

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2025.05.011

# 苹果蠹蛾在11个核桃品种上的适合度研究

杨嘉文<sup>1</sup>, 曲昱璇<sup>1</sup>, 黄莎莎<sup>1</sup>, 王玉香<sup>1</sup>,  
滕子文<sup>1</sup>, 刘博<sup>2</sup>, 刘万学<sup>3</sup>,  
万方浩<sup>1,2</sup>, 周洪旭<sup>1</sup>

- 青岛农业大学 植物医学学院/山东省环境友好型农业有害生物防治工程技术研究中心/山东省生物入侵与生态安全高校特色实验室/中澳作物健康与入侵生物国家科技合作基地, 山东 青岛 266109;
- 中国农业科学院 深圳农业基因组研究所, 广东 深圳 518120;
- 中国农业科学院 植物保护研究所, 北京 100193

**摘要:** 以世界性检疫害虫苹果蠹蛾(*Cydia pomonella*)为研究对象, 探究其在11个核桃品种上的适合度, 评估其潜在为害风险。试验以11个核桃品种为寄主, 通过产卵选择与生长发育试验获取产卵量、卵期、卵孵化率、幼虫蛀果率等生物学参数。结果表明: 在11个核桃品种中, 苹果蠹蛾在元林上的产卵量最高, 为4.74粒/果; 在西林1号上的卵期最长(8.19 d); 在岱香上的卵期最短(5.50 d), 且其卵孵化率最低, 也无蛀果率; 幼虫在鲁核1号上的蛀果率最高(66.03%), 在鲁康9号上的蛀果率最低(2.78%)。经综合分析, 苹果蠹蛾在元林、鲁核1号、日地3个品种上的适合度较高, 在西林1号、鲁康9号、鲁果2号、岱香4个品种上的适合度较低。研究明确了苹果蠹蛾在11个核桃品种上的危害潜力, 为生产中的果树品种合理布局提供了理论依据。

**关键词:** 苹果蠹蛾; 核桃; 适合度; 寄主

中图分类号: S433.4

文献标识码: A

文章编号: 2097-1354(2025)05-0090-07

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## The Fitness of *Cydia pomonella* on 11 Walnut Cultivars

YANG Jiawen<sup>1</sup>, QU Yuxuan<sup>1</sup>, HUANG Shasha<sup>1</sup>,  
WANG Yuxiang<sup>1</sup>, TENG Ziwen<sup>1</sup>, LIU Bo<sup>2</sup>,  
LIU Wanxue<sup>3</sup>, WAN Fanghao<sup>1,2</sup>, ZHOU Hongxu<sup>1</sup>

收稿日期: 2025-06-12

基金项目: 青岛市产业培育计划科技惠民专项-对口支援和科技帮扶项目(24-1-4-2-zyyd-nsh); 国家重点研究计划(2021YFD1400200)。

作者简介: 杨嘉文, 硕士研究生, 研究方向为农业害虫成灾机理与综合防治。

通信作者: 周洪旭, 教授, 博士生导师。

1. College of Plant Medicine, Qingdao Agricultural University/Shandong Provincial Engineering Research Center for Environment-Friendly Agricultural Pest Control/Shandong Provincial University Characteristic Laboratory of Biological Invasion and Ecological Security/China-Australia National Science and Technology Cooperation Base for Crop Health and Invasive Species, Qingdao Shandong 266109, China;
2. Shenzhen Institute of Agricultural Genomics, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Shenzhen Guangdong 518120, China;
3. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China

**Abstract:** In this paper, *Cydia pomonella*, a world quarantine pest, was studied to explore its suitability on 11 walnut varieties and evaluate its potential harm risk. Utilizing oviposition preference experiments and growth and development performance assays, biological parameters including fecundity, egg stage, egg hatching rate and fruit-boring rate were measured. The results demonstrated that among the 11 walnut varieties, *C. pomonella* laid the highest number of eggs on Yuanlin, with an average of 4.74 eggs per fruit. The longest egg period occurred on ‘Xilin 1’ (8.19 d), while the shortest was on ‘Daixiang’ (5.50 d). Moreover, ‘Daixiang’ also showed the lowest egg hatching rate and no fruit-boring. Larval fruit-boring rate on ‘Luhe 1’ was the highest (66.03%), and that on ‘Lukang 9’ was the lowest (2.78%). Comprehensive analysis indicated that the fitness of *C. pomonella* on ‘Yuanlin’, ‘Luhe 1’ and ‘Ridi’ was higher, whereas lower fitness was observed on ‘Xilin 1’, ‘Lukang 9’, ‘Luguo 2’ and ‘Daixiang’. This research clarifies the damage potential of *C. pomonella* on 11 walnut cultivars, providing a theoretical foundation for optimizing distribution of cultivars in production.

**Key words:** *Cydia pomonella*; walnut; fitness; host

苹果蠹蛾(*Cydia pomonella*), 属鳞翅目(Lepidoptera)卷叶蛾科(Tortricidae)小卷蛾亚科(Olethreutinae)<sup>[1]</sup>, 是世界上发生危害最严重的检疫害虫之一<sup>[2]</sup>。其主要在幼虫期进行危害, 并有转果危害的特点, 1头幼虫可蛀食3~4个果实<sup>[3]</sup>, 常对果园造成毁灭性破坏。苹果蠹蛾起源于欧亚大陆中南部地区<sup>[4]</sup>, 到目前为止已经遍布世界6大洲70多个国家和地区<sup>[5]</sup>。1953年, 张学祖在我国新疆库尔勒地区首次发现苹果蠹蛾的踪迹<sup>[6]</sup>, 20世纪80年代苹果蠹蛾已经遍布新疆全境<sup>[7]</sup>。随着我国改革开放的深入, 地区间经贸活动日趋频繁, 苹果蠹蛾传播速度加快, 在传入甘肃省敦煌市之后持续向东扩散<sup>[8]</sup>。截至2024年8月, 根据农业农村部办公厅印发的《全国农业植物检疫性有害生物分布行政区名录》通知(农办农〔2024〕18号), 苹果蠹蛾疫情在我国天津、河北、内蒙古、甘肃、辽宁、吉林、黑龙江、新疆、宁夏9个省(自治区、直辖市)的194个县(市、区、旗)有分布<sup>[9]</sup>。

核桃(*Juglans regia* L.)又称胡桃, 是我国重要的经济林树种<sup>[10]</sup>。我国是世界核桃产量最高的国家之一<sup>[11]</sup>, 而新疆的核桃种植面积及产量领先我国其他省份, 核桃产业是新疆农业经济的重要支柱。2020年, 苹果蠹蛾在新疆和田县发生面积为12 000 hm<sup>2</sup>, 蛀果率高达40%<sup>[12]</sup>, 对当地核桃产业发展造成严重威胁。目前苹果蠹蛾已入侵的部分省份, 如新疆、甘肃、河北皆为我国核桃生产大省<sup>[13]</sup>, 根据CLIMEX-DYMEX 2.0气候模型预测, 苹果蠹蛾有向陕西、河南、山西、山东等核桃生产大省入侵扩散的趋势<sup>[14-15]</sup>。因此, 随着苹果蠹蛾在核桃产区的持续扩散蔓延, 其对我国核桃产业的危害将逐渐加重, 导致核桃产量下降、果实品质受损, 会带来巨大的经济损失和生态压力。

入侵种到达一个新地区能否在当地生存定殖与该区域内是否有适合其生长发育的寄主密切相关<sup>[16]</sup>。目前关于苹果蠹蛾在不同核桃品种上适合度的相关研究鲜有报道, 为了更准确地

了解苹果蠹蛾在不同品种核桃寄主上的适合度,为农业生产中果树品种合理布局提供理论依据,本研究选取在生产中种植的11个核桃品种为供试寄主,探究苹果蠹蛾成虫产卵选择性及其幼虫在不同核桃寄主上的生长发育适合度,为防范苹果蠹蛾在核桃产区的扩散蔓延提供理论和实践依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试虫源为中国农业科学院深圳农业基因组研究所提供的苹果蠹蛾 ZY 品系,该种群在养虫室内用人工饲料连续饲养多代,种群情况稳定。饲养条件:温度为 $(24 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,相对湿度为 $(65 \pm 5)\%$ ,光周期为 L/D=16 h/8 h。供试11种核桃于2023年8月初采自山东省果树研究所品种园,包括鲁果2号、岱辉、辽宁4号、元林、岱香、鲁康9号、香玲、日地、鲁果1号、西林1号、鲁核1号(图1)。

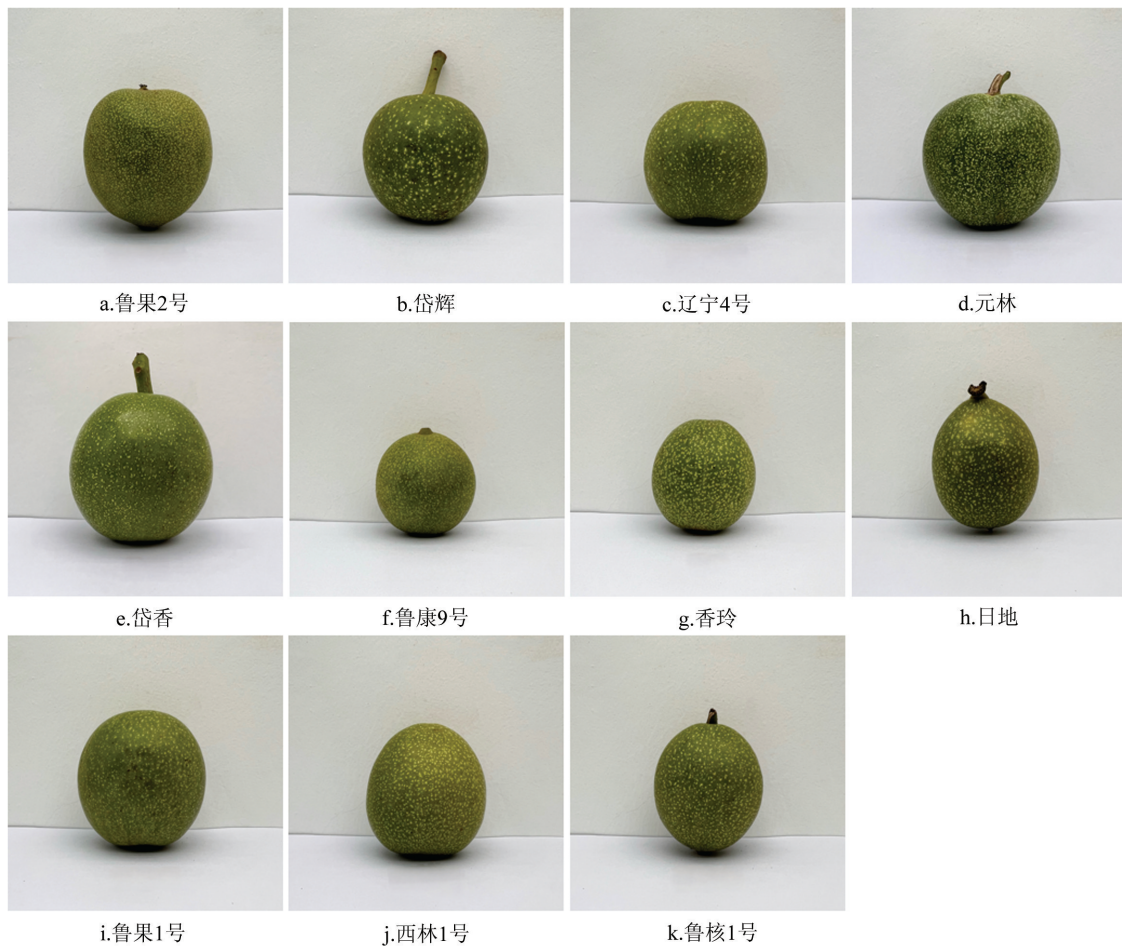


图1 供试核桃品种

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 苹果蠹蛾在不同核桃品种上的产卵选择

选择不同品种的新鲜核桃各1个,放入四周贴满纱布的养虫笼(40 cm×60 cm×60 cm)底部,每个核桃间保持适当间距,挑选完成羽化1~2 d的苹果蠹蛾雌、雄成虫各10只放入养虫

笼内,饲喂10%蜂蜜水。每24 h取出果实,记录苹果蠹蛾雌成虫在不同品种核桃寄主上的产卵量。设置6笼重复,且每笼重复中的相同品种核桃果实位置摆放不同,共计观察7 d。饲养条件如同“1.1”。

### 1.2.2 苹果蠹蛾在不同核桃品种上的生长发育情况

将已完成产卵选择试验的带卵核桃果实放入预先扎孔的塑料盒(14 cm×9 cm×7 cm)中,在盒子底部放一块湿润的化妆棉维持盒内湿度。随着卵粒孵化,幼虫啃食核桃并向果实内钻蛀,果实表面留下啃食痕迹和虫洞。每日检查果实表面的虫洞周围是否有虫粪,以判断果实内幼虫的存活状况,及时清理虫洞及周围的虫粪,记录卵期、卵孵化率、幼虫蛀果率等数据至幼虫化蛹结束观察。

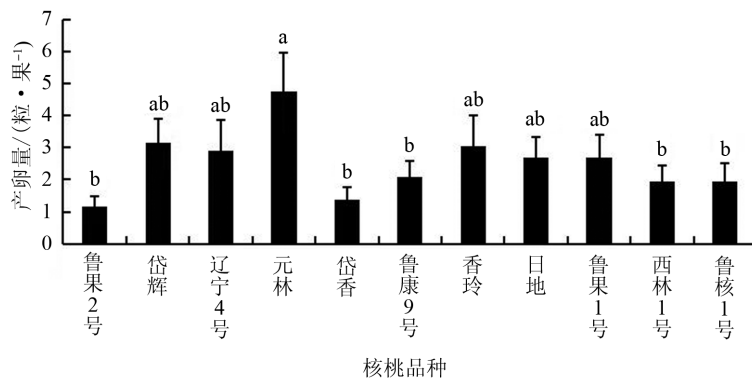
### 1.3 数据处理与分析

利用 Microsoft Excel 2021 对所有数据进行初步整理,采用 SPSS 27.0 对产卵选择试验所获取的雌成虫产卵量数据进行广义线性分析,对生长发育试验所获数据(卵期、卵孵化率、幼虫蛀果率)采用 ANOVA 单因素检验进行差异性分析,利用 Duncan 氏多重比较进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 11个核桃品种对成虫产卵选择的影响

图2表明,苹果蠹蛾在11个核桃品种果实上的产卵量存在显著差异( $p < 0.05$ )。在元林上的产卵量最大,为4.74粒/果,显著高于鲁康9号、西林1号、鲁核1号、岱香、鲁果2号等品种;鲁果2号的产卵量最少,为1.17粒/果。



注:图中数据为“平均数±标准误”,柱上不同小写字母表示经 Duncan 氏多重比较差异显著( $p < 0.05$ ),下同。

图2 苹果蠹蛾雌虫在11种核桃寄主上的产卵量

### 2.2 11个核桃品种对苹果蠹蛾卵期、卵孵化率和幼虫蛀果率的影响

苹果蠹蛾卵在不同核桃品种上孵化的卵期存在显著差异( $p < 0.05$ )。在西林1号上卵期最长,为8.19 d,显著高于其他10个品种;在岱香上孵化所需的卵期最短,为5.50 d。其余9个品种的卵期均集中在6.13~6.54 d,无显著差异(表1)。

卵在不同品种核桃上的孵化率存在显著差异( $p < 0.05$ )。在元林上的孵化率最高(26.95%),其次为日地(20.84%)和鲁核1号(15.81%),在岱香上孵化率最低(2.48%)(表1)。

苹果蠹蛾幼虫在不同品种核桃上的蛀果率存在显著差异( $p < 0.05$ )。其中,在鲁核1号上

为 66.03%，显著高于鲁果 2 号(22.22%)、岱辉(20.67%)、辽宁 4 号(17.34%)、鲁康 9 号(2.78%)等品种，在岱香上蛀果率为 0(表 1)。

表 1 11 种核桃寄主对苹果蠹蛾卵期、卵孵化率、幼虫蛀果率的影响

核桃品种	卵期/d	卵孵化率/%	幼虫蛀果率/%
鲁果 2 号	(6.53±0.49)b	(10.01±3.98)bc	(22.22±14.69)bc
岱辉	(6.44±0.15)b	(12.71±4.42)bc	(20.67±10.30)bc
辽宁 4 号	(6.35±0.15)b	(14.71±4.25)abc	(17.34±8.32)bc
元林	(6.40±0.12)b	(26.95±5.27)a	(48.09±8.43)ab
岱香	(5.50±0.29)c	(2.48±1.40)c	0
鲁康 9 号	(6.32±0.13)b	(11.01±3.41)bc	(2.78±2.78)c
香玲	(6.54±0.22)b	(10.21±3.12)bc	(46.83±10.01)ab
日地	(6.51±0.20)b	(20.84±4.64)ab	(51.67±14.65)ab
鲁果 1 号	(6.13±0.15)b	(13.01±4.20)bc	(36.67±15.27)abc
西林 1 号	(8.19±0.47)a	(8.53±3.12)bc	(38.33±15.59)abc
鲁核 1 号	(6.33±0.19)b	(15.81±4.42)abc	(66.03±11.57)a

注:表中数据为“平均数±标准误”,同列数据后不同小写字母表示差异显著( $p < 0.05$ , Duncan 氏多重比较)。

### 3 结论与讨论

寄主植物是影响植食性昆虫生存、生长、发育和繁殖的重要因素<sup>[17]</sup>。成虫产卵选择对昆虫的繁衍具有关键作用,研究植食性昆虫对不同寄主植物的产卵选择性是探索昆虫和植物协同进化的重要内容之一<sup>[18]</sup>,特别是在适合度较高的寄主植物上,植食性昆虫往往能表现出更强的生殖力<sup>[19]</sup>。本研究发现,在产卵选择试验中,雌成虫更偏好产卵在元林上,在岱辉、香玲上的偏好性也较高,而在岱香和鲁果 2 号上的偏好性较低,这说明苹果蠹蛾在 11 个核桃品种寄主上有明显的产卵选择性差异;在生长发育试验中,苹果蠹蛾在元林上的卵孵化率最高,幼虫蛀果率也相对较高,而在鲁果 2 号与岱香上的卵孵化率和蛀果率也相对偏低。综上,即苹果蠹蛾成虫对不同核桃品种的产卵选择和幼虫适合度表现出一致性,这一结果与南亚果实蝇和稻暮眼蝶成虫产卵偏好选择幼虫生长发育良好的寄主植物种类的结果相同<sup>[20-21]</sup>。除此之外,其他学者关于不同寄主植物对昆虫影响的试验也验证了不同寄主植物对昆虫的产卵选择和生长发育具有显著影响<sup>[22-24]</sup>。在岱辉与辽宁 4 号上,其产卵量分别为 3.17 粒/果与 2.90 粒/果,幼虫的蛀果率却相对偏低,这一现象与甜菜夜蛾的研究结果类似,即植食性昆虫对寄主植物的产卵偏好性和幼虫取食选择性并不完全一致<sup>[25]</sup>。这种不一致性表明,昆虫对寄主的产卵偏好性与幼虫的生长发育之间存在复杂的联系,可能受到多种因素的综合影响。植食性昆虫在不同品种寄主上的适合度受诸多因素的共同作用,包括寄主植物种类、物理结构特征、所含营养物质及寄主植物挥发物、遗传因素以及田间生物和非生物影响因素<sup>[26]</sup>。其中,最直接的作用方式是植物通过一些次生代谢产物作用于植食性昆虫来保护自身,如梨中的槲皮素在苹果蠹蛾取食后含量会明显升高,并对其生长发育起抑制作用<sup>[27]</sup>;在曹小艳等<sup>[10]</sup>的研究中,核桃青皮中的胡桃醌含量与核桃青皮对苹果蠹蛾的抗性呈正相关。根据研究结果推测,在岱辉、辽宁 4 号、鲁康 9 号、岱香等核桃品种内极可能含有影响苹果蠹蛾生殖发育的物质,但目前影响机制尚不明确,还需通过果实物质成分测定、饲喂试验等其他手段进一步深入研究。因此,在后续试验中应综合多种影响因素并结合田间综合表现,以明确苹果蠹蛾在不同品种核桃上的适合度情况。综合雌虫产

卵量、卵孵化率及幼虫蛀果率数据,发现苹果蠹蛾在元林、鲁核1号、日地3个品种上的适合度较高,潜在危害更大,在西林1号、鲁康9号、鲁果2号、岱香4个品种上的适合度较低,潜在危害较小。

本文通过研究苹果蠹蛾对不同核桃品种的产卵选择性及其幼虫在不同核桃品种上的生长发育情况,通过系统分析相关生物学参数,揭示了苹果蠹蛾对不同核桃品种的适合度差异。研究表明,苹果蠹蛾在不同核桃品种上的产卵量、幼虫蛀食率及生长发育表现存在显著差异,这不仅为核桃抗虫品种的选育提供了理论基础,也为我国核桃种植结构的优化布局以及苹果蠹蛾的精准防控提供了科学依据。近年来,有研究发现入侵我国新疆的苹果蠹蛾种群开始危害核桃果实<sup>[12]</sup>。本研究结果显示,苹果蠹蛾在元林、鲁核1号、日地等核桃品种上表现出较高的适合度,表明这些品种可能成为苹果蠹蛾的新适宜寄主。寄主谱的扩张不仅为苹果蠹蛾提供了更多的食物资源和栖息环境,还可能增强其种群适应性和扩散能力,进而增加成灾风险。特别是在核桃种植区,苹果蠹蛾的入侵可能导致更严重的生态和经济损失。因此,针对寄主谱扩张的趋势,建议在核桃种植区加强苹果蠹蛾的监测与防控,同时推广适合度较低的核桃品种,以降低苹果蠹蛾的种群密度和扩散风险。

#### 参考文献:

- [1] KADOIĆ BALAŠKO M, BAŽOK R, MIKAC K M, et al. Pest Management Challenges and Control Practices in Codling Moth: a Review[J]. *Insects*, 2020, 11(1): 38.
- [2] 程才, 杨其斌, 尚吉荣, 等. 苹果蠹蛾综合防治技术要点[J]. *西北园艺(果树专刊)*, 2008(6): 23-24.
- [3] 于昕, 王玉晗, 李红卫, 等. 苹果蠹蛾的发生现状、监测技术及防治方法研究进展[J]. *植物检疫*, 2020, 34(1): 1-6.
- [4] WAN F H, YIN C L, TANG R, et al. A Chromosome-Level Genome Assembly of *Cydia Pomonella* Provides Insights into Chemical Ecology and Insecticide Resistance[J]. *Nature Communications*, 2019, 10: 4237.
- [5] ZHU H Y, KUMARS, NEVEN L G. Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae) Establishment in China: Stages of Invasion and Potential Future Distribution[J]. *Journal of Insect Science*, 2017, 17(4): 85.
- [6] 张学祖. 苹果蠹蛾(*Carpocapsa pomonella* L.)在我国的新发现[J]. *昆虫学报*, 1957(4): 467-472.
- [7] 努尔古丽·马坎, 岳朝阳, 克热曼, 等. 苹果蠹蛾对新疆林果业发展影响的评估及风险管理[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(6): 129-132.
- [8] 秦晓辉, 马德成, 张煜, 等. 苹果蠹蛾在我国西北发生危害情况[J]. *植物检疫*, 2006, 20(2): 95-96.
- [9] 农业农村部办公厅. 全国农业植物检疫性有害生物分布行政区名录[EB/OL]. (2024-08-14)[2025-02-18]. [https://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202409/t20240902\\_6461580.htm](https://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202409/t20240902_6461580.htm).
- [10] 曹小艳, 叶晓琴, 阿地力·沙塔尔. 核桃果皮对苹果蠹蛾为害的防御响应[J]. *林业科学研究*, 2023, 36(6): 126-133.
- [11] 种伟. 我国核桃主要产区优势良种分布及其生产利用[J]. *林业科技通讯*, 2018(9): 60-63.
- [12] 曹小艳, 叶晓琴, 曹海霞, 等. 苹果蠹蛾在和田地区2个核桃品种上的种群动态[J]. *南京农业大学学报*, 2024, 47(5): 864-872.
- [13] 曹彦清. 我国核桃产业发展现状分析[J]. *山西果树*, 2014(5): 46-49.
- [14] 武目涛, 邵思, 周慧, 等. 2030年气候条件下苹果蠹蛾全球适生区预测[J]. *检验检疫学刊*, 2018, 28(2): 38-41.
- [15] GUO S W, GE X Z, ZUO Y, et al. Projecting the Global Potential Distribution of *Cydia Pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) under Historical and RCP4.5 Climate Scenarios[J]. *Journal of Insect Science*, 2021, 21(2): 15.

- [16] 陆宴辉, 张永军, 吴孔明. 植食性昆虫的寄主选择机理及行为调控策略[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 5113-5122.
- [17] 亓方剑, 张童, 朱雁飞, 等. 桔小实蝇在黄瓜上连代饲养的种群适合度研究[J]. 植物医学, 2023, 2(3): 41-50.
- [18] 郭线茹, 李为争, 董钧锋, 等. 植食性昆虫寄主植物选择假说述介[J]. 应用昆虫学报, 2021, 58(6): 1245-1256.
- [19] AWMACK C S, LEATHER S R. Host Plant Quality and Fecundity in Herbivorous Insects[J]. Annual Review of Entomology, 2002, 47: 817-844.
- [20] 李貌, 陈婷, 张金龙, 等. 南亚果实蝇对不同品种西葫芦的产卵选择及生长适应性[J]. 植物保护, 2024, 50(4): 154-160, 175.
- [21] MOLLEMAN F, HALALI S, KODANDARAMAIAH U. Oviposition Preference Maximizes Larval Survival in the Grass-Feeding Butterfly *Melanitis Leda* (Lepidoptera: Nymphalidae)[J]. European Journal of Entomology, 2020, 117: 1-17.
- [22] 罗明磊, 田小草, 刘万学, 等. 重大入侵害虫番茄潜叶蛾在4个烟草品种上的适合度评估[J]. 植物保护, 2022, 48(6): 162-168.
- [23] 梁晓, 陈青, 伍春玲, 等. 不同木薯品种对二斑叶螨的抗性鉴定与评价[J]. 热带农业科学, 2022, 42(11): 73-79.
- [24] 刘欢, 张勇, 陈巨莲. 草地贪夜蛾在不同小麦品种上的取食选择性和适应性及其与叶片生化物质含量的关系[J]. 昆虫学报, 2021, 64(2): 230-239.
- [25] 张娜, 郭建英, 万方浩, 等. 甜菜夜蛾对不同寄主植物的产卵和取食选择[J]. 昆虫学报, 2009, 52(11): 1229-1235.
- [26] 梁薇, 麻亚辉, 陈丽慧, 等. 寄主植物对植食性昆虫选择行为影响的研究进展[J]. 生物灾害科学, 2022, 45(3): 299-304.
- [27] ZHANG S P, BAI B, CHEN G M, et al. Secondary Metabolites in Host Pears Defense Against Two Fruit Borers and Cytochrome-P450-Mediated Counter-Defense[J]. iScience, 2024, 27(4): 109518.

责任编辑 杨光明