草地贪夜蛾对小麦的为害风险:取食为害性及解毒酶活性变化初探

王芹芹[1]， 崔 丽[1]， 王 立[1]， 黄伟玲[1]， 代黎明[2]， 袁会珠[1*]， 芮昌辉[1*]

(1. 中国农业科学院植物保护研究所，农业农村部作物有害生物综合治理重点实验室，北京 100193；2. 集宁师范学院，乌兰察布 012000)

摘要 为了探究草地贪夜蛾对小麦的为害风险，我们以取食玉米作为对照，开展研究取食小麦对草地贪夜蛾的存活率、取食选择性、生长量和3种解毒酶及乙酰胆碱酯酶的影响。结果表明：草地贪夜蛾初孵幼虫在小麦上的存活率与玉米并无显著差异，高达90%以上。用小麦连续饲喂3龄幼虫7 d，日均体重增加迅速，与取食玉米无显著差异($P>0.05$)。2龄幼虫取食选择率为小麦＞玉米，3龄和4龄幼虫的取食选择率为玉米＞小麦，但均无显著差异。值得注意的是，小麦饲喂48 h后草地贪夜蛾谷胱甘肽*S*-转移酶活性和多功能氧化酶含量表现为显著诱导上升，而羧酸酯酶和乙酰胆碱酯酶的活性无显著变化。本试验结果初步表明草地贪夜蛾存在为害小麦的风险，应加强草地贪夜蛾在麦田发生情况的监测，同时应重视草地贪夜蛾取食不同寄主对药剂敏感性机制的研究。

关键词 草地贪夜蛾； 玉米； 小麦； 取食选择性； 生长量； 解毒酶； 敏感性

中图分类号： S 431.2 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2019508

Risk analysis of the harm of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* to wheat: the harmfulness of feeding and change of detoxification enzyme activities

WANG Qinqin[1]， CUI Li[1]， WANG Li[1]， HUANG Weiling[1]， DAI Liming[2]， YUAN Huizhu[1*]， RUI Changhui[1*]

(1. *Key Laboratory of Integrated Pest Management in Crops*, *Ministry of Agriculture and Rural Affairs*, *Institute of Plant Protection*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100193, *China*; 2. *Jining Normal University*, *Wulanchabu* 012000, *China*)

Abstract In order to explore the risk of the pest to wheat, we take corn as comparison, research on the survival rate, feeding choice rate, growth and three detoxification enzymes and acetylcholinesterase activities of *Spodoptera frugiperda* after feeding wheat. The results show that there was no significant difference between the survival rate of the newly hatched larvae on wheat and maize, up to 90%. Feeding the 3-instar larvae with wheat continuously for 7 days, the average daily weight increased rapidly, and there was no significant difference than corn treatment ($P>0.05$). The feeding selection rate of 2-instar larvae was wheat＞maize, and that of 3-instar and 4-instar were maize＞wheat, but there was no significant difference. It is worth noting that after feeding wheat 48 h, the activity of glutathione *S*-transferase and the content of multifunctional oxidase of *S. frugiperda* were significantly induced and enhanced, but the activities of carboxylesterase and acetylcholinesterase were not significantly affected. The results of this experiment preliminarily indicated that is a risk that *S. frugiperda* can harm wheat, and the monitoring of it's occurrence in wheat fields should be strengthened. At the same time, more attention should be paid to the study on the mechanism of susceptibility to different host of *S. frugiperda*.

Key words *Spodoptera frugiperda*; maize; wheat; feeding choice rate; growth; detoxification enzyme; susceptibility

收稿日期： 2019－09－22 **修订日期：** 2019－09－26

基金项目： 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(Y2019YJ06)；国家重点研发计划(2016YFD0200504)

* 通信作者 E-mail：袁会珠 hzhyuan@ippcaas.cn；芮昌辉 chrui@ippcaas.cn

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*（J. E. Smith）属鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae 灰翅夜蛾属 *Spodoptera*，又名秋黏虫[1]。其主要特点是寄主广泛，从非洲防治草地贪夜蛾主要登记作物来看，主要包括玉米、高粱、甘蔗、小麦、花生、蔬菜和棉花等农作物[2]。据 2019 年 9 月 17 号农业农村部召开新闻发布会介绍，目前草地贪夜蛾在我国发生范围极广，自今年 1 月份草地贪夜蛾入侵中国以来，全国已有 25 个省（区）发现草地贪夜蛾，见虫面积 100 多万 hm^2，实际为害面积 16.4 万 hm^2。

玉米和小麦为我国主要粮食作物，均为禾本科作物。我国南方如广西、广东等草地贪夜蛾发生严重的地区，多见其为害玉米、甘蔗等，未见其为害小麦，这与我国的种植结构有关。同时亚热带季风气候使得草地贪夜蛾能在我国南方越冬定殖，并成为我国又一个“北迁南回，周年循环”的重大迁飞性害虫。小麦作为我国的主要粮食作物之一，其栽培遍及全国，包括河北、山西、河南、山东、安徽、湖北、江苏、四川、陕西等地区。根据秦誉嘉等[3]关于迁飞性害虫草地贪夜蛾在我国的潜在地理分布的预测，以上小麦主要产区都有草地贪夜蛾的分布。其预测结果表明我国四川、湖北、安徽、江苏等省需对草地贪夜蛾进行全年监测及防控。山东、河南、河北、山西、陕西等省需在春、夏、秋季，对该虫进行监测防控。事实和研究均表明迁飞性害虫草地贪夜蛾能够在小麦主产区全年或春、夏、秋季节性发生，且其温度耐受范围广[4-6]，研究其对我国小麦的为害风险，是一项迫切需要明确的科学问题。

朱麟等[7]研究发现植物产生的次生物质对昆虫具有防御作用。而植食性昆虫的解毒系统如谷胱甘肽 S-转移酶（GSTs）、羧酸酯酶（CarE）、乙酰胆碱酯酶（AChE）和 多功能氧化酶（MFO）等能够代谢有毒的植物次生物质使得害虫能够取食得以生存[8-11]。目前国内关于寄主植物与害虫的研究多集中在朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus*[12]，小菜蛾 *Plutella xylostella*[13]，桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis*[14]，西花蓟马 *Frankliniella occidentalis*[15]，二斑叶螨 *Tetranychus urticae*[15]，光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis*[16]、美国白蛾 *Hyphantria cunea*[11]和麦长管蚜 *Sitobion avenae*[17]等害虫，而国外针对草地贪夜蛾的类似报道较少，据报道寄主植物不仅能够影响害虫的解毒酶活性，还在药剂敏感性上表现出差异。如草地贪夜蛾对玉米和牧草的偏好能够影响其对氯氰菊酯（cypermethrin）、甲基对硫磷（methyl parathion）、灭多威（methomyl）以及 Bt 杀虫剂的敏感性[18-19]，而其多功能氧化酶活性会因寄主不同而发生适应性变化，如其中以水稻为寄主的草地贪夜蛾的多功能氧化酶活性显著低于以玉米和牧草为寄主植物的草地贪夜蛾[20]。可见昆虫取食寄主植物的过程会对 3 种解毒酶及乙酰胆碱酯酶活性产生影响，进而使得害虫对不同杀虫剂的敏感性也表现出差异。同时草地贪夜蛾具有强大的迁飞能力，且我国作物种类多样，谁会成为草地贪夜蛾的为害目标，是目前较为迫切需要明确的科学问题。基于此，以玉米为参照，我们探索了草地贪夜蛾对小麦取食为害，以及取食小麦对草地贪夜蛾三种解毒酶和乙酰胆碱酯酶是否产生影响，以期为草地贪夜蛾在麦田的监测预报和针对不同寄主深入研究药剂敏感性差异提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试虫源及寄主材料

供试草地贪夜蛾卵来源于 2019 年 6 月采自广西南宁（22.45°N，108.30°E）田间玉米种群，室内人工饲料饲养（饲料配方待发表）。饲养条件：温度（27±1）℃，相对湿度 80%～90%，光周期 L∥D＝14 h∥10 h。供试玉米品种为‘先玉 335’，小麦品种为‘周麦 27’，两种作物均处于幼苗期，株高约为 30 cm。

1.2 试验方法

1.2.1 草地贪夜蛾初孵幼虫在玉米和小麦上的存活率

将初孵幼虫接到带有新鲜玉米叶片和小麦叶片的 9 cm 培养皿里，每个培养皿接入 20 头，重复 3 次。第 3 天观察幼虫的存活数，并计算存活率。

1.2.2 草地贪夜蛾对玉米和小麦的选择性

方法参考李定银等[21]，略有改动。用细记号笔在培养皿（直径 9 cm）底部将其平均划分为 2 个等面积，一半放小麦叶片，一半放玉米叶片。选取生长一致的幼虫，每皿中心处接入 1 头幼虫，盖上培养皿盖子以防止试虫逃逸并用 PE 膜封口，避光放置5 h。5 h 后观察取食情况，记录幼虫选择的植物。试虫为以人工饲料室内饲养的 2 龄、3 龄和 4 龄草地贪夜蛾幼虫，各龄期幼虫试验前饥饿 5 h。每个虫龄每组测定 20 头，各龄期分别重复 3 次。试验环境条件同饲养条件。

1.2.3 小麦对草地贪夜蛾 3 龄幼虫生长量的影响

选取 3 龄初幼虫称量 0 d 的体重并编号,每组处理 50 头。分别用玉米和小麦饲喂,称量记录饲喂 1、2、3、4、5、6 d 和 7 d 的体重。试验环境条件同饲养条件。

1.2.4 小麦对草地贪夜蛾 3 龄幼虫解毒酶及乙酰胆碱酯酶活性的影响

选取 3 龄初幼虫分别用玉米和小麦饲喂,分别于 0、2、4、6、12、24 h 和 48 h 取样 5 头制备粗酶液,作为待测酶液。多功能氧化酶(MFO)含量、谷胱甘肽 *S*-转移酶(GSTs)和乙酰胆碱酯酶(AChE)的活性直接用待测酶液测定,羧酸酯酶(CarE)的活性将待测酶液用 0.1 mol/L 的 PBS 缓冲液(pH 7.0)稀释 20 倍后进行测定,具体酶活性测定方法参照王芹芹等[22]。

1.2.5 总蛋白含量测定

采用 Bradford[23]的考马斯亮蓝(G-250)方法测定总蛋白含量。

1.3 统计分析

存活率、取食选择率、生长量和酶比活力测定结果数据用 Excel 进行统计,使用 DPS 生物统计软件进行统计分析,其中多功能氧化酶以每毫克总蛋白中 MFO 的含量表示,单位为 μg/mg,小麦和玉米处理间利用 *t* 检验进行比较分析,显著性水平分别为 $P<0.05$。利用 Origin 8 制图软件制图。

$$存活率=\frac{幼虫存活数}{处理幼虫总数}\times 100\%;$$

$$取食选择率=\frac{取食小麦/玉米虫数}{处理总虫数}\times 100\%;$$

$$酶比活力(\Delta OD/mg\cdot min)=\frac{\Delta OD}{T\times Pr\times V}$$

V 为酶促反应酶液总体积(L),Pr 为蛋白质含量(mg/L),T 为反应总时间(min)。

2 结果与分析

2.1 草地贪夜蛾在玉米和小麦上的存活率

草地贪夜蛾 1 龄幼虫能够在玉米和小麦上存活,且存活率高达 90%以上,分别为 93.33%和 96.67%(表 1),差异不显著。

2.2 草地贪夜蛾对玉米和小麦的取食选择性

草地贪夜蛾 2~4 龄幼虫活动性大,易发生转移为害。本试验观察了草地贪夜蛾 2 龄、3 龄和 4 龄幼虫对小麦和玉米的取食选择性。表 2 为不同龄期草地贪夜蛾幼虫对玉米和小麦的取食选择性,结果显示 2 龄、3 龄和 4 龄幼虫对玉米和小麦的取食选择率没有显著差异,说明草地贪夜蛾幼虫对玉米和小麦没有明显的取食偏好。

表 1　草地贪夜蛾 1 龄幼虫在玉米和小麦上的存活率[1)]

Table 1　Survival rates of 1st instar larvae on maize and wheat

寄主 Host	存活率/% Survival rate	*P*-value
玉米 Maize	(93.33±3.33)a	0.52
小麦 Wheat	(96.67±3.33)a	

1) 表中数据为平均值±标准误。同列数据后相同小写字母表示小麦和玉米处理差异不显著($P>0.05$, *t* 检验)。下同。
Data in the table are mean±SE. Data with the same letter indicates insignificant difference between the wheat and maize treatment ($P>0.05$, *t*-test). The same applies below.

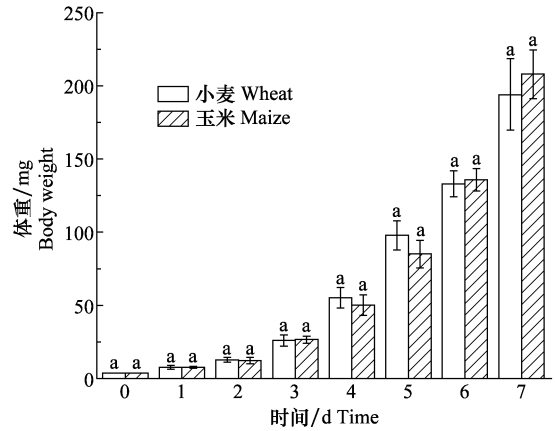
表 2　不同龄期草地贪夜蛾幼虫对玉米和小麦的取食选择性

Table 2　The feeding choice rate of different instar larvae to maize and wheat

寄主 Host	取食选择率/% Feeding choice rate		
	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar
小麦 Wheat	(56.02±3.62)a	(47.22±2.78)a	(48.15±1.85)a
玉米 Maize	(44.81±2.89)a	(52.78±2.78)a	(51.85±1.85)a
P-value	0.08	0.29	0.23

2.3 取食玉米和小麦对草地贪夜蛾生长量的影响

图 1 为采用新鲜小麦和玉米叶片饲喂草地贪夜蛾 3 龄幼虫 7 d 的体重变化。



图中数据为平均值和标准误。相同处理时间的体重上相同小写字母表示小麦和玉米处理差异不显著($P>0.05$, *t*检验)
Data in the figure are mean and SE. Same letters on the bar indicate insignificant difference between wheat and maize treatment at the same day ($P>0.05$, *t*-test)

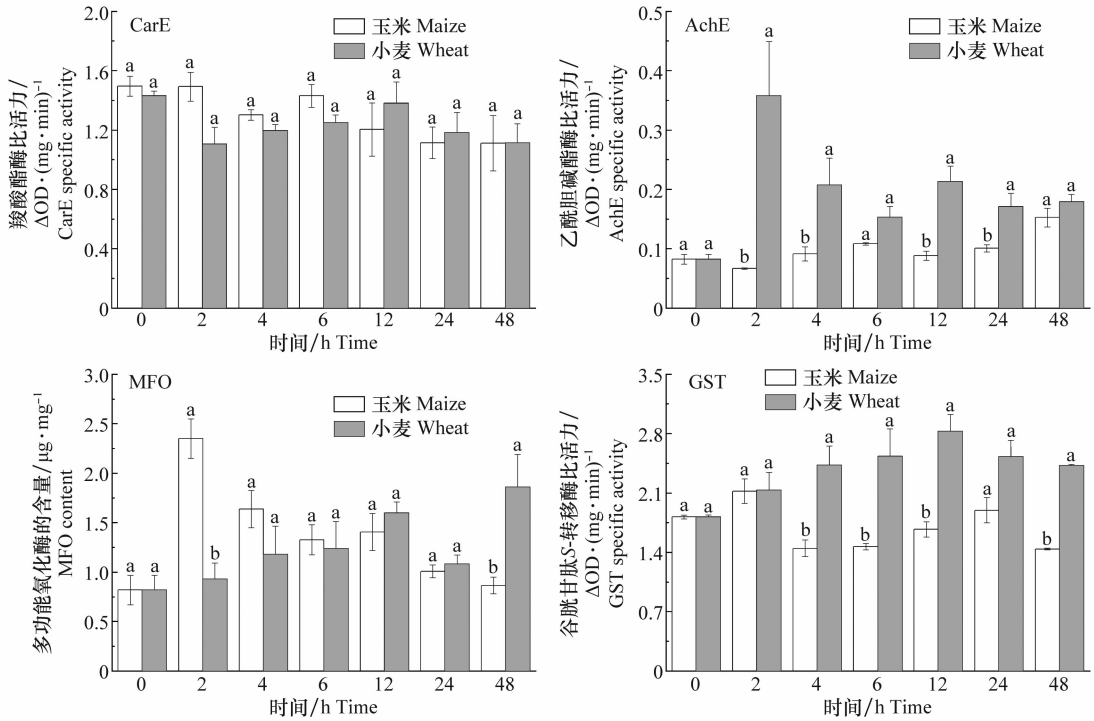
图 1　新鲜小麦和玉米叶片饲喂对草地贪夜蛾 3 龄幼虫体重的影响

Fig. 1　Effects of feeding with fresh wheat and maize leaves on body weight of 3rd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

如图所示，小麦和玉米饲喂的草地贪夜蛾幼虫体重每天都在成倍增加，第 7 天的体重分别为(194.09±24.43)mg 和(207.98±16.72)mg，分别是第 0 天(3.6±0.33)mg 和(3.9±0.17)mg 的 53.91 倍和 53.33 倍。利用 t 测验进行比较发现，小麦和玉米饲喂草地贪夜蛾不同时间幼虫体重均没有显著差异。相比于取食玉米，取食小麦对草地贪夜蛾的生长没有不利影响。

2.4 玉米和小麦对草地贪夜蛾解毒酶及乙酰胆碱酯酶活性的影响

图 2 为分别取食玉米和小麦 2、4、6、12、24 h 和 48 h 后，草地贪夜蛾 3 龄幼虫体内相关酶活性及 MFO 含量的变化。结果显示：取食小麦对草地贪夜蛾的谷胱甘肽 S-转移酶、多功能氧化酶和乙酰胆碱酯酶均有一定影响(图 2)。以取食玉米为对照，具体表现为取食小麦 4、6、12、48 h，其谷胱甘肽 S-转移酶活性均显著升高($P<0.05$)。多功能氧化酶在取食小麦 2 h 后被显著抑制，其含量显著低于玉米处理($P<0.05$)，然而处理 48 h 后，其含量显著高于玉米处理($P<0.05$)。乙酰胆碱酯酶活性则分别在 2、4、12、24 h 被显著诱导增强，其他时间小麦处理对相关酶活性的影响与玉米处理差异均不显著($P>0.05$)。值得注意的是，48 h 饲喂结果表明，相比饲喂玉米，饲喂小麦对草地贪夜蛾谷胱甘肽 S-转移酶活性和多功能氧化酶含量表现为诱导上升，而对羧酸酯酶和乙酰胆碱酯酶的活性无显著性影响。



图中数据为平均值和标准误。相同时间下不同小写字母表示取食小麦和取食玉米差异显著($P<0.05$, t检验)
Data in the figure are mean±SE. Different small letters above bars indicate significant difference between wheat and maize treatment at the same time ($P<0.05$, t-test)

图 2 取食玉米和小麦对草地贪夜蛾 3 龄幼虫解毒酶和乙酰胆碱酯酶活性的影响

Fig. 2 Effect of feeding maize and wheat on detoxification enzymes and acetylcholinesterase in the 3rd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

3 讨论

张磊等[24]的研究表明，入侵我国云南省的草地贪夜蛾大部分为玉米型。其能够为害玉米、甘蔗、高粱、皇竹草、荞麦、菜豆、薏米等作物[21,25]。据报道，在云南和广东，草地贪夜蛾在烟草和水稻上均能完成生活史，但在烟草和水稻上的适合度显著低于在玉米上的适合度[26-27]。这与我们在广西南宁田间观察到草地贪夜蛾多为害玉米而不为害水稻的现象一致。表明玉米是草地贪夜蛾优先偏爱的寄主，当缺乏玉米时，草地贪夜蛾便会转移为害其他的作物。由于我国特殊的种植结构，在部分地区，春、冬小麦播种和收获时间与春玉米和夏玉米多有重合，使得草地贪夜蛾有条件在玉米和小麦之间发生转移

为害。国外农民早已对防治草地贪夜蛾积累了丰富的经验，已登记用于玉米和小麦上防治草地贪夜蛾的药剂有灭多威(methomyl)和高效氯氰菊酯(*beta*-cypermethrin)[2]。

据国外报道小麦是除玉米、黑麦草、高粱外草地贪夜蛾最喜产卵的作物之一[28]，而草地贪夜蛾的人工饲料配方中也多含有小麦胚芽粉[29-30]。本研究结果显示，与取食玉米相比，草地贪夜蛾的初孵幼虫在小麦上的存活率高达 90%以上，2～4 龄幼虫对小麦和玉米的取食选择性也无显著差异，同时 3 龄幼虫取食小麦后，日均体重与取食小麦的幼虫也没有显著差异($P>0.05$)，初步表明草地贪夜蛾对小麦具有为害风险。且我们通过室内初步观察，草地贪夜蛾可以在小麦上完成生活史，下一步我们将通过更系统的生活史研究(两性-生命表法)更全面的掌握该害虫在小麦上是否确实能像取食玉米一样很好地完成整个生长发育、繁殖的生活史。

草地贪夜蛾对药剂的敏感性变化往往与其解毒酶活性增强和靶标敏感性降低有关[1]。本文以取食玉米为对照，短时诱导后测定酶活性，结果表明，取食小麦对草地贪夜蛾的多功能氧化酶含量、谷胱甘肽 *S*-转移酶和乙酰胆碱酯酶活性均有一定影响(图 2)。据文献报道以玉米和牧草为寄主的草地贪夜蛾种群对拟除虫菊酯类、有机磷类、氨基甲酸酯类以及 Bt 蛋白杀虫剂的敏感性不同[18-19]，取食不同寄主植物能够影响害虫相关解毒酶活性已被诸多文献报道证实[11-17,20]。本研究中，取食小麦 48 h 后草地贪夜蛾谷胱甘肽 *S*-转移酶活性表现为诱导增强，多功能氧化酶含量也进一步上升，初步推测，这一差异可能导致草地贪夜蛾对不同药剂敏感性发生变化，而杀虫剂敏感性差异将直接影响化学防治策略的选择。目前关于室内长期连续取食小麦和玉米多代后对草地贪夜蛾药剂敏感性差异的影响尚无文献报道，有待进一步探究。

本文室内研究结果初步证实了草地贪夜蛾能够在小麦上正常取食生长，具有为害小麦的重大风险。至于草地贪夜蛾全生育期取食不同寄主(特别是不同的主要农作物)是否存在不同的生理生化适应性类型，有待更详细的研究探讨。如利用两性-生命表法，通过更系统的生活史研究证明该害虫在小麦上确实能像取食玉米一样完成整个生长发育、繁殖的生活史。也可通过饲喂取食玉米和小麦多代后，考察草地贪夜蛾对杀虫剂的敏感性变化，为更好地解释草地贪夜蛾对不同寄主的适应性及制定合理的防治策略提供参考。

参考文献

[1] 王芹芹，崔丽，王立，等. 草地贪夜蛾对杀虫剂的抗性研究进展[J]. 农药学学报，2019，21(4)：401－408.

[2] 崔丽，芮昌辉，李永平，等. 国外草地贪夜蛾化学防治技术的研究与应用[J]. 植物保护，2019，45(4)：7－13.

[3] 秦誉嘉，蓝帅，赵紫华，等. 迁飞性害虫草地贪夜蛾在我国的潜在地理分布[J]. 植物保护，2019，45(4)：43－47.

[4] PRASANNA B M，HUESING J E，EDDY R，et al. Fall armyworm in Africa：a guide for integrated pest management (January 2018)[R]. US Agency for International Development，CGIAR Research Program on Climate Change，Agriculture and Food Security，2018.

[5] 张智，郑乔，张云慧，等. 草地贪夜蛾室内种群抗寒能力测定[J]. 植物保护，2019，45(6)：43－49.

[6] 王芹芹，崔丽，王立，等. 14 种杀虫剂对草地贪夜蛾的杀卵活性[J]. 植物保护，2019，45(6)：80－83.

[7] 朱麟，古德祥，吴海昌. 昆虫对植物次生性物质的生态适应机制[J]. 福建林业科技，1998(2)：60－63.

[8] LI Xianchun，SCHULER M A，BERENBAUM M R. Molecular mechanisms of metabolic resistance to synthetic and natural xenobiotics [J]. Annual Review of Entomology，2007，2(1)：231－253.

[9] WANG Y H，GU Z Y，WANG J M，et al. Changes in the activity and the expression of detoxification enzymes in silkworms (*Bombyx mori*) after phoxim feeding [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology，2013，105(1)：13－17.

[10] RIGSBY C M，SHOWALTER D N，HERMS D A，et al. Physiological responses of emerald ash borer larvae to feeding on different ash species reveal putative resistance mechanisms and insect counter-adaptations [J]. Journal of Insect Physiology，2015，78(8)：47－54.

[11] 李路莎，袁郁斐，武磊，等. 不同寄主植物对美国白蛾幼虫取食行为及解毒酶活性的影响[J]. 昆虫学报，2018，61(2)：232－239.

[12] 戴宇婷，张友军，吴青君，等. 寄主植物对朱砂叶螨药剂敏感性及解毒酶活性的短期诱导研究[J]. 应用昆虫学报，2013，50(2)：382－387.

[13] 尹飞，陈焕瑜，李振宇，等. 取食不同寄主植物小菜蛾对氯虫苯甲酰胺敏感性及体内解毒酶活性的变化[J]. 应用昆虫学报，2013，50(5)：1335－1340.

[14] 宋国华，刘洛明，段爱菊. 不同寄主植物对桃蛀螟解毒酶活性的影响[J]. 湖北农业科学，2014，53(1)：70－72.

[15] 郅军锐，田甜，温娟，等. 西花蓟马或二斑叶螨为害的菜豆对两者间后取食者体内保护酶和解毒酶活性的影响[J]. 昆虫学报，2016，59(7)：707－715.

[16] 阎雄飞，万涛，刘永华. 4 种寄主对光肩星天牛成虫解毒酶活性影响[J]. 中国农学通报，2016，32(14)：79－83.

[17] 李时荣，葛朝虹，刘德广，等. 寄主植物对不同基因型麦长管蚜解毒酶活性的影响[J]. 西北农业学报，2018，27(2)：283－293.

[18] ADAMCZYK J J，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.

[19] INGBER D A，MASON C E，FLEXNER L. Cry1 Bt susceptibilities of fall armyworm (Lepidoptera：Noctuidae) host strains [J]. Journal of Economic Entomology，2018，111(1)：361－368.

[20] VEENSTRA K H，PASHLEY D P，OTTEA J A. Host-plant adaptation in fall armyworm host strains：comparison of food consumption，utilization，and detoxication enzyme activities [J]. Annals of The Entomological Society of America，1995，88(1)：80－91.

[21] 李定银，郅军锐，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.

[22] 王芹芹，崔丽，王奇渊，等. 棉铃虫对茚虫威的抗性机理：PBO，DEF 和 DEM 的增效作用及解毒酶活性[J]. 昆虫学报，2017，60(8)：912－919.

[23] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. Analytical Biochemistry，1976，72(1/2)：248－254.

[24] 张磊，靳明辉，张丹丹，等. 入侵云南草地贪夜蛾的分子鉴定[J]. 植物保护，2019，45(2)：19－24.

[25] 刘杰，姜玉英，吴秋琳，等. 我国草地贪夜蛾冬春季发生为害特点及下半年发生趋势分析[J]. 中国植保导刊，2019，39(7)：36－38.

[26] 徐蓬军，张丹丹，王杰，等. 草地贪夜蛾对玉米和烟草的偏好性研究[J]. 植物保护，2019，45(4)：61－64.

[27] 吴正伟，师沛琼，曾永辉，等. 3 种寄主植物饲养的草地贪夜蛾种群生命表[J]. 植物保护，2019，45(6)：59－64.

[28] PITRE H N，MULROONEY J E，HOGG D B. Fall armyworm (Lepidoptera：Noctuidae) oviposition：crop preferences and egg distribution on plants [J]. Journal of Economic Entomology，1983，76(3)：463－466.

[29] KASTEN P，PRECETTI A A C M，PARRA J R P. Dados biológicos comparativos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith，1797) em duas dietas artificiais e substrato natural [J]. Revista de Agricultura，1978，53：69－78.

[30] BOLZAN A，PADOVEZ F E，NASCIMENTO A R，et al. Selection and characterization of the inheritance of resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera：Noctuidae) to chlorantraniliprole and cross-resistance to other diamide insecticides [J/OL]. Pest Management Science，2019. DOI：10.1002/ps.5376.

（责任编辑：杨明丽）

（上接 62 页）

[9] 李元喜，刘树生. 寄主对拟寄生昆虫产卵行为的防御[J]. 中国生物防治，1999，15(3)：130－134.

[10] 金凤，嵇保中，刘曙雯，等. 昆虫产卵分泌物的产生方式、成分及功能[J]. 昆虫学报，2009，52(9)：1008－1016.

[11] 朱凯辉，周金成，张柱亭，等. 短管赤眼蜂对草地贪夜蛾和斜纹夜蛾不同日龄卵的寄生能力及子代蜂适合度[J]. 植物保护，2019，45(5)：54－59.

[12] 陈丽. 夜蛾黑卵蜂与拟澳洲赤眼蜂寄主适应性差异研究[D]. 广州：华南农业大学，2011：40－42.

[13] 霍梁霄，周金成，宁素芳，等. 夜蛾黑卵蜂寄生草地贪夜蛾和斜纹夜蛾卵的生物学特性[J]. 植物保护，2019，45(5)：60－64.

[14] BUENO R C O F，CARNEIRO T R，BUENO A F，et al. Parasitism capacity of *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera：Scelionidae) on *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera：Noctuidae) eggs [J]. Brazilian Archives of Biology and Technology，2010，53(1)：133－139.

[15] CAVE R D. Biology，ecology and use in pest management of *Telenomus remus* [J]. Biocontrol News and Information，2000，21(1)：21N－26N.

[16] HERNANDEZ D，FERRER F，LINARES B. Introduccion de *Telenomus remus* Nixon (Hym.：Scelionidae) para controlar *Spodoptera frugiperda* (Lep.：Noctuidae) en Yaritagua-Venezuela [J]. Agronomía Tropical，1989，39(4/6)：199－205.

[17] 陈万斌，李玉艳，王孟卿，等. 草地贪夜蛾的天敌昆虫资源、应用现状及存在的问题与建议[J]. 中国生物防治学报，2019，35(5)：658－673.

[18] 赵旭，朱凯辉，张柱亭，等. 夜蛾黑卵蜂对草地贪夜蛾田间防效的初步评价[J/OL]. 植物保护：1－5[2019－10－22]. https：//doi.org/10.16688/j.zwbh.2019533.

[19] BOWLING C C. Rearing of two lepidopterous pests of rice on a common artificial diet [J]. Annals of the Entomological Society of America，1967，60(6)：1215－1216.

[20] R Core Team. R：A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing，Vienna，Austria [EB/OL]. [2019－03－11]. https：//www.r-project.org/.

[21] 杨帅，张龙喜，赵旭，等. 夜蛾黑卵蜂雌、雄蜂鉴别方法及雌蜂寄生草地贪夜蛾卵的行为特征[J/OL]. 植物保护：1－6[2019－10－10]. https：//doi.org/10.16688/j.zwbh.2019496.

[22] COSSENTINE J E，LEMIEUX J，ZHANG Yong. Comparative host suitability of viable and nonviable codling moth (Lepidoptera：Tortricidae) eggs for parasitism by *Trichogramma platneri* (Hymenoptera：Trichogrammatidae) [J]. Environmental Entomology，1996，25(5)：1052－1057.

[23] 刘欢，李磊，牛黎明，等. 寄主对蝇蛹俑小蜂发育及寄生效能的影响[J]. 生物安全学报，2016，25(3)：194－198.

[24] HARVEY J A，STRAND M R. The developmental strategies of endoparasitoid wasps vary with host feeding ecology [J]. Ecology，2002，83(9)：2439－2451.

（责任编辑：杨明丽）