

黎 叶,金奇年,张建民,等. 基于年龄-阶段两性生命表的不同寄主对草地贪夜蛾生长发育和繁殖力的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(6):136-141.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.06.019

基于年龄-阶段两性生命表的不同寄主对草地贪夜蛾生长发育和繁殖力的影响

黎 叶^{1,2},金奇年^{1,2},张建民^{1,2},杜嘉宜^{1,2},王圣红^{1,2},王香萍^{1,2}

(1. 农林病虫害预警与调控湖北省工程技术中心,湖北荆州 434025; 2. 长江大学,湖北荆州 434025)

摘要:草地贪夜蛾是重要农业入侵害虫,其寄主范围十分广泛,胡萝卜与萝卜为草地贪夜蛾重要的寄主植物。为了明确草地贪夜蛾取食胡萝卜与萝卜后其生长发育与繁殖情况,为进一步了解其在不同寄主植物上的适应性提供理论依据,采用年龄-阶段两性生命表方法,测定和比较草地贪夜蛾在胡萝卜与萝卜上的生长发育、繁殖及种群参数。结果表明,取食胡萝卜的草地贪夜蛾各阶段发育历期和产卵量分别为 2.93、2.57、1.93、2.30、2.67、2.60、5.33、1.73、9.83、5.72、3.2、3.33 d 和 128.66 粒;取食萝卜的草地贪夜蛾各阶段发育历期和产卵量分别为 3.00、3.47、2.17、2.30、3.36、2.77、5.10、1.77、10.68、7.05、2.1、1.75 d 和 89.70 粒。其中,取食萝卜的草地贪夜蛾蛹期、成虫期、产卵前期、产卵期和总产卵量均高于取食胡萝卜的草地贪夜蛾,而存活率却低于取食胡萝卜的草地贪夜蛾;取食胡萝卜的草地贪夜蛾种群的内禀增长率、总繁殖率、周限增长率和净增值率分别为 9.58 d^{-1} 、79.94%、 1.10 d^{-1} 和 29.9%,均显著 ($P < 0.05$) 高于取食萝卜的草地贪夜蛾种群 (8.65 d^{-1} 、47.21%、 1.09 d^{-1} 和 25.73%),而平均世代周期却显著短于取食萝卜的草地贪夜蛾。综上,草地贪夜蛾取食胡萝卜与萝卜均可完成世代,但与萝卜相比,胡萝卜更适合草地贪夜蛾生长。本试验结果可为深入探讨草地贪夜蛾对寄主的适应性机制提供参考。

关键词:草地贪夜蛾;胡萝卜;萝卜;寄主植物;年龄-阶段两性生命表;生长发育;繁殖力

中图分类号:S433.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)06-0136-06

草地贪夜蛾 (*Spodoptera frugiperda*) 隶属于鳞翅目 (Lepidoptera) 夜蛾科 (Noctuidae), 别称秋黏虫 (FAW), 是一种原产于美洲热带和亚热带地区的高度多食性入侵害虫, 其分布范围已从西半球扩展到东半球^[1-2]。草地贪夜蛾于 2016 年首次在非洲西部报道, 2018 年 12 月从云南入侵中国, 2019 年秋季蔓延至中国南部大部分地区^[1,3]。该物种寄主范围广泛, 幼虫可为害玉米、水稻、高粱、甘蔗、小麦、花生等 353 种植物^[4]。在长期的入侵适应过程中, 草

地贪夜蛾的寄主范围有可能进一步拓宽。生命表是昆虫种群生态学和害虫管理的重要工具, 有助于准确理解各种外部因素对昆虫种群生长、存活、繁殖的影响^[5-6]。传统的特定年龄生命表存在一定的局限性, 仅考虑雌虫对种群的作用, 而忽略了雌虫、雄虫差异及雄虫个体发育对种群的影响^[7]。与传统生命表相比, Chi 等发展的年龄-阶段两性生命表不但可以精确描述昆虫的龄期分化、性比 (种群中雄性个体和雌性个体数目的比例) 对种群增长的影响, 还可区分总产卵前期与成虫产卵前期差异及种群的世代重叠^[8-10]。目前, 两性生命表已被广泛用于灰茶尺蠖 [*Ectropis grisescens* (Warren)] 与茶尺蠖 [*E. obliqua* (Prout)]、贡山喙蓟马 (*Mycterothrips gongshanensis*)、星豹蛛 (*Pardosa astrigera*)、榆蚜 [*Tetraneura ulmi* (Linnaeus)]、铃木氏果蝇

收稿日期:2023-06-28

基金项目:广西作物病虫害生物学重点实验室开放课题(编号:2020Z20027)。

作者简介:黎 叶(1998—),女,重庆人,硕士研究生,主要从事昆虫生态及害虫防治研究。E-mail:liyey7807259@163.com。

通信作者:王香萍,博士,教授,主要从事昆虫生态及有害生物综合治理研究。E-mail:wang.xiang.ping@126.com。

Reports, 2016, 6: 38102.

[22] Liu S L, Wu Q Q, Zhong Y R, et al. Fosthiazate exposure induces oxidative stress, nerve damage, and reproductive disorders in nontarget nematodes [J]. Environmental Science and Pollution

Research, 2023, 30(5): 12522-12531.

[23] Neury-Ormanni J, Dooze C, Majdi N, et al. Tolerance of free-living nematode species to imidacloprid and diuron[J]. Invertebrate Biology, 2019, 138(4): e12272.

(*Drosophila suzukii*)、马尾松毛虫 [*Dendrolimus punctatus* (Walker)] 等多种昆虫研究^[11-16]。两性生命表也被用于草地贪夜蛾的研究,如孟令贺等采用两性生命表探讨了不同光周期对草地贪夜蛾生长发育和生殖能力的影响^[17];吴丽红运用年龄-阶段两性生命表研究取食不同寄主植物对草地贪夜蛾幼虫生长及成虫繁殖的影响^[18];谢殿杰等通过建立两性生命表探究了不同温度对草地贪夜蛾种群动态的影响^[19]。

尽管目前关于取食不同寄主植物对草地贪夜蛾的生长发育与繁殖影响的研究已有较多报道,但关于草地贪夜蛾取食伞形科与十字花科植物间的适应性差异研究还相对匮乏。因此,本研究在室内测定取食萝卜叶与胡萝卜叶的 2 个草地贪夜蛾种群各阶段的发育历期和雌成虫产卵量,构建年龄-阶段两性生命表,利用所构建的生命表分析这 2 个种群存活率、繁殖力和种群生命表等各参数的差异,明确胡萝卜叶片与萝卜叶片对草地贪夜蛾生长发育和繁殖的影响,以期对草地贪夜蛾种群动态预测及种群控制策略选择提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试虫源 草地贪夜蛾幼虫采集于 2022 年 6 月湖北省荆州市(112°15'E, 31°26'N)玉米植株中,在实验室内饲养,饲养条件为:温度(25±1)℃,湿度(70±5)%,光—暗周期为 16 h—8 h。本试验以室内繁殖第 8 代初孵幼虫为供试虫源。

1.1.2 供试植物 萝卜与胡萝卜种子由北京育正泰种子有限公司提供,并于温室内种植,选用营养生长期的叶片饲养草地贪夜蛾。

1.2 试验方法

1.2.1 草地贪夜蛾生长发育指标测定 从 2 种供试寄主植物上摘取长势良好的叶片,用清水清洗,再擦干表面水分后,分别放入直径 6 cm 的塑料培养皿中,取同一批草地贪夜蛾卵块待孵化后用毛笔挑取单头初孵幼虫接入上述培养皿中。每隔 24 h 更换同等大小的植物叶片和培养皿,记录幼虫至成虫的发育时间、死亡率和存活率。羽化成虫后,将雄虫和雌虫成对转移至 700 mL 塑料盒中,在每个容器中放置 1 块浸有 10% 蜂蜜水的棉花团作为草地贪夜蛾的食物来源,提供蜡纸作为产卵介质。个体雌虫所产的卵用于采集生命表数据,记录产卵前期和产

卵期、日产卵量(每个生殖日产卵数)、总产卵量(每个雌性产卵数)和成虫寿命,直至最后一头雌虫死亡。

1.2.2 年龄-阶段两性生命表的构建 根据年龄-阶段两性生命表原理,构建草地贪夜蛾的年龄-阶段两性生命表^[7,9,20]。特定年龄阶段存活率(S_{xj})表示个体草地贪夜蛾从新孵化的卵存活到年龄 x 阶段 j 的概率。存活率基于草地贪夜蛾种群的每天存活率,特定年龄存活率(l_x)代表草地贪夜蛾从新孵化的卵到 x 年龄的存活率,与阶段分化无关,其中 j 代表发育阶段,按以下公式计算。

$$l_x = \sum_{j=1}^k S_{xj} \circ$$

特定年龄生育力(f_{xj})是指雌性成虫在年龄 x 时孵化的卵数,种群繁殖力(m_x)是指每个个体在年龄 x 时的卵数。

$$m_x = \sum_{j=1}^k S_{xj} f_{xj} / \sum_{j=1}^k S_{xj} \circ$$

内禀增长率(r)使用迭代平分法计算,并通过欧拉-洛特卡平分法和零年龄指数确定^[21]。

$$r: \sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1 \circ$$

净繁殖率(R_0)表示每头雌虫在其整个生命期内产卵的平均数量。平均世代时间(T)定义为种群增加到其大小的 R_0 倍所需的时间,通过以下方法计算平均世代时间。

$$T = (\ln R_0) / r \circ$$

预期寿命是 1 个人口成员预期寿命平均时间的统计测量^[22]。年龄阶段的预期寿命 e_{xj} 通过以下公式估算^[6]:

$$e_{xj} = \sum_{i=x}^a \sum_{y=j}^k S_{iy}' \circ$$

年龄阶段的繁殖值 V_{xj} 通过以下方法计算:

$$V_{xj} = \frac{e^{r(x+1)}}{S_{xj}} \sum_{i=1}^a e^{-r(i+1)} \sum_{i=1}^k S_{iy}' f_{iy}' \circ$$

式中: S_{iy}' 指在 i 龄时的平均生存率; f_{iy}' 指在 i 龄时的平均产仔率。

1.3 数据分析

使用 TWOSEX-MSChart 程序计算草地贪夜蛾的寿命参数,通过 10 000 次重复的 bootstrap 法计算每个参数的平均值和标准误,使用配对 bootstrap 检验确定显著差异,并用 Sigmaplot 10.0 作图^[23-25]。采用 SPSS 软件对草地贪夜蛾的生物学参数如产卵前期、产卵期、单雌产卵量和卵孵化率等进行单因

素方差分析(ANOVA),并用 Tukey’s 检验进行多重比较($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 2 种寄主植物对草地贪夜蛾各虫态发育历期的影响

研究结果(表 1)表明,在实验室条件下,取食胡萝卜与萝卜的草地贪夜蛾均可顺利完成生活史。取食胡萝卜的草地贪夜蛾从卵到成虫的发育历期分别为 2.93、2.57、1.93、2.30、2.67、2.60、5.33、1.73、9.83、5.72、3.23 d,取食萝卜的草地贪夜蛾发育历期分别为 3.00、3.47、2.17、2.30、3.36、2.77、5.10、1.77、10.68、7.05、2.00、1.75 d。其中,取食萝卜的 1 龄、4 龄幼虫发育历期、蛹发育历期和成虫寿命均显著大于取食胡萝卜的草地贪夜蛾($P<0.05$)。取食胡萝卜的草地贪夜蛾成虫产卵前期、产卵期和总产卵量分别为 3.00 d、2.33 d 和 128.66 粒,均显著高于取食萝卜的草地贪夜蛾(分别为 2.00 d、1.75 d 和 89.7 粒),而总产卵前期却显著短于取食萝卜的草地贪夜蛾。

2.2 2 种寄主植物对草地贪夜蛾各虫态存活率的影响

由图 1 可知,取食胡萝卜和萝卜的草地贪夜蛾存活率不同,但不同龄期的存活曲线发生部分重

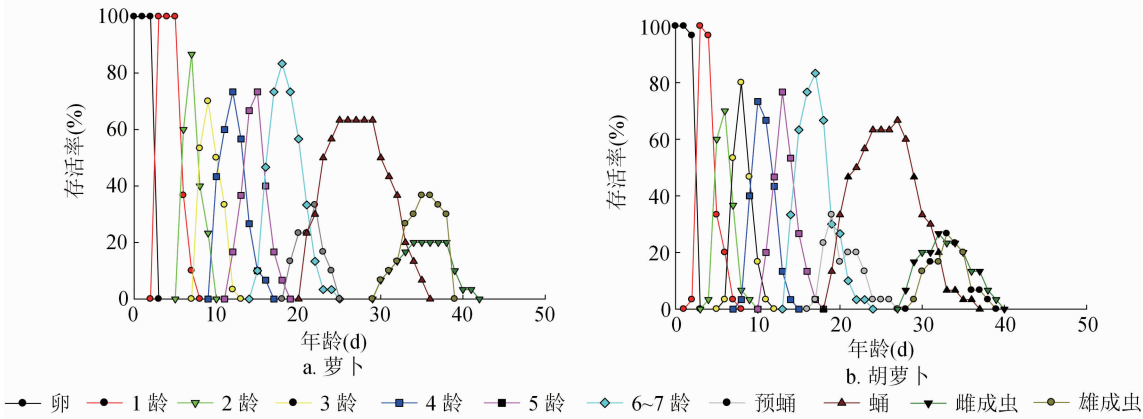


图1 取食不同寄主植物的草地贪夜蛾各虫态的存活率

2.3 2 种寄主植物对草地贪夜蛾繁殖力的影响

由图 2 可知,随着时间延长,取食胡萝卜和萝卜的草地贪夜蛾雌成虫繁殖力(f_x)、种群繁殖力(m_x)和种群净增殖力($l_x m_x$)呈先升高后下降的趋势,且取食胡萝卜的草地贪夜蛾各繁殖力参数均高于取食萝卜的草地贪夜蛾。取食胡萝卜的草地贪夜蛾繁殖力曲线(f_x 、 m_x 、 $l_x m_x$)自 29 d 开始,而取食萝卜

表 1 取食胡萝卜、萝卜对草地贪夜蛾发育历期的影响

虫期	发育历期(d)	
	胡萝卜	萝卜
卵	2.93 ± 0.05a	3.00 ± 0.00a
1 龄	2.57 ± 0.17b	3.47 ± 0.12a
2 龄	1.93 ± 0.12a	2.17 ± 0.07a
3 龄	2.30 ± 0.10a	2.30 ± 0.10a
4 龄	2.67 ± 0.10b	3.36 ± 0.16a
5 龄	2.60 ± 0.13a	2.77 ± 0.12a
6~7 龄	5.33 ± 0.14a	5.10 ± 0.23a
预蛹	1.73 ± 0.11a	1.77 ± 0.15a
蛹	9.83 ± 0.29b	10.68 ± 0.19a
成虫寿命	5.72 ± 0.22b	7.05 ± 0.26a
成虫产卵前期	3.00 ± 1.00a	2.00 ± 1.00b
总产卵前期	32.66 ± 1.23b	35.25 ± 0.83a
产卵期	2.33 ± 0.58a	1.75 ± 0.57b
总产卵量(粒)	128.66 ± 38.96a	89.70 ± 40.20b

注:表中数据为平均数 ± 标准误。同行数据后不同小写字母表示经 Paired bootstrap 检验在 0.05 水平差异显著。

叠。取食胡萝卜的草地贪夜蛾 2 龄幼虫与雄成虫的存活率明显低于取食萝卜的种群,而 3 龄幼虫的存活率却明显高于取食萝卜的种群。无论取食胡萝卜还是萝卜的草地贪夜蛾,其卵和 1 龄幼虫存活率都较高,均在 90% 以上,预蛹期和雌成虫、雄成虫年龄阶段的存活率较低。

的草地贪夜蛾繁殖力曲线自 32 d 开始,表明取食取食胡萝卜的草地贪夜蛾较取食萝卜的草地贪夜蛾繁殖更快,取食胡萝卜与萝卜的草地贪夜蛾种群存活率下降速率均较平缓,取食胡萝卜的草地贪夜蛾种群 5 d 时存活率降至 93%,6~18 d 时,其存活率维持在 90%,18 d 时存活率降至 70% 左右,至 40 d 下降为 0。取食萝卜的草地贪夜蛾种群 6 d 时的存

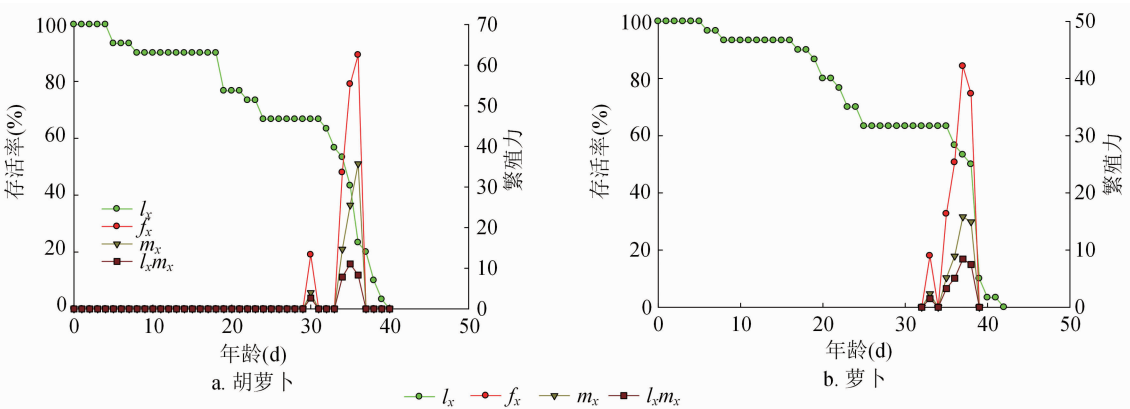


图2 取食不同寄主植物的草地贪夜蛾种群存活率和繁殖力

活率降至 96%，7 ~ 18 d 其存活率维持在 90% 左右，25 d 时降至 63%，42 d 时的存活率下降至 0。

2.4 2 种寄主植物对草地贪夜蛾寿命期望值的影响

由图 3 可知,随着时间延长,取食胡萝卜和萝卜的草地贪夜蛾预期寿命期望值均逐渐降低。在最

初的 4 d 内,取食胡萝卜的草地贪夜蛾各阶段的寿命期望值均低于取食萝卜的草地贪夜蛾。5 ~ 7 d,取食胡萝卜的草地贪夜蛾各阶段的寿命期望值高于取食萝卜的草地贪夜蛾。7 d 后,取食萝卜的草地贪夜蛾各阶段的寿命期望值均高于取食胡萝卜的草地贪夜蛾。

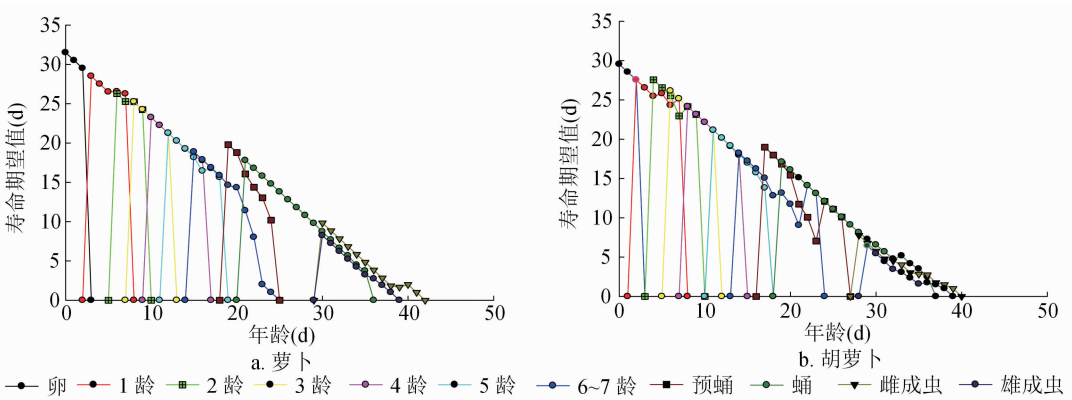


图3 取食不同寄主植物的草地贪夜蛾各虫态的寿命期望值

2.5 2 种寄主植物对草地贪夜蛾繁殖值的影响

由图 4 可知,取食胡萝卜和萝卜的草地贪夜蛾初始卵繁殖值分别为 1.20 和 1.09,随着年龄和发育龄期的增加,草地贪夜蛾各龄期阶段的繁殖值逐

渐升高,在雌成虫产卵时期,草地贪夜蛾繁殖值均达到最大值。取食胡萝卜的草地贪夜蛾于 34 d 时达到最大繁殖值,为 94.05,而取食萝卜的草地贪夜蛾于 35 d 时达到最大繁殖值,为 103.82。

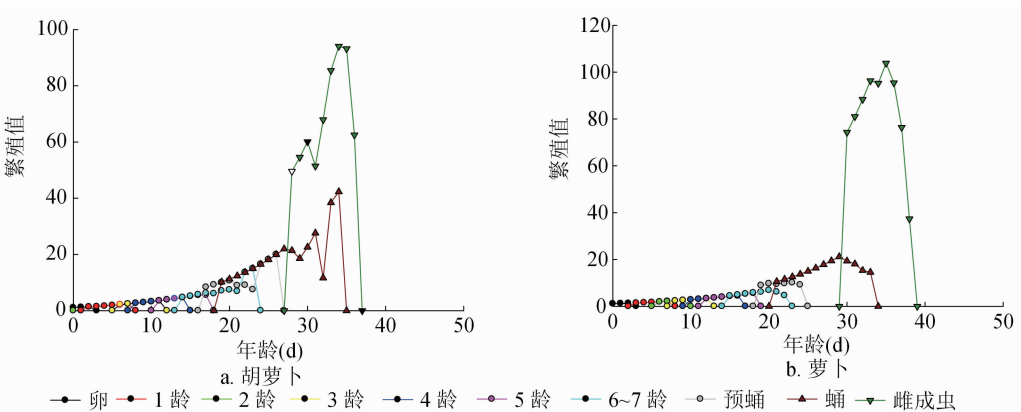


图4 取食不同寄主植物的草地贪夜蛾各虫态的繁殖值

2.6 2 种寄主植物对草地贪夜蛾种群参数的影响

由表 2 可知,取食不同寄主的草地贪夜蛾种群参数差异显著,其中取食胡萝卜的草地贪夜蛾种群的内禀增长率、总繁殖率、周限增长率和净增值率分别为 9.58 d⁻¹、79.94%、1.10 d⁻¹和 29.9%,均显

著高于取食萝卜的草地贪夜蛾种群(8.65 d⁻¹、47.21%、1.09 d⁻¹和 25.73%),说明取食胡萝卜的草地贪夜蛾种群增长趋势优于取食萝卜的草地贪夜蛾。取食胡萝卜的草地贪夜蛾平均世代周期为 35.43 d,显著短于取食萝卜的草地贪夜蛾(37.53 d)。

表 2 取食不同寄主植物的草地贪夜蛾种群参数

取食的寄主植物	内禀增长率(d ⁻¹)	总繁殖率(%)	周限增长率(d ⁻¹)	净增值率(%)	平均世代周期(d)
胡萝卜	9.58 ± 0.70a	79.94 ± 32.72a	1.10 ± 0.01a	29.90 ± 2.16a	35.43 ± 1.05b
萝卜	8.65 ± 0.80b	47.21 ± 17.34b	1.09 ± 0.01b	25.73 ± 2.50b	37.526 ± 2.09a

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

3 结论与讨论

本研究利用年龄-阶段两性生命表方法,探讨取食胡萝卜与萝卜后草地贪夜蛾生长发育情况。结果表明,取食胡萝卜与萝卜的草地贪夜蛾均能完成世代发育,但其发育历期、存活率、繁殖力等种群参数具有显著差异,与许多寄主植物对昆虫生长发育的影响研究结果^[26-28]一致。本研究发现,取食萝卜的草地贪夜蛾蛹期、成虫期均长于取食胡萝卜的草地贪夜蛾,而存活率却低于取食胡萝卜的草地贪夜蛾,这可能与植物体内的物质及其含量有关。胡萝卜与萝卜叶片均含有水分、蛋白质等营养物质,但萝卜内的水分、蛋白质等的含量高于胡萝卜,蛋白质含量较高时会使草地贪夜蛾存活率降低^[29-31]。取食胡萝卜的草地贪夜蛾产卵前期、产卵期和总产卵量均显著高于取食萝卜的草地贪夜蛾,但无论是取食胡萝卜还是萝卜的草地贪夜蛾单雌产卵量都显著低于取食玉米与马铃薯的草地贪夜蛾单雌产卵量^[32],这可能与草地贪夜蛾来源、饲养条件和昆虫对寄主植物的偏好性与适应机制有关。

内禀增长率综合了昆虫生长发育和繁殖产卵,是反映特定条件下昆虫种群增长潜力的重要参数^[33-34]。本研究的两性生命表研究显示,取食胡萝卜与萝卜的草地贪夜蛾的内禀增长率均大于 0,说明草地贪夜蛾能够维持种群生存且下一代种群数量均会上升。取食胡萝卜的草地贪夜蛾的内禀增长率、总繁殖率、周限增长率和净增值率均显著高于取食萝卜的草地贪夜蛾,而取食胡萝卜的平均世代周期却短于取食萝卜的草地贪夜蛾,这表明与萝卜相比,胡萝卜是更适宜草地贪夜蛾的寄主植物。

在害虫的综合治理中,害虫的种群数量、发育

速率、存活率、繁殖力等数据可以更加精准地综合预测害虫种群的发生动态及为害程度,但昆虫种群动态及生长发育会受到寄主、天敌、温度、湿度等生物和非生物因素的影响^[35-39]。本试验仅在室内条件下对草地贪夜蛾进行研究,而田间自然条件下草地贪夜蛾的生长发育和繁殖参数受环境、天敌等影响,可能会与室内结果有所差异,今后需在田间进行进一步相关研究,且本研究仅评估了草地贪夜蛾取食胡萝卜与萝卜这 2 种植物后的生长发育与繁殖情况,关于草地贪夜蛾对这 2 种植物的取食量尚待进一步分析,以便更深入地了解草地贪夜蛾发生动态与为害程度,为该虫的综合防治提供理论依据。

参考文献:

[1] Goergen G, Kumar P L, Sankung S B, et al. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa[J]. PLoS One, 2016, 11(10): e0165632.

[2] Ganiger P C, Yeshwanth H M, Muralimohan K, et al. Occurrence of the new invasive pest, fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), in the maize fields of Karnataka, India[J]. Current Science, 2018, 115(4): 621.

[3] 吴秋琳, 姜玉英, 吴孔明. 草地贪夜蛾缅甸虫源迁入中国的路径分析[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 1-6, 18.

[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, 2019, 45(6): 10-19.

[5] Chi H. Timing of control based on the stage structure of pest populations: a simulation approach [J]. Journal of Economic Entomology, 1990, 83(4): 1143-1150.

[6] Chi H, Su H Y. Age-stage, two-sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate [J]. Environmental Entomology, 2006, 35(1): 10-21.

- [7] Huang Y B, Chi H. Age – stage, two – sex life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae) with a discussion on the problem of applying female age – specific life tables to insect populations[J]. Insect Science, 2012, 19(2): 263 – 273.
- [8] Chi H, Liu H. Two new methods for the study of insect population ecology[J]. Bull Inst Zool Acad Sin, 1985, 24(2): 225 – 240.
- [9] Chi H. Life – table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals[J]. Environmental Entomology, 1988, 17(1): 26 – 34.
- [10] 王文倩, 郑亚强, 陈 斌, 等. 基于年龄 – 阶段两性生命表的不同寄主对马铃薯块茎蛾生长发育和繁殖力的影响[J]. 植物保护学报, 2020, 47(3): 488 – 496.
- [11] 葛繁星, 史 凡, 程春喜, 等. 两性生命表研究灰茶尺蠖与茶尺蠖生长发育和繁殖力[J]. 茶叶科学, 2022, 42(6): 828 – 838.
- [12] 谢艳兰, 韦玲长, 马润敏, 等. 云南茶园暴发性新害虫贡山喙蓟马年龄 – 龄期两性生命表研究[J]. 昆虫学报, 2021, 64(11): 1305 – 1312.
- [13] 燕晶晶, 王雅丽, 赵 瑞, 等. 基于年龄 – 龄期两性生命表的星豹蛛种群生长发育和繁殖动态分析[J]. 植物保护学报, 2021, 48(3): 593 – 601.
- [14] 赫 娟, 柴 敏, 陈 伟, 等. 基于两性生命表的山西地区榆蚜生活史研究[J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 2019, 33(3): 86 – 90.
- [15] 赵远鹏, 陈 晓, 陈婷婷, 等. 变温下铃木氏果蝇年龄 – 阶段两性生命表研究[J]. 植物保护, 2018, 44(3): 86 – 91, 110.
- [16] 曾菊平, 欧阳芳, 王 勇, 等. 马尾松毛虫高海拔种群发生对光周期的响应: 基于年龄 – 时期、两性生命表分析[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(4): 1077 – 1084.
- [17] 孟令贺, 江幸福, 李 平, 等. 不同光周期下草地贪夜蛾两性生命表的比较[J]. 植物保护, 2022, 48(3): 63 – 73.
- [18] 吴丽红. 寄主植物对草地贪夜蛾发育与繁殖、交配行为及肠道微生物的影响[D]. 贵阳: 贵州大学, 2022: 9 – 20.
- [19] 谢殿杰, 张 蕾, 程云霞, 等. 不同温度下草地贪夜蛾年龄 – 阶段实验种群两性生命表的构建[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 20 – 27.
- [20] Chi H, Fu J W, You M S. Age – stage, two – sex life table and its application in population ecology and integrated pest management [J]. Acta Entomologica Sinica, 2019, 62(2): 255 – 262.
- [21] Goodman D. Optimal life histories, optimal notation, and the value of reproductive value[J]. The American Naturalist, 1982, 119(6): 803 – 823.
- [22] Shryock H S, Siegel J S, Larmon E A. The methods and materials of demography[M]. Washington: Dept of Commerce, Bureau of the Census, 1980: 375 – 387.
- [23] Chi H, Güncan A, Kavousi A, et al. TWOSEX – MSChart: the key tool for life table research and education [J]. Entomologia Generalis, 2022, 42(6): 845 – 849.
- [24] Akca I, Ayyaz T, Yazici E, et al. Demography and population projection of *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae): with additional comments on life table research criteria[J]. Journal of Economic Entomology, 2015, 108(4): 1466 – 1478.
- [25] Sugawara R, Ullah M S, Ho C C, et al. Temperature – dependent demography of two closely related predatory mites *Neoseiulus womersleyi* and *N. longispinosus* (Acari: Phytoseiidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2017, 110(4): 1533 – 1546.
- [26] 周军辉, 罗文芳, 何 伟, 等. 基于功能反应和两性生命表评价番茄潜叶蛾的取食能力和生长发育[J]. 昆虫学报, 2023, 66(4): 531 – 537.
- [27] 刘 冲, 陶文彩, 邓晓悦, 等. 基于两性生命表的 3 种水稻材料对白背飞虱生长发育与繁殖的影响[J]. 植物医学, 2022, 1(4): 52 – 59.
- [28] 陈万权. 植物健康与病虫害防控[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2020: 205.
- [29] 杨艳彬, 周 红, 翟金兰, 等. 胡萝卜汁加工中营养物质的变化[J]. 食品工业, 2000, 21(2): 5 – 6.
- [30] 毛积磊, 彭守华. 不同浓度的表面活性剂处理萝卜幼苗产生的生物学效应分析[J]. 农业科技通讯, 2022(10): 137 – 139, 144.
- [31] 王姬玲. 草地贪夜蛾对基础营养蛋白质和碳水化合物摄取的调节研究[D]. 荆州: 长江大学, 2022: 58 – 61.
- [32] Guo J F, Zhang M D, Gao Z P, et al. Comparison of larval performance and oviposition preference of *Spodoptera frugiperda* among three host plants: potential risks to potato and tobacco crops [J]. Insect Science, 2021, 28(3): 602 – 610.
- [33] 胡良雄, 何正盛, 张小谷. 猫眼尺蠖在三种女贞属植物上的实验种群两性生命表[J]. 昆虫学报, 2014, 57(12): 1408 – 1417.
- [34] 刘树生. 昆虫生命表制作与分析中的几个问题[J]. 昆虫知识, 1986, 23(1): 41 – 43, 45.
- [35] 齐 心, 傅建炜, 尤民生. 年龄 – 龄期两性生命表及其在种群生态学与害虫综合治理中的应用[J]. 昆虫学报, 2019, 62(2): 255 – 262.
- [36] 梁洪宇, 张海燕, 金永玲, 等. 绿豆抗感虫品种对豆蚜种群生命参数的影响[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(10): 5 – 9.
- [37] 李少华, 魏长磊, 王云鹏, 等. 泰安市忍冬害虫及其天敌种群动态与群落特征[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2022, 53(6): 883 – 892.
- [38] 马 罡, 马春森. 气候变化下极端高温对昆虫种群影响的研究进展[J]. 中国科学(生命科学), 2016, 46(5): 556 – 564.
- [39] 李优佳. 椰子织蛾入侵来源及温湿度、天敌对其种群动态影响[D]. 海口: 海南大学, 2021.