



徐川峰, 萨日那, 何佳玥, 郭笑, 芦芳, 成玮, 胡高, 陈法军, 万贵钧, 赵婧妤. 草地贪夜蛾对不同品种玉米的适应性比较研究 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (4): 891-900.

草地贪夜蛾对不同品种玉米的适应性比较研究

徐川峰¹, 萨日那¹, 何佳玥¹, 郭笑¹, 芦芳², 成玮²,
胡高¹, 陈法军¹, 万贵钧¹, 赵婧妤^{1*}

(1. 南京农业大学植物保护学院昆虫系, 南京 210095; 2. 上海市农业技术推广服务中心, 上海 201103)

摘要: 为了解不同玉米品种对草地贪夜蛾生长发育的影响, 本文通过比较草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 取食 2 种糯质型玉米 (明玉 1203 和苏玉糯 5 号) 与 3 种普通玉米 (苏玉 29、苏玉 30 和郑单 958) 后的发育历期、死亡率、蛹重、成虫畸形率、繁殖力与幼虫取食选择率等生物学参数, 分析了草地贪夜蛾对不同品种玉米的适应性差异。结果表明: 以糯质型玉米饲养的草地贪夜蛾幼虫发育历期与成虫寿命均长于取食普通玉米的个体, 而蛹重与单雌产卵量低于取食普通玉米的个体。草地贪夜蛾最高总体死亡率 (50.82%) 与成虫畸形率 (41.38%) 均来自于取食糯质型玉米明玉 1203 处理, 而最低总体死亡率 (37.29%) 与成虫畸形率 (12.50%) 则分别来自于取食糯质型玉米苏玉糯 5 号和普通玉米苏玉 30 处理组。此外, 仅 6 龄幼虫对不同玉米品种的取食偏好性存在显著差异, 更倾向于取食普通玉米。综合可见, 草地贪夜蛾对普通玉米的适应性好于糯质型玉米, 且对糯质型玉米明玉 1203 的适应性最差。研究结果为所选品种玉米的安全生产与草地贪夜蛾的发生为害评估奠定了研究基础。

关键词: 草地贪夜蛾; 玉米品种; 发育历期; 死亡率; 繁殖适合度

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 04-0891-10

Comparative study on the adaptability of *Spodoptera frugiperda* to different corn varieties

XU Chuan-Feng¹, SA Ri-Na¹, HE Jia-Yue¹, GUO Xiao¹, LU Fang², CHENG Wei², HU Gao¹, CHEN Fa-Jun¹, WAN Gui-Jun¹, ZHAO Jing-Yu^{1*} (1. Department of Entomology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Shanghai Agricultural Technology Extension and Service Center, Shanghai 201103, China)

Abstract: To understand the effects of different corn varieties on the development of *Spodoptera frugiperda*, we analyzed the adaptability of *S. frugiperda* on different maize by comparing their development duration, mortality rate, pupal weight, adult deformity rate, fecundity, and larval feeding selection rate of *S. frugiperda* on two varieties of waxy corn (i.e., Mingyu 1203, and Suyunuo No. 5) and three varieties of sweet corn (i.e., normal corns: Suyu 29, Suyu 30, and Zhengdan 958). Results showed that the developmental duration of larva and adult of *S. frugiperda* fed on waxy corns were longer than those fed on sweet corns, but the pupal weight and fecundity were lower. The overall mortality rate and adult deformity rate of *S. frugiperda* fed on waxy corn Mingyu 1203 were the highest, and the Suyunuo

基金项目: 上海市科技兴农技术创新项目 (沪农科创字 (2019) 第 3-9 号)

作者简介: 徐川峰, 男, 博士研究生, 主要研究方向为迁飞昆虫学, E-mail: 2020202039@njau.edu.cn

* 通信作者 Author for correspondence: 赵婧妤, 博士, 主要研究方向为昆虫迁飞生物学与生物信息学, E-mail: jyzhao@hotmail.com

收稿日期 Received: 2021-03-14; 接受日期 Accepted: 2021-05-31

No. 5 and normal corns were the lowest, respectively. Moreover, there were significant differences in host selection among different corn varieties for *S. frugiperda* only in 6th instar larvae, which showed preference for the normal corns. Overall, the adaptability of *S. frugiperda* on sweet corn was higher than that on waxy corn, and showed the lowest adaptability to the waxy corn Mingyu 1203. Our results establish the foundation for the safe production of selected corn varieties and the hazard assessment of *S. frugiperda*.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; corn varieties; development duration; mortality rate; reproductive fitness

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 是隶属于鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae 的一种农业迁飞性重大害虫, 原产于美洲的热带和亚热带地区 (Sparks, 1979), 具有寄主广泛、繁殖迅速、迁飞能力强等特点 (王磊等, 2019)。由于其较强的迁飞性, 自 2016 年在非洲尼日利亚和加纳地区被发现后 (Stokstad, 2017), 草地贪夜蛾迅速在周围的适生地蔓延开来, 一路向东进入亚洲 (陈辉等, 2020; Li *et al.*, 2020), 于 2018 年在印度的卡纳塔克邦地区首次发现该虫 (Sisay *et al.*, 2018), 而后跟随季风进一步扩散定殖, 2018 年 12 月份, 我国云南省江城首次发现该虫 (陈辉等, 2020)。由于我国特殊的季风性气候, 草地贪夜蛾已经遍及我国 26 个省 (自治区、直辖市) 的大部分地区, 使大面积的农作物受到不同程度的损害 (姜玉英等, 2019)。仅在云南省, 喜超等 (2019) 预测草地贪夜蛾对农业造成的经济损失将高达 3.95 亿 ~ 8.94 亿元人民币。此外, 通过冬季的田间调查发现, 草地贪夜蛾可以在我国 28°N 以南地区周年繁殖 (姜玉英等, 2020)。海南省三亚市的冬季调查结果显示, 成熟期以外的玉米受害率超过 15% (卢辉, 2020)。这意味着草地贪夜蛾将在我国形成稳定的本地种群, 对农作物产生极大危害。

草地贪夜蛾是一种寄主十分广泛的多食性害虫, 目前已知寄主植物多达 76 科的 353 种, 其中包括玉米 *Zea mays*、水稻 *Oryza sativa*、甘蔗 *Saccharum officinarum* 等重要的粮食作物 (Montezano *et al.*, 2018)。研究发现, 基于 *COI* 基因和 *Tpi* 基因可以将草地贪夜蛾分为水稻型和玉米型两个亚群 (Nagoshi *et al.*, 2006; Nagoshi, 2010), 前者主要为害水稻和牧草等, 而后者主要为害玉米、高粱 *Sorghum bicolor* 等 (Saldamando and Vélezarango, 2010)。对我国多个地区草地贪夜蛾的鉴定结果显示, 入侵我国的虫源可能来自于水稻型和玉米型的杂交后代, 并在最后形成了一种特殊的玉米型亚群 (张磊等, 2019)。此外, 我

国学者对云南、广西、贵州、福建等地区的草地贪夜蛾种群进行试验后发现, 相对于菜豆 *Phaseolus vulgaris*、甘蔗、香蕉 *Musa spp.*、水稻等寄主植物, 草地贪夜蛾在玉米上表现出更高的适合度 (黄芊等, 2019; 李定银等, 2019; 邱良妙等, 2020; 郭志祥等, 2021)。因此, 草地贪夜蛾的入侵对我国各地的玉米生产具有极大的潜在危害。

作为世界第二大玉米种植国, 玉米是我国植物新品种保护申请和授权数量最多的作物, 截至 2018 年底获得授权的玉米品种数达 3 609 个 (杨扬等, 2020), 2019 年全国的种植面积高达 4 100 多万 ha, 其中江苏省达 50 万 ha。为此, 了解草地贪夜蛾在不同玉米品种上的生长发育与繁殖情况对于我国玉米种植业具有重要指导意义。本研究选择了在江苏省内种植较为广泛的 5 种玉米为研究材料, 包括 3 个普通玉米品种 (郑单 958、苏玉 29 和苏玉 30) 与 2 个糯质型玉米品种 (明玉 1203 和苏玉糯 5 号), 其中郑单 958 是在全国大范围种植的重要品种 (佟屏亚, 2020), 而其它 4 种则是江苏本省的优势品种。本文通过比较草地贪夜蛾在这 5 种玉米品种上的适应性差异, 研究不同玉米品种对草地贪夜蛾生长发育与繁殖的影响, 以期能够为我国草地贪夜蛾的监测预报、玉米抗性品种选育和玉米安全生产提供有效的科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

试验所用原始虫源于 2020 年 6 月采自于广西农业科学院实验基地 (108.06°E, 23.25°N), 带回实验室后以人工饲料 (李子园等, 2019) 饲养在人工气候箱内 (PGX-450C 型, 宁波赛福实验仪器有限公司), 饲养条件为光周期 14 L: 10 D, 温度 25 ± 1°C, 相对湿度 60% ~ 70%。本试验所用虫源为室内扩繁后的实验种群。

1.2 供试玉米品种与生长条件

本试验共选择了 5 个玉米品种, 分别是郑单 958 (国审玉 20000009)、苏玉 29 (国审玉 2010016)、苏玉 30 (国审玉 2011022)、明玉 1203 (国审玉 2015037) 和苏玉糯 5 号 (国审玉 2003067), 其中前 3 种为普通玉米, 后 2 种为糯质型玉米。试验所用玉米种子均由江苏省农业科学研究院提供。

将上述试验玉米品种种子播种在塑料罐 (直径 10 cm × 高 15 cm) 中, 种植密度为每罐 4 株, 种植基质为镇江兴农有机肥公司生产的营养土。而后将塑料罐放置于人工气候箱内 (PGX-450C 型, 宁波赛福实验仪器有限公司), 气候箱条件为温度 $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 70% ~ 80%, 光周期 14 L:10 D。待玉米植株生长至 1.2 m 高时, 随机选取同组织嫩叶作为饲料喂养草地贪夜蛾幼虫, 投喂时将叶片剪为 5 cm 左右的叶段。

1.3 不同玉米品种上草地贪夜蛾的生长发育与繁殖

将草地贪夜蛾实验种群在同日所产的新鲜卵块收集后置有垫有保湿滤纸的塑料盒 (长 25 cm × 宽 17 cm × 高 9 cm) 内, 放入人工气候箱中。待幼虫孵化后, 用勾线笔将其分别接入装有新鲜玉米叶的养虫管 (2.4 cm × 9.5 cm) 中进行单头饲养, 每个玉米品种接虫 60 头。之后每日定期更换新鲜的玉米叶片, 并于每日 8:00 与 18:00 仔细观察幼虫的生长发育情况, 通过幼虫蜕皮的时间计算各龄幼虫的发育历期, 预蛹与蛹的发育历期共同记为蛹期, 死亡率以各虫态死亡个体数/各虫态总个体数计算, 以电子天平 (BSA124S-CW) 称量各玉米品种中 2 日龄虫蛹的重量。成虫羽化后, 将其单独移入底部置有富含 10% 蜂蜜水脱脂棉的塑料杯 (上口径 6.8 cm × 高 7.4 cm × 底 4.8 cm) 中, 用保鲜膜封住杯口以防成虫飞走, 并在各品种中随机挑选健康的成虫以雌雄比 1:1 进行配对。观察记录配对后的成虫产卵情况, 每日收集杯中的所有虫卵, 直至成虫死亡。统计各雌雄成虫的寿命及雌虫产卵量。

1.4 草地贪夜蛾幼虫对不同玉米品种的寄主选择

从人工饲料饲养的草地贪夜蛾实验室种群中随机选择发育状态相近的各龄幼虫, 其中每一虫龄 3 个重复, 每个重复 20 头幼虫。在所有幼虫饥饿处理 4 h 之后, 采用叶碟法 (黄芊等, 2019) 研究草地贪夜蛾不同虫龄幼虫对 5 种玉米品种的寄

主选择, 叶碟的直径为 20 cm, 在底部铺上干净的滤纸, 并将其平均划分为 5 个扇形, 在每一扇形边缘区域放置裁剪为同等大小的不同品种玉米叶片。在中心位置放入饥饿处理后的幼虫, 观察记录 1 h 内取食不同品种玉米叶片的幼虫个体与未选择寄主而逃离的个体, 统计各虫龄对不同品种玉米的取食率。

1.5 数据处理

本试验所有数据均采用 SPSS 19.0 软件进行数据分析, 结果用平均值 (mean) ± 标准差 (SD) 来表示。对不同玉米品种上草地贪夜蛾生长发育与繁殖的数据进行正态分布与方差齐性检验之后, 对符合假设前提数据采用单因素方差分析 (one-way ANOVA), 包括雌雄成虫的寿命与雌虫的蛹重; 不符合假设前提的各虫态发育历期与雄虫蛹重的数据使用非参数检验; 而各虫期的死亡率、各虫龄寄主选择和成虫畸形率则采用卡方检验 (Chi-square test)。草地贪夜蛾各虫态死亡率、幼虫各虫龄的取食率、成虫的成虫畸形率与不同玉米品种之间的关系图均使用 Origin 8.5 制作。

2 结果与分析

2.1 不同玉米品种下草地贪夜蛾幼虫和蛹发育历期的比较

在 5 个玉米品种饲养下, 草地贪夜蛾均能完成生长发育, 然而部分虫态的发育历期在不同品种之间存在着显著差异 (表 1)。在低龄幼虫 (1~3 龄) 各龄期, 普通玉米饲养的幼虫发育历期最长, 分别是苏玉 30 (1 龄: 3.69 d)、苏玉 29 (2 龄: 2.71 d)、郑单 958 (3 龄: 2.11 d) 饲养组; 在 6~7 龄的高龄阶段, 取食糯质型的明玉 1203 (8.39 d) 与苏玉糯 5 号 (7.44 d) 的幼虫发育历期则明显长于使用其它品种饲养组 (表 1), 且 7 龄幼虫比例在糯质型玉米饲养组较高 (明玉 1203: 75%; 苏玉糯 5 号: 50%; 苏玉 30: 27.8%; 苏玉 29: 20.6%; 郑单 958: 44.4%); 而 4~5 龄时, 各品种玉米所饲养幼虫的发育历期之间没有显著性差异 ($P > 0.05$)。从整个幼虫期来看, 同样是取食糯质型的明玉 1203 (28.79 d) 与苏玉糯 5 号 (27.08 d) 的幼虫显著长于其它品种饲养组 ($P < 0.05$)。而蛹的发育历期在不同品种玉米之间无显著性差异 ($P > 0.05$)。

表 1 不同玉米品种下草地贪夜蛾幼虫和蛹的发育历期

Table 1 Development duration of *Spodoptera frugiperda* at larval and pupal stages fed on different corn varieties

发育阶段 Developmental stage	发育历期 (d) Developmental duration					统计分析 Statistical analysis
	明玉 1203 Mingyu 1203	苏玉糯 5 号 Suyunuo No. 5	苏玉 30 Suyu 30	苏玉 29 Suyu 29	郑单 958 Zhengdan 958	
1 龄幼虫 1 st instar larva	3.37 ± 0.39 ab	3.41 ± 0.50 ab	3.69 ± 0.54 a	3.28 ± 0.38 b	3.54 ± 0.47 ab	$\chi^2(4) = 12.697$ $P = 0.013, n = 155$
2 龄幼虫 2 nd instar larva	2.39 ± 0.36 ab	2.38 ± 0.43 ab	2.47 ± 0.53 ab	2.71 ± 0.49 a	2.34 ± 0.31 b	$\chi^2(4) = 10.385$ $P = 0.034, n = 155$
3 龄幼虫 3 rd instar larva	1.97 ± 0.11 a	2.06 ± 0.32 a	1.97 ± 0.34 a	1.95 ± 0.20 a	2.11 ± 0.28 a	$\chi^2(4) = 8.389$ $P = 0.078, n = 155$
4 龄幼虫 4 th instar larva	2.02 ± 0.11 a	2.03 ± 0.21 a	2.07 ± 0.22 a	2.00 ± 0.00 a	1.95 ± 0.16 a	$\chi^2(4) = 9.441$ $P = 0.051, n = 155$
5 龄幼虫 5 th instar larva	2.27 ± 0.44 a	2.31 ± 0.53 a	2.34 ± 0.55 a	2.31 ± 0.43 a	2.36 ± 0.46 a	$\chi^2(4) = 0.736$ $P = 0.947, n = 155$
6~7 龄幼虫 6 th to 7 th instar larva	8.39 ± 1.80 a	7.44 ± 1.82 ab	6.10 ± 0.92 c	6.22 ± 0.82 bc	6.89 ± 1.48 bc	$\chi^2(4) = 32.271$ $P < 0.001, n = 155$
幼虫期 Larval stage	28.79 ± 3.62 a	27.08 ± 3.40 ab	24.73 ± 1.97 c	24.68 ± 1.95 bc	26.07 ± 2.99 bc	$\chi^2(4) = 30.171$ $P < 0.001, n = 155$
蛹期 Pupal stage	9.58 ± 0.97 a	10.05 ± 0.90 a	10.04 ± 0.71 a	9.29 ± 1.88 a	9.66 ± 0.92 a	$\chi^2(4) = 7.361$ $P = 0.118, n = 155$

注: 同一行数据不同小写字母表示发育历期在不同品种间差异显著 (非参数检验, Kruskal-Wallis 检验, $P < 0.05$)。

Note: Means in the same row followed by different lowercase letters indicated significant differences in development duration between different corn varieties (Nonparametric tests by Kruskal-Wallis test, $P < 0.05$).

2.2 不同玉米品种对草地贪夜蛾幼虫和蛹死亡率的影响

用 5 种不同玉米品种饲养草地贪夜蛾, 对各发育阶段的死亡率进行分析。总体死亡率从高至底依次为明玉 1203 (50.82%)、苏玉 29 (50%)、郑单 958 (45.76%)、苏玉 30 (44.83%)、苏玉糯 5 号 (37.29%), 但是并未发现显著性差异 ($\chi^2_{4,290} = 2.776, P = 0.596$) (图 1)。此外, 不同品种下草地贪夜蛾的死亡主要集中在 1 龄幼虫阶段, 其次是 2 龄幼虫和蛹, 其它发育阶段的死亡率则较低 (图 1)。

2.3 不同玉米品种对草地贪夜蛾蛹重的影响

不同玉米品种饲养草地贪夜蛾的蛹重结果表明, 不同玉米品种对蛹重的影响显著 ($\chi^2(4) = 31.945, P < 0.001, n = 155$), 普通玉米 (郑单 958、苏玉 29、苏玉 30) 的平均蛹重高于糯质型

玉米 (明玉 1203、苏玉糯 5 号) (表 2)。其中明玉 1203 与其它 3 种普通玉米均存在显著性差异 ($P < 0.05$), 而苏玉糯 5 号只与苏玉 30 存在显著性差异 ($P < 0.05$)。将虫蛹以性别区分后, 除了郑单 958 的雌虫蛹重略低于苏玉糯 5 号之外, 不论是雌虫还是雄虫, 糯质型玉米的蛹重均低于普通玉米。其中以苏玉 30 的蛹重最高, 明玉 1203 最低。

2.4 不同玉米品种对草地贪夜蛾成虫寿命、产卵量和畸形率的影响

玉米品种对草地贪夜蛾成虫寿命 (雌虫: $F_{4,76} = 1.809, P = 0.136$; 雄虫: $F_{4,69} = 1.403, P = 0.242$) 和单雌产卵量 ($F_{4,47} = 1.343, P = 0.268$) 的影响不显著 (表 3)。但糯质型玉米饲养的草地贪夜蛾的雌成虫寿命长于普通玉米, 以明玉 1203 最长 (13.15 d), 郑单 958 最短 (10.17 d)。

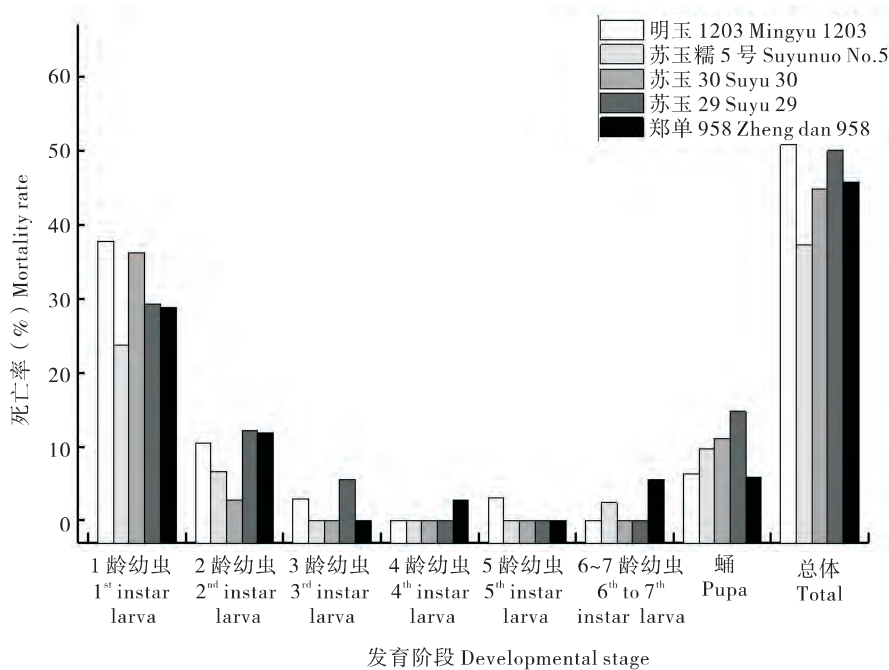


图 1 玉米品种对草地贪夜蛾幼虫和蛹死亡率的影响

Fig. 1 Effect of corn varieties on the mortality rates of *Spodoptera frugiperda* at larval and pupal stages

注: n = 295 (1 龄幼虫, 总体); n = 193 (2 龄幼虫); n = 185 (3 龄幼虫); n = 182 (4 龄幼虫); n = 181 (5 龄幼虫); n = 180 (6~7 龄幼虫); n = 177 (蛹)。各虫态死亡率在不同玉米品种之间的差异均不显著 (卡方检验, $P > 0.05$)。Note: n = 295 (1st instar larva, total); n = 193 (2nd instar larva); n = 185 (3rd instar larva); n = 182 (4th instar larva); n = 181 (5th instar larva); n = 180 (6th to 7th instar larva); n = 177 (Pupa). There was no significant difference in mortality rates among different maize varieties by Chi-square test ($P > 0.05$).

表 2 不同玉米品种饲养的草地贪夜蛾蛹重

Table 2 Pupal weight of *Spodoptera frugiperda* reared on different corn varieties

性别 Sex	蛹重 (g) Pupal weight					统计分析 Statistical analysis
	明玉 1203 Mingyu 1203	苏玉糯 5 号 Suyunuo No. 5	苏玉 30 Suyu 30	苏玉 29 Suyu 29	郑单 958 Zhengdan 958	
雌虫 Female	0.134 ± 0.024 c	0.148 ± 0.016 b	0.165 ± 0.024 a	0.158 ± 0.017 ab	0.147 ± 0.024 bc	$F_{4,76} = 4.389$ $P = 0.003$
雄虫 Male	0.132 ± 0.029 b	0.150 ± 0.015 ab	0.169 ± 0.026 a	0.160 ± 0.014 ab	0.162 ± 0.014 ab	$\chi^2(4) = 16.487$ $P = 0.002, n = 155$
总体 Total	0.133 ± 0.026 c	0.149 ± 0.015 bc	0.168 ± 0.025 a	0.159 ± 0.015 ab	0.155 ± 0.020 ab	$\chi^2(4) = 31.945$ $P < 0.001, n = 155$

注: 同一行数据不同小写字母表示蛹重在不同品种间差异显著 (雌虫: 单因素分析, Tukey 检验, $P < 0.05$; 雄虫和总体: 非参数检验, Kruskal-Wallis 检验, $P < 0.05$)。Note: Means in the same row followed by different lowercase letters indicated significant differences in pupal weight among different corn varieties (Female: ANOVA followed by Tukey's test, $P < 0.05$; Male and total: Nonparametric tests by Kruskal-Wallis, $P < 0.05$).

而雄成虫寿命的结果并没有表现出糯质型玉米长于普通玉米的趋势, 仅以糯质型苏玉糯 5 号稍长于其它品种, 但同为糯质型的明玉 1203 并不长于普通苏玉 29 和郑单 958 品种, 并且 5 个品种之间均无显著性差异 ($P > 0.05$)。单雌产卵量的情况却与雌成虫寿命相反, 3 种普通玉米均要高于 2 种糯质型玉米, 但是由于同组个体之间产卵量差异较大, 导致品种之间的差异并不显著 ($P > 0.05$)。此外, 5 个玉米品种在雌虫和成虫总体畸形率上存

在显著性差异 (雌虫: $\chi^2_{4,78} = 10.844, P = 0.022$; 总体: $\chi^2_{4,153} = 9.812, P = 0.044$), 而雌虫畸形率的差异并不显著 ($\chi^2_{4,70} = 2.086, P = 0.747$); 其中糯质型玉米明玉 1203 饲养的雌性 (50%)、雄性 (30.77%) 和总体 (41.38%) 成虫的畸形率均高于其它品种, 而雌虫 (0%) 和总体 (12.5%) 畸形率最低的均为苏玉 30, 雄虫畸形率最低的为糯质型的苏玉糯 5 号 (10%) (图 2)。

表 3 玉米品种对草地贪夜蛾成虫寿命和产卵量的影响

Table 3 Effect of corn varieties on adult longevity and fecundity of *Spodoptera frugiperda*

玉米品种 Corn varieties	雌虫寿命 (d) Female adult longevity	雄虫寿命 (d) Male adult longevity	单雌产卵量 (个) Number of eggs laid per female
明玉 1203 Mingyu 1203	13.15 ± 3.36 a	10.25 ± 3.37 a	264.43 ± 167.15 a
苏玉糯 5 号 Suyunuo No. 5	12.59 ± 3.63 a	11.14 ± 2.21 a	351.89 ± 204.15 a
苏玉 30 Suyu 30	12.24 ± 3.59 a	9.37 ± 1.74 a	494.00 ± 337.80 a
苏玉 29 Suyu 29	11.16 ± 3.95 a	10.89 ± 2.13 a	499.91 ± 327.47 a
郑单 958 Zhengdan 958	10.17 ± 3.43 a	10.27 ± 2.15 a	476.00 ± 306.01 a
统计分析 Statistical analysis	$F_{4,76} = 1.809, P = 0.136$	$F_{4,69} = 1.403, P = 0.242$	$F_{4,47} = 1.343, P = 0.268$

注: 同一列数据不同小写字母表示各参数在不同品种间差异显著 (ANOVA, Tukey 检验, $P < 0.05$)。Note: Means in the same column followed by different lowercase letters indicated significant differences between different varieties for the tested parameters (ANOVA followed by Tukey's test, $P < 0.05$).

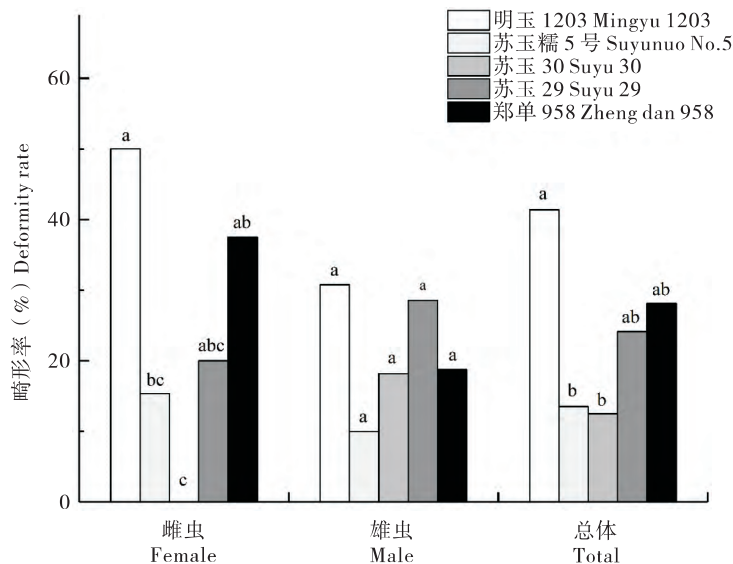


图 2 玉米品种对草地贪夜蛾成虫畸形率的影响

Fig. 2 Effect of corn varieties on the adult deformity rate of *Spodoptera frugiperda*

注: $n = 75$ (雄); $n = 83$ (雌); $n = 158$ (总体)。柱上不同小写字母表示不同玉米品种的成虫畸形率差异显著 (卡方检验, $P < 0.05$)。Note: $n = 75$ (Male); $n = 83$ (Female); $n = 158$ (Total). Different lowercase letters above bars indicated significant differences in adult deformity rate among different corn varieties by Chi-square test ($P < 0.05$).

2.5 草地贪夜蛾各虫龄幼虫对不同品种玉米的寄主选择

幼虫寄主选择结果表明: 除 6 龄幼虫外 ($\chi^2_{4,36} = 17.941, P=0.001$), 其它各龄幼虫对不同玉米品种的取食选择率间均无显著性差异 (1 龄: $\chi^2_{4,11} = 9.193, P=0.05$; 2 龄: $\chi^2_{4,31} = 6.736, P=0.151$;

3 龄: $\chi^2_{4,18} = 1.032, P=0.915$; 4 龄: $\chi^2_{4,34} = 7.179, P=0.127$; 5 龄: $\chi^2_{4,32} = 4.257, P=0.372$)。其中, 6 龄幼虫中选择郑单 958 玉米的比率显著高于选择明玉 1203 的比率 ($P<0.05$), 而与选择苏玉糯 5 号的比率无显著性差异 ($P>0.05$) (图 3)。

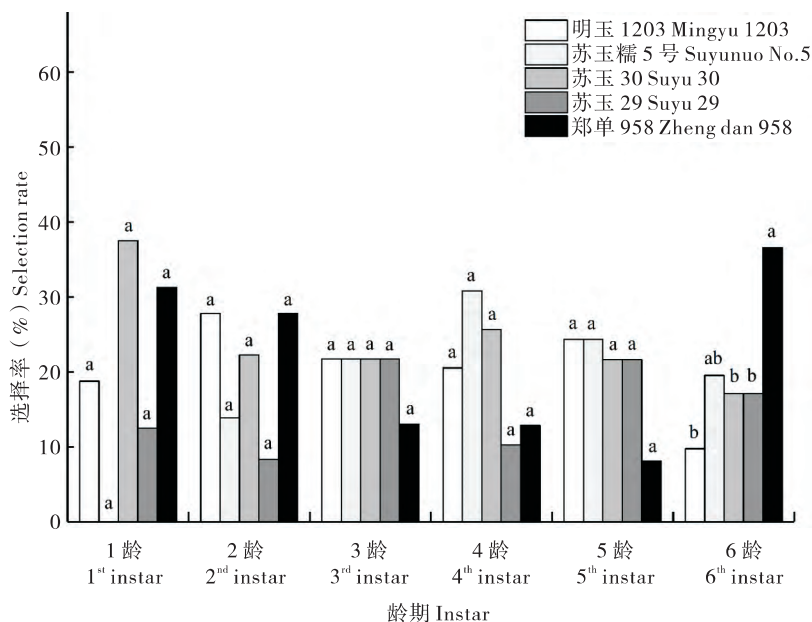


图 3 草地贪夜蛾幼虫的寄主选择

Fig. 3 Host selection of larva in *Spodoptera frugiperda*

注: $n=16$ (1 龄幼虫); $n=36$ (2 龄幼虫); $n=23$ (3 龄幼虫); $n=39$ (4 龄幼虫); $n=37$ (5 龄幼虫); $n=41$ (6 龄幼虫), 柱上不同小写字母表示该虫龄在不同玉米品种的取食选择率差异显著 (卡方检验, $P<0.05$)。

Note: $n=16$ (1st instar larva); $n=36$ (2nd instar larva); $n=23$ (3rd instar larva); $n=39$ (4th instar larva); $n=37$ (5th instar larva); $n=41$ (6th instar larva). The different lowercase letters above bars indicated significant differences of host selection rate among different corn varieties by Chi-square test ($P<0.05$).

3 结论与讨论

对于广食性昆虫而言, 取食不同的寄主将直接导致昆虫的生长发育发生变化 (尹皎, 2001)。因此, 寄主植物成为昆虫生态学家研究昆虫生长发育的一个重要生态因子 (Luo *et al.*, 2018)。本研究选择了 5 个不同玉米品种, 探讨了玉米品种对草地贪夜蛾生长发育与繁殖的影响, 结果表明: 糯质型玉米 (明玉 1203、苏玉糯 5 号) 饲养的草地贪夜蛾与普通玉米 (郑单 958、苏玉 29、苏玉 30) 饲养的之间存在着一定的差异, 幼虫发育历期与成虫寿命最长的草地贪夜蛾所取食的品种均为糯质型玉米, 而蛹重与产卵量最高的草地贪夜

蛾所取食的品种均为普通玉米; 取食糯质型玉米明玉 1203 的草地贪夜蛾各虫龄的死亡率与成虫的畸形率均为最高, 但取食同样为糯质型玉米苏玉糯 5 号的草地贪夜蛾死亡率和成虫畸形率均较低; 仅 6 龄幼虫对不同玉米品种的取食偏好性存在显著差异, 更倾向于取食普通玉米。

发育历期是昆虫的一种生理特征, 会受到寄主的影响而发生改变 (McClay and Hughes, 2007; Myers *et al.*, 2007)。本研究选择 5 个不同品种玉米饲养草地贪夜蛾后, 同样发现幼虫期和成虫寿命在各品种之间存在明显的差异, 并且都表现出糯质型玉米长于普通玉米的现象。但是, 戴钊萱等 (2020) 的结果与此相反, 其发现普通玉米饲养的草地贪夜蛾的幼虫期和成虫寿命均长于糯质

型,这可能由于实验中所使用的玉米品种和草地贪夜蛾饲养条件的不同。何莉梅等(2019)发现,草地贪夜蛾7龄幼虫出现的比例会随着温度的降低而增加。由此可解释,戴钊萱等(2020)的研究中并不存在7龄幼虫,而本试验中7龄幼虫较多,且以糯质型玉米多于普通玉米。然而,这种幼虫阶段的变化并没有显著影响蛹期,各品种玉米饲养下的蛹发育历期间没有显著性差异。

死亡率是研究昆虫适应性最直观的特征之一,受到多种因素的影响:包括温度、光照、寄主食物等(徐川峰等,2018)。本研究通过比较草地贪夜蛾各虫态在不同品种之间的死亡率发现,各虫态最高死亡率所对应的品种有所差异,如1龄幼虫为明玉1203、3龄幼虫为苏玉29、4龄幼虫为郑单958。以总体死亡率而言,最高值和最低值均为糯质型玉米,分别是明玉1203与苏玉糯5号。因此,无法据此认定普通玉米更适合草地贪夜蛾生长发育。而无论是糯质型玉米还是普通玉米,在1龄幼虫时的死亡率均为最高,其它各虫态的死亡率相对较低。这说明草地贪夜蛾低龄幼虫对外界环境的耐受性较差,容易死亡,而高龄幼虫的适应性更强,徐川峰等(2018)对樟叶蜂 *Mesoneura rufonota* 的研究亦得出了类似结果。

在研究昆虫的寄主选择时发现,除了发育历期与死亡率之外,蛹重、产卵量、孵化率等生物学参数都会因取食不同的寄主而发生变化(Ju *et al.*, 2011; Qin *et al.*, 2011)。本研究中,我们发现草地贪夜蛾的蛹重、成虫畸形率、雌成虫寿命、产卵量都因取食玉米品种的不同而有差异。其中糯质型玉米明玉1203饲养的草地贪夜蛾蛹重和产卵量均低于其它玉米品种,且成虫畸形率最高。综合以上所评估的昆虫适应性生物学参数,并结合已有类似研究(苏超等,2013),明玉1203是5种玉米中最不适合草地贪夜蛾生长发育的品种。有趣的是,明玉1203饲养的草地贪夜蛾雌成虫的寿命反而长于其它玉米品种。Stadler(1995)对蚜虫的研究发现,当寄主植物的质量不高时,蚜虫会将未受精胚胎作为能量物质进行吸收,为母体提供足够的能量得以生存。由此,推测草地贪夜蛾雌成虫可能采取了类似策略从而导致其寿命变得更长。综合以上参数,本研究认为明玉1203是5种玉米中最不适合草地贪夜蛾生长发育的品种。

作为常用且有效的方法,幼虫的寄主选择性

试验往往在研究人员观察昆虫取食偏好性时被选择(Boer and Hanson, 2011)。一般而言,寄主选择试验中,幼虫将对更适合生长发育的寄主植物产生一定的取食倾向性。李定银等(2019)对草地贪夜蛾的研究发现,3龄与4龄的幼虫均更多的选择取食玉米,而菜豆等寄主取食率则明显较低。本研究中草地贪夜蛾幼虫对不同玉米品种的取食偏好仅在6龄幼虫存在显著性差异,且倾向于选择普通玉米。

本文通过探究在不同品种玉米上草地贪夜蛾寄主适应性相关生物学参数的差异,基本明确了所选玉米品种对其生长发育与繁殖的影响。本研究中的5个玉米品种均为种植面积广泛的品种,因此,本试验的结果对于所选品种玉米的种植与草地贪夜蛾的防治提供了有效借鉴。未来开展草地贪夜蛾体内与本文所发现差异表型相关的基因、蛋白信号通路与玉米品种次生物质及营养物质的关系等研究,将进一步为草地贪夜蛾的防治提供有力的科学依据。

致谢:感谢江苏省农业科学院粮食作物研究所孟庆长研究员提供不同品种的玉米种子。

参考文献 (References)

- Boer G, Hanson FE. Foodplant selection and induction of feeding preference among host and non-host plants in larvae of the tobacco hornworm *Manduca sexta* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2011, 35 (2): 177-193.
- Chen H, Wu MF, Liu J, *et al.* Migratory routes and occurrence divisions of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in China [J]. *Journal of Plant Protection*, 2020, 47 (4): 747-757. [陈辉,武明飞,刘杰,等. 我国草地贪夜蛾迁飞路径及其发生区划 [J]. 植物保护学报, 2020, 47 (4): 747-757]
- Chen H, Yang XL, Chen AD, *et al.* Immigration timing and origin of the first fall armyworms (*Spodoptera frugiperda*) detected in China [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2020, 57 (6): 1270-1278. [陈辉,杨学礼,谯爱东,等. 我国最早发现为害地草地贪夜蛾的入侵时间及其虫源分布 [J]. 应用昆虫学报, 2020, 57 (6): 1270-1278]
- Dai QX, Li ZY, Tian YJ, *et al.* Effects of different corn varieties on development and reproduction of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31 (10): 3273-3281. [戴钊萱,李子园,田耀加,等. 不同品种玉米对草地贪夜蛾生长发育及繁殖的影响 [J]. 应用生态学报, 2020, 31 (10): 3273-3281]
- Guo ZX, He CX, Pu CX, *et al.* *Spodoptera frugiperda*: Host selection and effect on its growth and development [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2021, 37 (3): 139-144. [郭志祥,何成兴,

- 普春晓, 等. 草地贪夜蛾寄主选择性及其生长发育的影响 [J]. 中国农学通报, 2021, 37 (3): 139–144
- He LM, Ge SS, Chen YC, et al. The developmental threshold temperature, effective accumulated temperature and prediction model of developmental duration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (5): 18–26. [何莉梅, 葛世帅, 陈玉超, 等. 草地贪夜蛾的发育起点温度、有效积温和发育历期预测模型 [J]. 植物保护, 2019, 45 (5): 18–26]
- Huang Q, Ling Y, Jiang T, et al. Feeding preference and adaptability of *Spodoptera frugiperda* on three host plant [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (6): 1141–1146. [黄芊, 凌炎, 蒋婷, 等. 草地贪夜蛾对三种寄主植物的取食选择性及其适应性研究 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (6): 1141–1146]
- Jiang YY, Liu J, Xie MC, et al. Observation on law of diffusion damage of *Spodoptera frugiperda* in China in 2019 [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (6): 10–19. [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]
- Jiang YY, Liu J, Wu QL, et al. Investigation on winter breeding and overwintering areas of *Spodoptera frugiperda* in China [J]. *Plant Protection*, 2021, 47 (1): 212–217. [姜玉英, 刘杰, 吴秋琳, 等. 我国草地贪夜蛾冬繁区和越冬区调查 [J]. 植物保护, 2021, 47 (1): 212–217]
- Ju RT, Wang F, Wan FH, et al. Effect of host plants on development and reproduction of *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera: Curculionidae) [J]. *Journal of Pest Science*, 2011, 84 (1): 33–39.
- Li DY, Zhi JR, Zhang T, et al. Preference of *Spodoptera frugiperda* to four host plants [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (6): 50–54. [李定银, 鄧军锐, 张涛, 等. 草地贪夜蛾对 4 种寄主植物的偏好性 [J]. 植物保护, 2019, 45 (6): 50–54]
- Li XJ, Wu MF, Ma J, et al. Prediction of migratory routes of the invasive fall armyworm in eastern China using a trajectory analytical approach [J]. *Pest Management Science*, 2020, 76 (2): 454–463.
- Li ZY, Dai QX, Kuang ZL, et al. Effects of three artificial diets on development and reproduction of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (6): 1147–1154. [李子园, 戴钊萱, 卞昭琅, 等. 3 种人工饲料对草地贪夜蛾生长发育及繁殖力的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (6): 1147–1154]
- Lu H, Tang JH, Lv BQ, et al. Investigation on the population dynamics of *Spodoptera frugiperda* in winter corn planting areas of Hainan [J/OL]. *Chinese Journal of Tropical Crops*: 1–8. (2020–09–25) [2021–05–14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1019.s.20200924.1740.002.html>. [卢辉, 唐继洪, 吕宝乾, 等. 海南冬季玉米种植区草地贪夜蛾种群动态调查初报 [J/OL]. 热带作物学报: 1–8. (2020–09–25) [2021–05–14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1019.s.20200924.1740.002.html>]
- Luo D, Lai M, Xu C, et al. Life history traits in a capital breeding pine caterpillar: Effect of host species and needle age [J]. *BMC Ecology*, 2018, 18 (1): 1–8.
- McClay AS, Hughes RB. Temperature and host–plant effects on development and population growth of *Mecinus janthinus* (Coleoptera: Curculionidae), a biological control agent for invasive *Linaria* spp [J]. *Biological Control*, 2007, 40 (3): 405–410.
- Montezano D, Specht A, Sosa–Gómez DR, et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas [J]. *African Entomology*, 2018, 26 (2): 286–300.
- Myers CT, Hull LA, Krawczyk G. Effects of orchard host plants (apple and peach) on development of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2014, 100 (2): 421–430.
- Nagoshi RN. The fall armyworm triose phosphate isomerase (*Tpi*) gene as a marker of strain identity and interstrain mating [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 2010, 103 (2): 283–292.
- Nagoshi RN, Meagher RL, Adamczyk Jr JJ, 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.
- Qin Z, Wu J, Qiu B, et al. Effects of host plant on the development, survivorship and reproduction of *Dysmicoccus neobrevipes* Beardsley (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Crop Protection*, 2011, 30 (9): 1124–1128.
- Qiu LM, Liu QQ, Yang XJ, et al. Feeding and oviposition preference and fitness of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), on rice and maize [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2020, 63 (5): 604–612. [邱良妙, 刘其全, 杨秀娟, 等. 草地贪夜蛾对水稻和玉米的取食和产卵选择性与适合度 [J]. 昆虫学报, 2020, 63 (5): 604–612]
- Saldamando CI, Vélezarango AM. Host plant association and genetic differentiation of corn and rice strains of *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in Colombia [J]. *Neotropical Entomology*, 2010, 39 (6): 921–929.
- Sisay B, Simiyu J, Malusi P, et al. First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), natural enemies from Africa [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2018, 142 (8): 800–804.
- Sparks AN. A review of the biology of the fall armyworm [J]. *The Florida Entomologist*, 1979, 62 (2): 82–87.
- Stadler B. Adaptive allocation of resources and life–history trade-offs in aphids relative to plant quality [J]. *Oecologia*, 1995, 102 (2): 246–254.
- Stokstad E. New crop pest takes Africa at lightning speed [J]. *Science*, 2017, 356 (6337): 473–474.
- Su C, Jing J, Wang MM, et al. Effects of different host plants on the development and fecundity of *Lemyra alikangensis* (Strand) (Lepidoptera: Arctiidae) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50 (6): 1614–1621. [苏超, 景军, 王猛猛, 等. 不同寄主植物对三条橙灯蛾生长发育和繁殖的影响

- [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50 (6): 1614 - 1621]
- Tong PY. Zhengdan 958 still plays a leading role in the market after 20 years [J]. *Seed Science & Technology*, 2020, 38 (21): 1 - 2. [佟屏亚. 横亘 20 年郑单 958 依然市场唱主角 [J]. 种子科技, 2020, 38 (21): 1 - 2]
- Wang L, Chen KW, Zhong GH, et al. Progress for occurrence and management and the strategy of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Smith) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (3): 479 - 487. [王磊, 陈科伟, 钟国华, 等. 重大入侵害虫草地贪夜蛾发生危害、防控研究进展及防控策略探讨 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (3): 479 - 487]
- Xi C, Jiang YY, Mu L, et al. The potential distribution analysis and economic loss prediction of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) in Yunnan Province [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2019, 50 (6): 1226 - 1233. [喜超, 姜玉英, 木霖, 等. 草地贪夜蛾在云南的潜在适生区分析及经济损失预测 [J]. 南方农业学报, 2019, 50 (6): 1226 - 1233]
- Xu CF, Shi HN, Yin LX, et al. Comparison of female reproductive fitness and offspring life history traits between gamogenesis and parthenogenesis in the camphor sawfly, *Mesoneura rufonota* (Hymenoptera: Tenthredinidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2018, 61 (12): 1421 - 1429. [徐川峰, 石昊妮, 殷立新, 等. 樟叶蜂两性生殖与孤雌生殖方式下雌虫生殖适合度及子代生活史特征的比较 [J]. 昆虫学报, 2018, 61 (12): 1421 - 1429]
- Yang Y, Tian GL, Yi HM, et al. Analysis of the current status of protection of maize varieties in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53 (6): 1095 - 1107. [杨扬, 田红丽, 易红梅, 等. 中国玉米品种保护现状分析 [J]. 中国农业科学, 2020, 53 (6): 1095 - 1107]
- Ying J. The Population Growth of Meadow Moth, *Loxostege sticticalis*, as Affected by Host Plant Preference [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2001. [尹姣. 草地螟的寄主植物选择对其种群增长的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2001]
- Zhang L, Liu B, Jiang YY, et al. Molecular characterization analysis of fall armyworm populations in China [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (4): 20 - 27. [张磊, 柳贝, 姜玉英, 等. 中国不同地区草地贪夜蛾种群生物型分子特征分析 [J]. 植物保护, 2019, 45 (4): 20 - 27]