

引用格式:

杨露, 汤勇, 张政兵, 林宇丰, 贺华良, 丁文兵, 邱林, 李有志. 草地贪夜蛾在玉米与水稻寄主转换过程中的适应性及生理响应[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2023, 49(2): 190–194.

YANG L, TANG Y, ZHANG Z B, LIN Y F, HE H L, DING W B, QIU L, LI Y Z. Adaptation and physiological response of *Spodoptera frugiperda* during its corn-rice host switching[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2023, 49(2): 190–194.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



草地贪夜蛾在玉米与水稻寄主转换过程中的适应性及生理响应

杨露¹, 汤勇², 张政兵³, 林宇丰³, 贺华良¹, 丁文兵¹, 邱林¹, 李有志^{1*}

(1.湖南农业大学植物保护学院, 湖南长沙 410128; 2.常德市农业农村局, 湖南常德 415000; 3.湖南省植保植检站, 湖南长沙 410005)

摘要: 为评估草地贪夜蛾从玉米转移为害水稻的风险, 将室内以玉米叶继代饲养 10 代以上的草地贪夜蛾初孵幼虫分别饲喂玉米叶和水稻叶, 其后代为 CnC1 和 CnR1; CnR1 组用水稻叶继代饲养 8 代后再分为 2 组, 一组继续饲喂水稻叶并繁殖 1 代(CnR8R1), 另一组取食玉米并繁殖 1 代(CnR8C1), 分别观察、记录这 4 个种群幼虫的历期, 计算其存活率、繁殖力, 测定其营养效应和中肠消化酶活性。结果表明: CnC1 组的幼虫历期最短(17.46 d), 而 CnR1 幼虫历期最长(23.24 d), 这两者间差异显著; CnR1 组存活率显著低于其他处理组; CnC1 组单雌产卵量最高(693 粒), CnR1 组的单雌产卵量最低(384 粒); CnR1 组和 CnR8R1 组幼虫的相对取食量均显著低于 CnC1 组和 CnR8C1 组的; 4 个处理组间幼虫食物利用率和转化率的差异不显著; 寄主转换过程中幼虫中肠的胃蛋白酶活性的差异显著, 但脂肪酶和淀粉酶活性的差异不显著。由此可见, 从幼虫的存活率、繁殖力、营养效应、中肠消化酶活性综合来看, 取食水稻叶的种群重新转移为害玉米后不会影响其在玉米上的种群增长速率; 水稻虽不是草地贪夜蛾的最适寄主, 但草地贪夜蛾从玉米转移至水稻后仍具有逐渐适应取食并为害水稻的潜力。

关键词: 草地贪夜蛾; 玉米; 水稻; 寄主转换; 适应性; 营养效应; 消化酶

中图分类号: S433.4; Q969.436.5 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2023)02-0190-05

Adaptation and physiological response of *Spodoptera frugiperda* during its corn-rice host switching

YANG Lu¹, TANG Yong², ZHANG Zhengbing³, LIN Yufeng³,

HE Hualiang¹, DING Wenbing¹, QIU Lin¹, LI Youzhi^{1*}

(1.College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.Agricultural and Rural Bureau of Changde City, Changde, Hunan 415000, China; 3.Plant Protection Station of Hunan Province, Changsha, Hunan 410005, China)

Abstract: To evaluate the risk of *Spodoptera frugiperda*(*S. frugiperda*) switching from corn to rice, after 10 generations of successive feeding on corn leaves in the laboratory, the newly hatched *S. frugiperda* larvae were fed corn and rice, respectively, and the following generations, CnC1 and CnR1, were produced. The CnR1 was fed with rice leaves for 8 generations and then divided into 2 groups. One group continued to feed on rice and reproduced 1 generation(CnR8R1), and the other group fed on corn and reproduced 1 generation(CnR8C1). Then, the duration of larvae in CnC1, CnR1,

收稿日期: 2022-09-07

修回日期: 2023-01-09

基金项目: 湖南省科学技术厅重点研发计划项目(2020NK2034); 湖南省科学技术厅项目(2021ZK4010); 长沙市科学技术局自然科学基金项目(kq2202226)

作者简介: 杨露(1996—), 男, 重庆市潼南区人, 硕士研究生, 主要从事水稻害虫的综合治理研究, 15703071933@163.com; *通信作者, 李有志, 博士, 教授, 主要从事水稻害虫的综合治理研究, liyouzhi@hunau.edu.cn

CnR8R1 and CnR8C1 treatment groups was recorded, the survival rate and fecundity were calculated, and nutritional effect and digestive enzyme activity were also detected. These results indicate that larval duration of CnC1 was the shortest(17.46 d) and of CnR1 was the longest(23.24 d), with significant difference between the two groups. The survival rate of CnR1 was significantly lower than those of other treatments. CnC1 group had the most eggs laid per female(693 eggs), whereas CnR1 had the fewest eggs laid per female(384 eggs). Additionally, the relative consumption rate of CnR1 and CnR8R1 larvae was significantly lower than those of CnC1 and CnR8C1. The efficiency of conversion of ingested and digested food of larvae showed no significant difference among the four treatment groups. There was significant difference in pepsin activity of larval midgut during host transition period, but there were no significant difference in lipase and amylase activities. Therefore, it was determined that the population growth rate on corn was unaffected when the population on rice was host re-switching to corn, based on larval survival rate, fecundity, nutritional effect and digestive enzyme activity. Although rice is not the most suitable host for *S. frugiperda*, it still has the potential to adapt to feeding on and damaging rice after it switched from corn to rice.

Keywords: *Spodoptera frugiperda*; corn; rice; host switch; adaptation; nutritional effect; digestive enzyme

草地贪夜蛾(*Spodoptera frugiperda*)隶属于鳞翅目(Lepidoptera)夜蛾科(Noctuidae),是多食性、远距离迁飞性害虫^[1]。2019年,草地贪夜蛾入侵中国云南省并迅速扩散至27个省(市、自治区),其主要为害玉米,造成重大经济损失^[2]。草地贪夜蛾的寄主范围十分广泛,可取食76科353种寄主植物,包括玉米、高粱、水稻、小麦、花生、甘蔗等作物^[3-4]。草地贪夜蛾在美洲已演化出玉米型和水稻型2种生物型,入侵中国云南地区的为玉米型^[5]。唐运林等^[6]研究发现,入侵重庆地区的草地贪夜蛾种群既有水稻型又有玉米型,说明该地草地贪夜蛾可能并不是单一虫源。邱良妙等^[7]比较了草地贪夜蛾对玉米和水稻的取食选择,发现其偏好选择取食玉米的种群增长趋势指数更大。另有研究^[8]表明,相比甘蔗和水稻,取食玉米的草地贪夜蛾幼虫生长更快;蛹体质量更大。吕亮等^[9]的研究结果表明,取食小麦的草地贪夜蛾的食物利用效率、种群净增殖率低于取食玉米的。取食不同杂草的草地贪夜蛾的脂肪酶和淀粉酶活性存在显著性差异^[10]。小麦上的草地贪夜蛾多功能氧化酶和GSTs转移酶活性比玉米的上升^[11]。水稻继代饲养后,草地贪夜蛾幼虫的胰蛋白酶和糜蛋白酶活性高于第1代取食水稻的幼虫^[12]。

目前,草地贪夜蛾在玉米和水稻间相互转换的适应性和生理机制尚不明确。笔者研究了该虫在玉米和水稻寄主植物转换过程中幼虫的历期、繁殖能力、营养效应指标以及中肠消化酶活性的变化,现将结果报告如下。

1 材料与方法

1.1 材料

2019年5月,从湖南省郴州市玉米田采集草地贪夜蛾,在人工气候培养箱用玉米叶饲养10代以上。饲养条件:温度(26±1)℃,相对湿度(70±10)%,每天光照14h、黑暗10h。供试玉米品种为‘科航6号’,水稻品种为‘黄华占’。

1.2 方法

1.2.1 草地贪夜蛾寄主转换处理

以玉米叶继代饲养10代以上的草地贪夜蛾种群为Cn。Cn初孵幼虫,使一部分继续取食玉米叶,为CnC1种群;转移另一部分,使其取食水稻叶,为CnR1种群。CnR1后代幼虫饲喂水稻叶继代饲养8代,其初孵幼虫,一部分继续取食水稻,为CnR8R1种群;转移另一部分,使其取食玉米,为CnR8C1种群。

1.2.2 草地贪夜蛾发育状况的观察和测定

采用离体叶片饲养法^[13]饲养草地贪夜蛾,观察、记录其生长发育状态。参照HUANG等^[14]的方法,计算草地贪夜蛾幼虫的生长历期、存活率、成虫产卵前期、产卵期、单雌产卵量和寿命,以及内禀增长率、周限增长率、净增殖率、平均世代周期等种群参数。

1.2.3 草地贪夜蛾幼虫营养指标的测定

参照王琛柱^[15]的方法,分别以玉米叶和水稻叶饲喂草地贪夜蛾5龄幼虫48h,称量试前和试

后幼虫、饲料叶片的干质量,计算幼虫的相对生长率、相对取食量、食物利用率、食物转化率、近似消化率。

1.2.4 草地贪夜蛾的中肠消化酶活性的测定

分别用胃蛋白酶、 α -淀粉酶和脂肪酶试剂盒(南京建成生物工程研究所出品)测定草地贪夜蛾 5 龄幼虫的中肠胃蛋白酶、 α -淀粉酶和脂肪酶活性。

1.3 数据处理

用 Twosex-MsChart-2021 软件^[16]分析草地贪夜蛾发育数据。用 SPSS 24 软件处理营养效应、酶活性等数据,采用单因素方差分析及 Duncan 氏新复极差法检验差异显著性。

2 结果与分析

2.1 寄主转换对草地贪夜蛾发育的影响

2.1.1 对草地贪夜蛾历期的影响

各草地贪夜蛾种群的卵的发育历期没有显著差异,但幼虫的历期差异显著(表 1)。CnC1 组的幼虫历期最短,CnR1 组的幼虫历期最长,CnR8R1 组的幼虫历期介于 CnR1 组和 CnR8C1 组之间,表明取食水稻 1 代后其幼虫历期延长,但水稻继代饲养 8 代后,幼虫历期相比取食水稻 1 代的缩短。同时,继代饲养的水稻种群重新取食玉米时,其子代的历期短于继续取食水稻的子代种群的。

表 1 取食玉米和水稻的草地贪夜蛾的发育历期

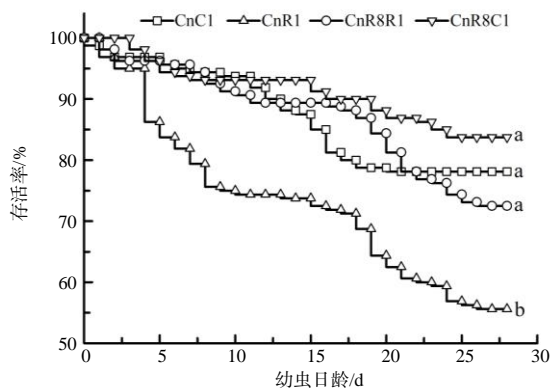
Table 1 Development duration of *Spodoptera frugiperda* feeding on corn and rice

| 发育阶段 | 发育历期/d | | | |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | CnC1 | CnR1 | CnR8R1 | CnR8C1 |
| 卵 | (2.11±0.03)a(160) | (2.14±0.03)a(160) | (2.15±0.03)a(160) | (2.04±0.02)a(160) |
| 1 龄幼虫 | (2.74±0.04)c(155) | (3.66±0.06)a(152) | (3.57±0.07)a(153) | (3.13±0.04)b(154) |
| 2 龄幼虫 | (2.10±0.04)c(152) | (2.71±0.06)a(125) | (2.32±0.05)b(146) | (2.26±0.05)b(149) |
| 3 龄幼虫 | (1.88±0.05)d(152) | (3.18±0.07)a(120) | (2.54±0.06)b(143) | (2.06±0.04)c(149) |
| 4 龄幼虫 | (2.13±0.04)c(150) | (3.08±0.08)a(117) | (2.49±0.05)b(143) | (1.98±0.04)d(149) |
| 5 龄幼虫 | (2.38±0.05)c(150) | (3.17±0.05)a(115) | (2.75±0.05)b(141) | (2.43±0.07)c(148) |
| 6 龄幼虫 | (6.08±0.11)d(125) | (7.64±0.15)a(89) | (6.83±0.10)b(116) | (6.54±0.10)c(134) |

草地贪夜蛾各种群卵粒数均为 160,发育历期后括号中数据表示存活数;同行数据后不同字母表示种群间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

2.1.2 对草地贪夜蛾幼虫存活率的影响

如图 1 所示,各种群草地贪夜蛾幼虫的存活率不同。在 4 日龄前,各种群存活率差异不显著;4 日龄后,CnR1 组存活率下降加快,并且整个幼虫期的存活率都是最低的。14 日龄后,



不同小写字母表示种群间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

图 1 取食玉米和水稻的草地贪夜蛾幼虫的存活率

Fig.1 Survival rates of *Spodoptera frugiperda* larvae feeding on corn and rice

CnR8C1 组、CnC1 组和 CnR8R1 组的存活率变化趋势不同,CnR8C1 组存活率缓慢下降,CnC1 组存活率快速下降后趋于平稳,CnR8R1 组存活率持续快速下降,最终 CnR8C1 组幼虫的存活率最高,其次为 CnC1,但 3 组间的差异不显著,表明取食水稻降低了草地贪夜蛾幼虫的存活率,但水稻继代饲养使幼虫的存活率回升。

2.1.3 对草地贪夜蛾蛹质量、产卵和寿命的影响

从表 2 可知,寄主转换影响草地贪夜蛾的蛹质量和繁殖力。CnC1 组蛹体质量最大,其次为 CnR8C1 组,这两者蛹质量均显著大于 CnR1 和 CnR8R1 组。CnR1 组的繁殖能力最弱,相比 CnR1 组,CnR8R1 组的产卵前期缩短,单雌产卵量提高;CnC1 组和 CnR8C1 组的产卵前期和单雌产卵量差异均不显著,表明草地贪夜蛾种群取食水稻后繁殖能力降低,但水稻继代饲养能逐渐恢复至接近取食玉米的繁殖能力。

表 2 取食玉米和水稻的草地贪夜蛾的蛹质量和繁殖力及成虫寿命

Table 2 Pupa weight, fecundity and adult longevity of *Spodoptera frugiperda* feeding on corn and rice

| 种群 | 蛹质量/mg | 产卵前期/d | 产卵历期/d | 单雌产卵量/粒 | 雌虫寿命/d | 雄虫寿命/d |
|--------|---------------------|------------------|------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| CnC1 | (169.28±1.68)a(125) | (3.75±0.14)c(56) | (5.57±0.22)a(56) | (694±35)a(56) | (13.73±0.33)a(56) | (10.96±0.31)b(46) |
| CnR1 | (132.10±2.20)b(89) | (5.11±0.19)a(28) | (4.04±0.27)c(28) | (385±39)b(28) | (12.64±0.47)a(28) | (10.66±0.40)b(35) |
| CnR8R1 | (146.16±1.77)b(116) | (4.41±0.18)b(44) | (3.77±0.17)c(44) | (476±29)b(44) | (13.14±0.32)a(44) | (12.85±0.29)a(48) |
| CnR8C1 | (166.30±1.85)a(134) | (3.96±0.13)c(55) | (4.67±0.15)b(55) | (645±35)a(55) | (11.95±0.29)b(55) | (12.55±0.25)a(51) |

草地贪夜蛾各种群卵粒数均为 160, 各指标后括号内数据表示存活数; 同列数据不同字母表示种群间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

2.1.4 寄主转换对草地贪夜蛾种群参数的影响

从表 3 可知, 各种群草地贪夜蛾的种群参数不同。CnC1 组的内禀增长率、周限增长率和净增殖率最大, CnR1 组的最小, CnR8R1 组介于 CnR1 和 CnR8C1 组之间, CnR8C1 和 CnC1 组的内禀增

长率、周限增长率和净增殖率差异不显著。这表明水稻不是草地贪夜蛾的最适寄主, 但是水稻继代饲养对其种群增长速率有明显的提升, 并且不会影响其取食玉米的种群增长速率。

表 3 取食玉米和水稻的草地贪夜蛾的种群参数

Table 3 The population parameter of *Spodoptera frugiperda* feeding on corn and rice

| 种群 | 内禀增长率/d ⁻¹ | 周限增长率/d ⁻¹ | 净增殖率 | 平均世代周期/d |
|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------|---------------|
| CnC1 | (0.16±0.004)a | (1.17±0.004)a | (242.78±28.91)a | (34.86±0.31)d |
| CnR1 | (0.10±0.005)c | (1.10±0.006)c | (67.29±13.42)c | (43.21±0.64)a |
| CnR8R1 | (0.13±0.004)b | (1.13±0.005)b | (134.11±19.13)b | (38.94±0.47)b |
| CnR8C1 | (0.15±0.004)a | (1.16±0.004)a | (221.75±27.05)a | (35.71±0.31)c |

同列数据不同字母表示种群间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

2.2 寄主转换对草地贪夜蛾幼虫营养效应的影响

从表 4 可知, 不同种群草地贪夜蛾 5 龄幼虫的相对生长率、相对取食量、近似消化率差异显著, 而食物利用率和食物转换率差异均不显著。CnC1 和 CnR8C1 组的相对生长率和相对取食量大于 CnR1 和 CnR8R1 组的, 表明草地贪夜蛾幼虫对

水稻的取食量比玉米更少, 生长发育减缓。CnR8R1 组的近似消化率显著大于 CnR1 组的, 而与其 CnR8C1 组的各营养效应指标差异不显著, 表明水稻继代饲养提高了幼虫对水稻的取食能力, 但不影响幼虫对玉米的取食能力。

表 4 取食玉米和水稻的草地贪夜蛾 5 龄幼虫的营养效应

Table 4 Nutritional effects of feeding crops (corn and rice) on 5th instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

| 种群 | 相对生长率/(mg mg ⁻¹ ·d ⁻¹) | 相对取食量/(mg mg ⁻¹ ·d ⁻¹) | 食物利用率/% | 食物转化率/% | 近似消化率/% |
|--------|---|---|------------|------------|----------------|
| CnC1 | (0.39±0.02)a | (2.89±0.16)a | 15.37±1.44 | 35.60±3.51 | (46.37±2.40)a |
| CnR1 | (0.25±0.02)b | (1.79±0.11)b | 14.91±1.23 | 39.31±2.80 | (39.65±2.17)b |
| CnR8R1 | (0.29±0.02)b | (2.04±0.13)b | 15.50±1.09 | 36.77±2.09 | (46.88±2.95)a |
| CnR8C1 | (0.38±0.01)a | (2.58±0.07)a | 14.79±0.43 | 34.98±2.40 | (42.55±1.69)ab |

同列数据不同字母表示种群间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

2.3 寄主转换对草地贪夜蛾幼虫的中肠消化酶活性的影响

从表 5 可知, 不同种群草地贪夜蛾 5 龄幼虫的中肠胃蛋白酶活性差异显著, 但 α 淀粉酶和脂肪酶活性差异不显著。CnR1 组的胃蛋白酶活性最高, 其次为 CnR8R1 组的, 两者均显著高于 CnC1 组和 CnR8C1 组的, 表明草地贪夜蛾可能通过调节自身蛋白酶活性来适应寄主植物的改变。

表 5 取食玉米和水稻的草地贪夜蛾 5 龄幼虫的中肠消化酶活性

Table 5 Activity of digestive enzymes in midgut of 5th instar larvae of *Spodoptera frugiperda* feeding on corn and rice

| 种群 | 胃蛋白酶活性 | α -淀粉酶活性 | 脂肪酶活性 |
|--------|---------------|-----------------|-----------|
| CnC1 | (6.66±0.21)b | 1.39±0.02 | 0.36±0.11 |
| CnR1 | (13.21±0.21)a | 1.35±0.14 | 0.35±0.13 |
| CnR8R1 | (9.21±3.73)a | 1.36±0.02 | 0.30±0.14 |
| CnR8C1 | (2.18±0.57)c | 1.37±0.21 | 0.32±0.18 |

同列不同字母表示种群间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

3 结论与讨论

草地贪夜蛾在不同的寄主植物上具有不同的适应性表现^[17]。例如,在玉米、小麦、大麦、蚕豆和大豆5种寄主植物中,取食玉米的草地贪夜蛾的幼虫期最短,取食蚕豆的幼虫期最长^[18]。在紫云英、毛苕子和春苕子3种绿肥中,取食紫云英的草地贪夜蛾不能完成生活史,相比玉米,取食毛苕子和春苕子的幼虫存活率下降,产卵量减少^[19]。本研究结果表明,相比玉米叶,取食水稻叶的草地贪夜蛾的幼虫期延长,存活率和繁殖力降低。用水稻叶继代饲养草地贪夜蛾8代后,与由取食玉米转取食水稻的第1代相比,其幼虫存活率和种群增长速率提高,表明水稻继代饲养能够提高其为害水稻的能力;水稻继代饲养多代后,再转寄主取食玉米时,不会影响其在玉米上的种群增长速率。本研究中,取食水稻叶的草地贪夜蛾的中肠胃蛋白酶活性较大,可能是因为草地贪夜蛾取食低蛋白含量的水稻叶需要提升蛋白酶水解活性,进而提高寄主植物的蛋白利用率。

综上,草地贪夜蛾能够取食为害水稻,在水稻上继代饲养能提高其后代取食水稻的存活率和繁殖力,并不影响其再转寄主取食玉米的适应性,这可能与其体内的消化酶活性的调节密切相关。

参考文献:

- [1] WESTBROOK J K, NAGOSHI R N, MEAGHER R L, et al. Modeling seasonal migration of fall armyworm moths[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2016, 60(2): 255–267.
- [2] 郭井菲, 张永军, 王振营. 中国应对草地贪夜蛾入侵研究的主要进展[J]. *植物保护学报*, 2022, 48(4): 79–87.
- [3] SALDAMANDO C I, VÉLEZ-ARANGO A M. 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.
- [4] 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]. *植物保护学报*, 2019, 45(6): 10–19.
- [5] 张磊, 靳明辉, 张丹丹, 等. 入侵云南草地贪夜蛾的分子鉴定[J]. *植物保护学报*, 2019, 45(2): 19–24.
- [6] 唐运林, 顾偌铖, 吴燕燕, 等. 入侵重庆地区的草地贪夜蛾种群生物型鉴定[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2019, 41(7): 1–7.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 吕亮, 李雨晴, 陈从良, 等. 草地贪夜蛾幼虫在玉米和小麦上的取食和生长发育特性比较[J]. *昆虫学报*, 2020, 63(5): 597–603.
- [10] 房敏, 姚领, 唐庆峰, 等. 草地贪夜蛾对主要杂草的取食适应性[J]. *植物保护学报*, 2020, 47(5): 1055–1061.
- [11] 王芹芹, 崔丽, 王立, 等. 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[J]. *植物保护*, 2020, 46(1): 63–68.
- [12] HAFEEZ M, LI X W, ZHANG J M, et al. Role of digestive protease enzymes and related genes in host plant adaptation of a polyphagous pest, *Spodoptera frugiperda*[J]. *Insect Science*, 2021, 28(3): 611–626.
- [13] 陈萍, 刘欢, 侯茂林, 等. 寄主转换对稻纵卷叶螟寄主种群适合度及生命表参数的影响[J]. *昆虫学报*, 2021, 64(3): 400–408.
- [14] HUANG H W, CHI H, SMITH C L. Linking demography and consumption of *Henosepilachna vigintioctopunctata*(Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Solanum photeinocarpum* (Solanales: Solanaceae): with a new method to project the uncertainty of population growth and consumption[J]. *Journal of Economic Entomology*, 2018, 111(1): 1–9.
- [15] 王琛柱. 棉酚和单宁酸对棉铃虫幼虫生长和消化生理的影响[J]. *植物保护学报*, 1997, 24(1): 13–18.
- [16] CHI H, YOU M S, ATLIHAN R, et al. Age-Stage, Two-sex life table: an introduction to theory, data analysis, and application[J]. *Entomologia Generalis*, 2020, 40(2): 103–124.
- [17] CHEN Y, GUO J F, GAO Z P, et al. Performance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on six host plants: potential risks to mid-high latitude crops in China[J]. *Journal of Agricultural Science*, 2020, 12(10): 16–27.
- [18] GEBRETSADIK K G, LIU Y, YIN Y, et al. Population growth of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* fed on cereal and pulse host plants cultivated in Yunnan province, China[J]. *Plants*, 2023, 12(4): 950–963.
- [19] WU F F, ZHANG L, LIU Y Q, et al. Population development, fecundity, and flight of *Spodoptera frugiperda*(Lepidoptera: Noctuidae) reared on three green manure crops: implications for an ecologically based pest management approach in China[J]. *Journal of Economic Entomology*, 2022, 115(1): 124–132.

责任编辑: 罗慧敏
英文编辑: 罗维