广良甜27号, 这4种植物种子均购自广东省良种引进服务公司; 豇豆品种为长豆角, 种子购自寿光市欣瑞农业科技有限公司。供试植物均在温度 $(26\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(75\pm 5)\%$ 、光周期 16 L:8 D 的人工温室内培养, 无农药处理, 5种植物均选择生长至8~10叶期幼苗进行试验。

试剂和仪器: 蜂蜜, 浙江铁枫堂健康科技有限公司。12孔培养板, 济南卓隆生物科技有限公司; 养虫笼, 尺寸为 $1.2\text{ m}\times 1.2\text{ m}\times 1.2\text{ m}$, 用孔径为 0.15 mm 的纱网笼罩。

1.2 方法

1.2.1 草地贪夜蛾幼虫胁迫取食的测定

通过室内饲养观察法比较草地贪夜蛾幼虫胁迫

取食黄瓜、豇豆、番茄、菜心4种蔬菜和玉米的生存能力。将草地贪夜蛾初孵幼虫分别接入12孔板中单头饲养。收集5种植物8~10叶期幼苗的嫩叶部分,剪成1 cm×1 cm的小块,分别放入12孔板内,每天更换新鲜植物嫩叶,4板为1个重复,每种植物重复3次。记录各组幼虫的生长情况,包括每天的幼虫存活数、幼虫历期、蛹重(化蛹后第3天的重量)、蛹期,并计算幼虫存活率和成虫羽化率。存活率=化蛹虫数/总幼虫数×100%;羽化率=羽化虫数/化蛹虫数×100%。

1.2.2 草地贪夜蛾成虫产卵选择的测定

利用网笼饲养观察法分析草地贪夜蛾成虫在5种植物上的产卵选择偏好习性。在每个自制养虫笼中放置玉米、菜心、豇豆、番茄和黄瓜植株各1盆,每盆留苗1株,生育期统一选择8~10叶期,两两之间距离保持一致,为保证叶片落卵面积一致,试验时均选择一致叶片密度的植株。同时,每个养虫笼中分别放入10对羽化当天的草地贪夜蛾雌雄成虫,并且在养虫笼内放置带有10%蜂蜜水的棉球,供草地贪夜蛾成虫取食。每天记录各植株上的卵块数和卵粒数及相应的产卵位置,连续记录7 d。试验设置3个重复,每个重复1个养虫笼,且每组植株位置随机分布,其他条件保持一致。

1.3 数据分析

使用SPSS 17.0软件进行数据统计分析,所有数据采用单因素方差分析法进行分析,应用Tukey's

HSD法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 取食不同蔬菜对草地贪夜蛾生长发育的影响

以黄瓜、番茄、豇豆和菜心嫩叶饲养的草地贪夜蛾幼虫的存活率随着时间推移逐渐降低,最终幼虫存活率分别为30.56%、19.44%、20.83%和5.56%,明显低于以玉米嫩叶饲养的幼虫存活率(75.00%),其中,以菜心嫩叶饲养的幼虫死亡进程最快,从第5天开始大量死亡,第10天存活率降至最低(图1)。以黄瓜和玉米嫩叶饲养的草地贪夜蛾幼虫发育历期分别为16.86 d和16.53 d,而以番茄、豇豆和菜心嫩叶饲养的幼虫发育历期显著缩短,分别为13.11、12.86和11.80 d(表1)。用玉米、黄瓜和豇豆嫩叶饲养的蛹重无显著差异,分别为0.15、0.14和0.15 g(表1),但均显著高于以番茄(0.10 g)和菜心(0.10 g)嫩叶饲养的蛹重。以菜心嫩叶饲养的蛹发育历期最短,为7.00 d,显著低于以玉米(8.50 d)、黄瓜(9.40 d)、豇豆(9.00 d)和番茄(9.75 d)嫩叶饲养的蛹发育历期(表1)。以菜心嫩叶饲养的成虫羽化率最低(31.00%),以玉米、黄瓜和豇豆嫩叶饲养的成虫羽化率较高,分别为81.00%、70.67%和76.67%,但三者间无显著差异(表1)。表明只有少量草地贪夜蛾可以在黄瓜、豇豆、番茄和菜心上完成一个完整世代,草地贪夜蛾在这4种蔬菜的适合度显著低于在玉米上的适合度,其中在菜心上的适合度最低。

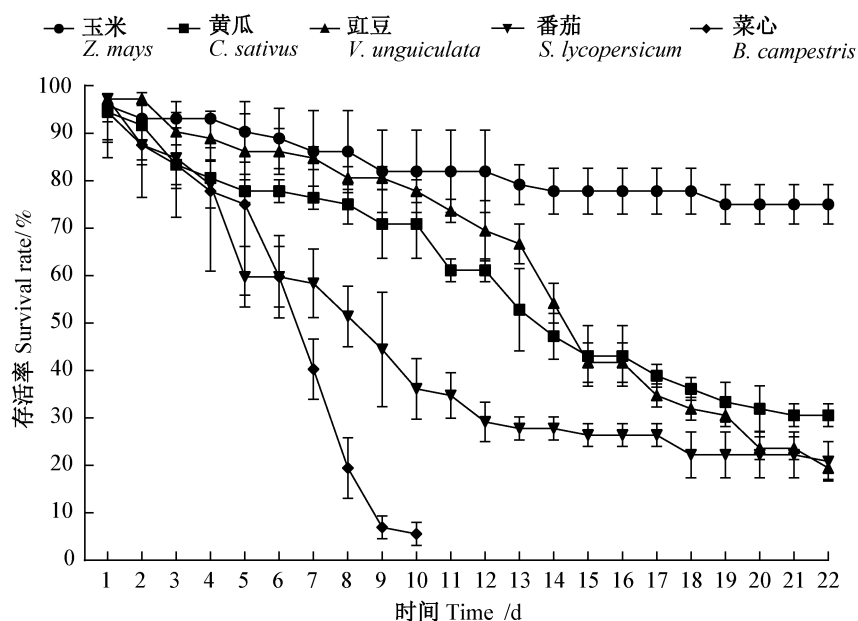


图1 取食4种蔬菜和玉米草地贪夜蛾幼虫个体的存活率动态

Fig. 1 Survival curves of *Spodoptera frugiperda* larvae feeding on four species of vegetables and maize

表1 取食4种蔬菜和玉米对草地贪夜蛾生长发育的影响

Table 1 Effects of four species of vegetables and maize on life cycle parameters of *Spodoptera frugiperda* larvae

作物 Crop	幼虫发育历期 Larval duration/d	蛹重 Pupal weight/g	蛹发育历期 Pupal duration/d	羽化率 Eclosion rate/%
玉米 <i>Zea mays</i>	16.53±1.88 a	0.15±0.03 a	8.50±0.96 ab	81.00±5.35 a
黄瓜 <i>Cucumis sativus</i>	16.86±0.99 a	0.14±0.03 a	9.40±0.80 a	70.67±5.31 ab
豇豆 <i>Vigna unguiculata</i>	12.86±0.83 b	0.15±0.02 a	9.00±1.04 ab	76.67±5.31 a
番茄 <i>Solanum lycopersicum</i>	13.11±0.87 b	0.10±0.03 b	9.75±1.48 a	53.00±6.68 b
菜心 <i>Brassica campestris</i>	11.80±0.75 b	0.10±0.03 b	7.00±0.82 b	31.00±8.29 c

表中数据为平均数±标准差。同列不同小写字母表示经 Tukey’s HSD 法检验差异显著 ($P<0.05$)。Data are mean±SD. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by Tukey’s HSD test ($P<0.05$).

2.2 草地贪夜蛾对不同蔬菜的产卵选择性

草地贪夜蛾在玉米和黄瓜整株上所产的卵块数最多,分别为 27.67 个和 18.33 个,显著多于番茄 (4.67 个)、豇豆 (4.67 个) 和菜心 (1.33 个) 整株上的卵块数 (表 2)。从产卵部位分析发现,草地贪夜蛾主要在叶片背面产卵,其次是叶片正面,而茎秆上的

卵块数最少。草地贪夜蛾在玉米和黄瓜整株上所产的卵粒数最多,分别为 2 522.33 粒和 2 948.00 粒,也显著多于番茄 (669.00 粒)、豇豆 (116.33 粒) 和菜心 (101.00 粒) 整株上的卵粒数 (表 2)。总体分析表明,草地贪夜蛾雌成虫所产的卵块数和卵粒数分布基本保持一致,偏好于在玉米和黄瓜上产卵。

表2 草地贪夜蛾对4种蔬菜和玉米的产卵选择性

Table 2 Oviposition selectivity of *Spodoptera frugiperda* to four species of vegetables and maize

指标 Index	作物 Crop	叶片正面 Upper surface of leaf	叶片背面 Lower surface of leaf	茎秆 Stem	整株 Total
卵粒数 No. of eggs	玉米 <i>Zea mays</i>	587.00±136.65 a	1 887.67±458.66 b	47.67±36.02 a	2 522.33±593.55 a
	番茄 <i>Solanum lycopersicum</i>	4.00±2.83 b	663.67±202.03 c	1.33±1.89 b	669.00±206.02 b
	菜心 <i>Brassica campestris</i>	5.33±7.54 b	95.67±88.30 d	0.00±0.00 c	101.00±95.42 c
	黄瓜 <i>Cucumis sativus</i>	559.67±350.78 a	2 388.33±455.05 a	0.00±0.00 c	2 948.00±132.34 a
	豇豆 <i>Vigna unguiculata</i>	0.00±0.00 c	116.33±59.42 d	0.00±0.00 c	116.33±59.42 c
卵块数 No. of egg masses	玉米 <i>Zea mays</i>	9.00±2.94 a	17.33±2.49 a	1.33±0.47 a	27.67±2.87 a
	番茄 <i>Solanum lycopersicum</i>	1.00±0.82 b	3.33±0.94 b	0.33±0.47 b	4.67±2.05 b
	菜心 <i>Brassica campestris</i>	0.33±0.47 b	1.00±0.82 b	0.00±0.00 c	1.33±1.25 b
	黄瓜 <i>Cucumis sativus</i>	2.33±0.94 b	16.00±7.79 a	0.00±0.00 c	18.33±6.85 a
	豇豆 <i>Vigna unguiculata</i>	0.00±0.00 c	4.67±2.05 b	0.00±0.00 c	4.67±2.05 b

表中数据为平均数±标准差。同列不同小写字母表示经 Tukey’s HSD 法检验差异显著 ($P<0.05$)。Data are mean±SD. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by Tukey’s HSD test ($P<0.05$).

3 讨论

草地贪夜蛾已在我国定殖,其发生和为害逐渐趋于常态化。作为迁飞性害虫,将逐步形成北迁南回、周年循环发生的规律 (吴孔明, 2020)。前期虽有报道十字花科、豆科、茄科和葫芦科等作物都是草地贪夜蛾的寄主 (Montezano et al., 2018), 但未见胁迫取食黄瓜、豇豆、番茄和菜心这 4 种蔬菜对草地贪夜蛾生长发育指标和产卵选择性影响的研究报道。本研究结果表明,取食黄瓜、豇豆、番茄和菜心的草地

贪夜蛾幼虫死亡率显著升高,取食番茄和菜心的草地贪夜蛾蛹重显著减小,取食黄瓜、番茄和菜心的成虫羽化率也有不同程度降低。总体而言,与玉米相比,草地贪夜蛾取食黄瓜、豇豆、番茄和菜心的适合度显著降低。产卵选择试验表明草地贪夜蛾更喜欢在玉米叶片背面产卵,也会在其他 4 种蔬菜上产卵。结合幼虫胁迫取食结果分析推测,在玉米充足的情况下,草地贪夜蛾会优先取食玉米,一旦玉米缺乏,种群密度又很高时,草地贪夜蛾存在取食黄瓜、豇豆、番茄和菜心等蔬菜的潜在风险。

植食性昆虫生长发育状况与寄主植物的营养成分和含量息息相关(钦俊德和王琛柱,2001)。一般认为,多食性昆虫取食嗜食寄主时发育历期短,而取食非嗜食寄主时发育历期长。例如,取食嗜食寄主番茄的番茄潜麦蛾 *Tuta absoluta* 幼虫生长发育历期短,而取食非嗜食寄主土豆和茄子的幼虫生长发育缓慢(Negi et al.,2018)。而本研究发现取食豇豆、番茄和菜心的草地贪夜蛾幼虫发育历期缩短,显著低于取食嗜食寄主玉米的幼虫。该现象还在棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 和桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis* 等昆虫中出现,取食胡萝卜和番茄的棉铃虫幼虫发育历期显著短于取食棉花的幼虫(张岫等,2019),取食棉花和大豆的桃蛀螟幼虫发育历期也显著短于取食桃的幼虫(汤金荣等,2020)。这可能与昆虫具有不同的寄主植物适应因子如解毒代谢酶和唾液氧化酶等有关(Tian et al.,2012;陈澄宇等,2015)。

本研究结果表明,4种蔬菜中,取食菜心的草地贪夜蛾幼虫存活率最低且死亡时间最快,这可能与十字花科植物特有的防御系统芥子油苷-芥子酶有关。芥子油苷是一类含氮、硫的植物次生代谢物质,芥子油苷分别储藏在植物的不同细胞或同一细胞的不同区域(蔡晓明等,2012)。当植物被害虫取食时,底物和酶接触,芥子油苷被降解成多种生物活性物质,这些降解产物可对昆虫产生较强的毒害作用(Hopkins et al.,2009)。近期研究还发现,芥子油苷对草地贪夜蛾幼虫具有抑制取食的作用(侯文华等,2020),这为草地贪夜蛾的绿色防控提供了新思路。本研究中草地贪夜蛾幼虫取食玉米的存活率仅为75.00%,低于其他研究报道的存活率,分析其原因可能有2个,一个是可能与饲养方法相关,本研究将叶片剪成小块导致叶片容易干枯,不利于保水;另一个是本试验中草地贪夜蛾幼虫已在室内用人工饲料连续饲养5代以上,对自然寄主植物的适应能力可能有所降低。

产卵是昆虫完成个体发育、繁衍后代必经的生命活动,昆虫产卵位点的选择主要与寄主植物、生态群落和天敌等有关。选择发育状态好、不利于天敌发现的部位产卵能够大大提高后代的存活率(曹宇等,2015;董子舒等,2017)。前期研究发现,与马铃薯、烟草和水稻等非主要寄主相比,草地贪夜蛾偏好选择在玉米上产卵(巴吐西等,2020;邱良妙等,2020;Guo et al.,2021),这与本研究结果相似,即在

卵块空间分布情况上,草地贪夜蛾主要在叶片背面产卵。黄建荣等(2021)通过田间调查进一步发现,在玉米不同生长期,草地贪夜蛾产卵分布也有所不同,其中,在小喇叭口期主要产卵于叶片正面,而在吐丝期主要产卵于叶片背面。值得注意的是,本研究发现草地贪夜蛾在黄瓜和玉米上的产卵量最高,且无显著差异,同时取食黄瓜叶片的幼虫也有29.17%存活。Coapio et al.(2018)认为如果一种昆虫在非寄主植物上产卵,且其后代可以在该植物上存活,那么该非寄主植物最终可能成为寄主植物。因此推测草地贪夜蛾为害黄瓜的潜在风险较高。

综上所述,草地贪夜蛾有能力在黄瓜、豇豆、番茄以及菜心上完成其生活史,可能会对这4种蔬菜生产构成一定风险。华南地区的草地贪夜蛾能够周年繁殖,并随季风迁飞至长江以北的地区,威胁到黄淮海和华北玉米主产区的生产安全(吴秋琳等,2019)。因此,控制华南周年发生区草地贪夜蛾的繁衍种群是全国草地贪夜蛾防控工作的关键着力点。而该周年繁殖区域又是我国主要的蔬菜冬产区,且冬种玉米和蔬菜相邻种植较为普遍(齐国君等,2020)。因此,建议密切关注周年繁殖区草地贪夜蛾的发生动态,切实做好种群监测预警工作,并加强对其在蔬菜与玉米邻作区域的发生情况监测,深入研究草地贪夜蛾转移为害蔬菜的可能性,切实为该害虫的综合防控提供技术支撑。

参 考 文 献 (References)

- Batuxi, Zhang YH, Zhang Z, Guan DD, Li CC, Ji ZY, Yin XT, Zhang AH, Tang QB, Liu YH, et al. 2020. The host preference and population life tables of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on maize and wheat. *Plant Protection*, 46(1): 17-23 (in Chinese) [巴吐西, 张云慧, 张智, 关豆豆, 李翠翠, 季昭云, 殷新田, 张爱环, 汤清波, 刘延辉, 等. 2020. 草地贪夜蛾对小麦和玉米的产卵选择性及其种群生命表. *植物保护*, 46(1): 17-23]
- Buginbill P. 1928. The fall armyworm. *Technical Bulletins*, 6(4): 361-366
- Cai XM, Hu XQ, Wu M, Zhang CR, He HM, Zhao H, Li Z. 2012. Roles of glucosinolates in the interrelationships between Brassicaceae plants and insects: a review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 23(2): 573-580 (in Chinese) [蔡晓明, 胡秀卿, 吴珉, 张春荣, 何红梅, 赵华, 李振. 2012. 芥子油苷在十字花科植物与昆虫相互关系中的作用. *应用生态学报*, 23(2): 573-580]
- Cao Y, Liu Y, Xiong ZL, Wang C, Li C. 2015. Oviposition preference of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* to different

- horticultural host plants. *Journal of Plant Protection*, 42(5): 741–748 (in Chinese) [曹宇, 刘燕, 熊正利, 王春, 李灿. 2015. 西花蓟马对不同花卉寄主的产卵选择性. *植物保护学报*, 42(5): 741–748]
- Chen CY, Kang ZJ, Shi XY, Gao XW. 2015. Metabolic adaptation mechanisms of insects to plant secondary metabolites and their implications for insecticide resistance of insects. *Acta Entomologica Sinica*, 58(10): 1126–1139 (in Chinese) [陈澄宇, 康志娇, 史雪岩, 高希武. 2015. 昆虫对植物次生物质的代谢适应机制及其对昆虫抗药性的意义. *昆虫学报*, 58(10): 1126–1139]
- Chen H, Wu MF, Liu J, Chen AD, Jiang YY, Hu G. 2020. Migratory routes and occurrence divisions of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in China. *Journal of Plant Protection*, 47(4): 747–757 (in Chinese) [陈辉, 武明飞, 刘杰, 湛爱东, 姜玉英, 胡高. 2020. 我国草地贪夜蛾迁飞路径及其发生区划. *植物保护学报*, 47(4): 747–757]
- Coapio GG, Cruz-López L, Guerenstein P, Malo EA, Rojas JC. 2018. Oviposition preference and larval performance and behavior of *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae) on host and nonhost plants. *Arthropod-Plant Interactions*, 12(2): 267–276
- Day R, Abrahams P, Bateman M, Beale T, Clotey V, Cock M, Colmenarez Y, Corniani N, Early R, Godwin J, et al. 2017. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. *Outlooks on Pest Management*, 28(5): 196–201
- Dong ZS, Zhang YJ, Duan YB, Zheng XL, Lu W. 2017. Influencing factors and selection mechanisms of phytophagous insects for oviposition host plants. *Journal of Southern Agriculture*, 48(5): 837–843 (in Chinese) [董子舒, 张玉静, 段云博, 郑霞林, 陆温. 2017. 植食性昆虫产卵寄主选择影响因素及机制的研究进展. *南方农业学报*, 48(5): 837–843]
- Fang M, Yao L, Tang QF, Li GT, Jiang XC. 2020. Feeding adaptability of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* to several weeds. *Journal of Plant Protection*, 47(5): 1055–1061 (in Chinese) [房敏, 姚领, 唐庆峰, 李桂亭, 蒋兴川. 2020. 草地贪夜蛾对主要杂草的取食适应性. *植物保护学报*, 47(5): 1055–1061]
- Guo JF, Zhang MD, Gao ZP, Wang DJ, He KL, Wang ZY. 2021. Comparison of larval performance and oviposition preference of *Spodoptera frugiperda* among three host plants: potential risks to potato and tobacco crops. *Insect Science*, 28(3): 602–610
- Hopkins RJ, van Dam NM, van Loon JJA. 2009. Role of glucosinolates in insect-plant relationships and multitrophic interactions. *Annual Review of Entomology*, 54: 57–83
- Hou WH, Sun LL, Ma Y, Sun HW, Zhang JJ, Bai RE, Zhao XC, Tang QB. 2020. Gustatory perception and feeding preference of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae to four stimuli. *Acta Entomologica Sinica*, 63(5): 545–557 (in Chinese) [侯文华, 孙龙龙, 马英, 孙惠婉, 张佳佳, 白润娥, 赵新成, 汤清波. 2020. 草地贪夜蛾幼虫对四种刺激物质的味觉感受和取食选择. *昆虫学报*, 63(5): 545–557]
- Huang JR, Liu B, Tian CH, Huang B, Zhao WX, Lü GQ, Li GP, Feng HQ. 2021. Spatial distribution of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* egg masses on corn plant. *Plant Protection*, 47(1): 218–221, 240 (in Chinese) [黄建荣, 刘彬, 田彩红, 黄博, 赵文新, 吕国强, 李国平, 封洪强. 2021. 草地贪夜蛾卵块在玉米植株上的空间分布. *植物保护*, 47(1): 218–221, 240]
- Huang XZ, Shan S, Zhang DD, Zhang TT, Shi WP, Zhang YJ. 2020. Transcriptome analysis of *Zea mays* leaves infested by fall armyworm *Spodoptera frugiperda* larvae. *Journal of Plant Protection*, 47(4): 780–788 (in Chinese) [黄欣蒸, 单双, 张丹丹, 张天涛, 石旺鹏, 张永军. 2020. 草地贪夜蛾取食诱导玉米叶片转录组分析. *植物保护学报*, 47(4): 780–788]
- Jiang YY, Liu J, Wu QL, Cirenzhuga, Zeng J. 2021. Investigation on winter breeding and overwintering areas of *Spodoptera frugiperda* in China. *Plant Protection*, 47(1): 212–217 (in Chinese) [姜玉英, 刘杰, 吴秋琳, 次仁卓嘎, 曾娟. 2021. 我国草地贪夜蛾冬繁区和越冬区调查. *植物保护*, 47(1): 212–217]
- Li DY, Zhi JR, Zhang T, Ye JQ, Yu YC, Hu CX. 2019. Preference of *Spodoptera frugiperda* to four host plants. *Plant Protection*, 45(6): 50–54 (in Chinese) [李定银, 郅军锐, 张涛, 叶佳琴, 禹云超, 胡朝兴. 2019. 草地贪夜蛾对4种寄主植物的偏好性. *植物保护*, 45(6): 50–54]
- 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
- Negi S, Sharma PL, Sharma KC, Verma SC. 2018. Effect of host plants on developmental and population parameters of invasive leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Phytoparasitica*, 46(2): 213–221
- Qi GJ, Huang DC, Wang L, Zhang YP, Xiao HX, Shi QX, Xiao Y, Su XN, Huang SH, Zou SF, et al. 2020. The occurrence characteristic in winter and year-round breeding region of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) in Guangdong Province. *Journal of Environmental Entomology*, 42(3): 573–582 (in Chinese) [齐国君, 黄德超, 王磊, 章玉苹, 肖汉祥, 石庆型, 肖勇, 苏湘宁, 黄少华, 邹寿发, 等. 2020. 广东省草地贪夜蛾冬季发生特征及周年繁殖区域研究. *环境昆虫学报*, 42(3): 573–582]
- Qin JD, Wang CZ. 2001. The relation of interaction between insects and plants to evolution. *Acta Entomologica Sinica*, 44(3): 360–365 (in Chinese) [钦俊德, 王琛柱. 2001. 论昆虫与植物的相互作用和进化的关系. *昆虫学报*, 44(3): 360–365]
- Qiu LM, Liu QQ, Yang XJ, Huang XY, Guan RF, Liu BP, He YX, Zhan ZX. 2020. Feeding and oviposition preference and fitness of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), on rice and maize. *Acta Entomologica Sinica*, 63(5): 604–612 (in Chinese) [邱良妙, 刘其全, 杨秀娟, 黄晓燕, 关瑞峰, 刘必炮, 何玉仙, 占志雄. 2020. 草地贪夜蛾对水稻和玉米的取食和产卵选择性与适合度. *昆虫学报*, 63(5): 604–612]
- Shi WP. 2020. How greedy are the fall armyworm? *Journal of Plant Protection*, 47(4): 687–691 (in Chinese) [石旺鹏. 2020. 草地贪夜蛾到底有多“贪”. *植物保护学报*, 47(4): 687–691]

- Sparks AN. 1979. A review of the biology of the fall armyworm. The Florida Entomologist, 62(2): 82
- Sun XX, Hu CX, Jia HR, Wu QL, Shen XJ, Zhao SY, Jiang YY, Wu KM. 2021. Case study on the first immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* invading into China. Journal of Integrative Agriculture, 20(3): 664–672
- Tang JR, Dong SQ, Li WZ, Wang GP, Yuan GH, Guo XR, Zhao M. 2020. Effects of host plants on the development and oviposition selection behavior of *Conogethes punctiferalis*. Acta Ecologica Sinica, 40(5): 1759–1765 (in Chinese) [汤金荣, 董少奇, 李为争, 王高平, 原国辉, 郭线茹, 赵曼. 2020. 寄主植物对桃蛀螟生长发育及产卵选择行为的影响. 生态学报, 40(5): 1759–1765]
- Tian DL, Peiffer M, Shoemaker E, Tooker J, Haubruge E, Francis F, Luthe DS, Felton GW. 2012. Salivary glucose oxidase from caterpillars mediates the induction of rapid and delayed-induced defenses in the tomato plant. PLoS ONE, 7(4): e36168
- Todd EL, Poole RW. 1980. Keys and illustrations for the armyworm moths of the noctuid genus *Spodoptera* Guenée from the western hemisphere. Annals of the Entomological Society of America, 73(6): 722–738
- Wu KM. 2020. Management strategies of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. Plant Protection, 46(2): 1–5 (in Chinese) [吴孔明. 2020. 中国草地贪夜蛾的防控策略. 植物保护, 46(2): 1–5]
- Wu QL, Jiang YY, Hu G, Wu KM. 2019. Analysis on spring and summer migration routes of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) from tropical and southern subtropical zones of China. Plant Protection, 45(3): 1–9 (in Chinese) [吴秋琳, 姜玉英, 胡高, 吴孔明. 2019. 中国热带和南亚热带地区草地贪夜蛾春夏两季迁飞轨迹的分析. 植物保护, 45(3): 1–9]
- Xu PJ, Zhang DD, Wang J, Wu KM, Wang XW, Wang XF, Ren GW. 2019. The host preference of *Spodoptera frugiperda* on maize and tobacco. Plant Protection, 45(4): 61–64, 90 (in Chinese) [徐蓬军, 张丹丹, 王杰, 吴孔明, 王新伟, 王秀芳, 任广伟. 2019. 草地贪夜蛾对玉米和烟草的偏好性研究. 植物保护, 45(4): 61–64, 90]
- Xu YL, Li ZY, Chen J, Li ZH, Qin YJ. 2020. Assessment of potential economic loss of wheat industry caused by the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in China. Journal of Plant Protection, 47(4): 740–746 (in Chinese) [徐艳玲, 李昭原, 陈杰, 李志红, 秦誉嘉. 2020. 草地贪夜蛾对我国小麦产业造成的潜在经济损失评估. 植物保护学报, 47(4): 740–746]
- Yang PY, Chang XY. 2019. The occurrence and influence of *Spodoptera frugiperda* in Asia and Africa and control strategies. China Plant Protection, 39(6): 88–90 (in Chinese) [杨普云, 常雪艳. 2019. 草地贪夜蛾在亚洲、非洲发生和影响及其防控策略. 中国植保导刊, 39(6): 88–90]
- Yang XM, Song YF, Sun XX, Shen XJ, Wu QL, Zhang HW, Zhang DD, Zhao SY, Liang GM, Wu KM. 2021. Population occurrence of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), in the winter season of China. Journal of Integrative Agriculture, 20(3): 772–782
- Zhang S, Wu MF, Gu SH, Li XC. 2019. Oviposition preference of female adults of *Helicoverpa armigera* to 16 host plants and larval performance. Plant Protection, 45(2): 108–113 (in Chinese) [张岫, 吴明峰, 谷少华, 李显春. 2019. 棉铃虫雌成虫对16种植物的产卵偏好性及幼虫取食后的生存表现. 植物保护, 45(2): 108–113]

(责任编辑:李美娟)