

在室内恒温 and 室外变温下的 草地贪夜蛾种群生命表比较*

万 鹏^{1,2**} 吕宝乾^{1***} 卢 辉¹ 唐继洪¹ 邱海燕¹ 张起恺¹ 李金花²

(1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 农业农村部热带作物有害生物综合治理重点实验室, 海南省热带农业有害生物监测与控制重点实验室, 海口 571101; 2. 海南大学热带农林学院, 热带农林生物灾害绿色防控教育部重点实验室, 海口 570228)

摘 要 【目的】为探究室内外两种不同温度模式对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 生长发育、存活、繁殖等生活史参数的影响。【方法】研究了室内恒温 (27.5 °C) 和室外自然变温 (22–32 °C) 两种条件下的草地贪夜蛾两性种群生命表。【结果】室内外相比, 草地贪夜蛾的卵期和 1 龄幼虫历期无显著性差异; 室内条件下 2 龄以后各龄幼虫发育历期、卵至成虫的发育历期以及成虫寿命要显著长于室外, 室内条件下的种群存活率、化蛹率均显著高于室外, 室内条件下雌性比例显著低于室外。室内和室外条件下平均世代周期分别为 38.10 d 和 30.01 d, 净增值率 (R_0) 分别为 152.13 和 81.59, 内禀增长率 (r) 分别为 0.13 和 0.14, 周限增长率 (λ) 分别为 1.14 和 1.15。【结论】在室内外不同温度模式下, 室内恒温的草地贪夜蛾种群存活率更高, 但室外变温条件下草地贪夜蛾的世代周期更短, 繁殖力也更强, 且雌性比例较大。本研究通过构建草地贪夜蛾种群生命表, 揭示变温环境对该虫自然种群生长发育、存活和繁殖的影响, 并为草地贪夜蛾的预测预警及其综合防治提供理论依据。

关键词 草地贪夜蛾; 室内外; 生命表; 变温

Comparison of the life table of *Spodoptera frugiperda* populations kept under either a constant indoor, or a variable outdoor, temperature

WAN Peng^{1,2**} LÜ Bao-Qian^{1***} LU Hui¹ TANG Ji-Hong¹
QIU Hai-Yan¹ ZHANG Qi-Kai¹ LI Jin-Hua²

(1. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agriculture Sciences, Key Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Hainan Key Laboratory of Tropical Agricultural Pest Monitoring and Control, Haikou 571101, China; 2. College of Tropical Crops, Key Laboratory of Green Prevention and Control of Tropical Plant Diseases and Pests, Ministry of Education, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract 【Objectives】To investigate the effects of a constant indoor, and a variable outdoor, temperature on life history parameters of *Spodoptera frugiperda*, including growth, development, survival and reproduction. 【Methods】Populations of *S. frugiperda* were kept at either a constant indoor temperature (27.5 °C) or a naturally variable outdoor temperature (22–32 °C) and life tables for each population compiled. 【Results】There was no significant difference in the duration of the egg stage or that of the first larval instar between the two populations. The larval period, the duration of development from egg to adult, and the adult lifespan after the second instar, were significantly longer in larvae kept indoors than in those kept outdoors. Larvae kept indoors also had significantly higher survival and pupation rates than those kept outdoors. Significantly fewer females were produced indoors than outdoors. The average generation periods under indoor and outdoor conditions were 38.10 and 30.01 d, respectively, the net value-added rates (R_0) were 152.13 and 81.59, the intrinsic growth rates (r) were 0.13 and 0.14,

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2021YFD14007021); 海南省国际科技合作研发项目 (GHYF2022002)

**第一作者 First author, E-mail: 646500765@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: lvbaoqian@hotmail.com

收稿日期 Received: 2022-09-27; 接受日期 Accepted: 2023-05-03

and the cycle-limited growth rates (λ) were 1.14 and 1.15. **[Conclusion]** *S. frugiperda* kept at a constant temperature indoors had a higher survival rate than those exposed to naturally variable outdoor temperatures, but the generation time of the latter was shorter, its fecundity was higher, and the proportion of females produced was greater. Life tables can reveal the effects of variable vs constant temperature on the growth, survival and reproduction of *S. frugiperda* populations, providing a theoretical basis for obtaining early warning of outbreaks of this pest.

Key words *Spodoptera frugiperda*; indoors and outdoors; the life table; fluctuant temperature

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 隶属于鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae, 也称秋粘虫、秋行军虫, 原产于美洲热带和亚热带地区, 是一种世界性的重大迁飞农业害虫 (Todd and Poole, 1998; Goergen *et al.*, 2016), 具有寄主范围广、繁殖力强、迁飞速度快和适生区域广等特点, 可在短时间内大规模集中暴发, 防控难度较大 (郭井菲等, 2018; 王磊等, 2019)。2016 年 1 月该虫入侵非洲, 造成玉米严重减产 (Day *et al.*, 2017)。2019 年在我国江城田间首次发现草地贪夜蛾为害, 在不到 5 个月时间里快速扩散蔓延至 14 个省 (自治区) 的 385 个县 (市、区), 在玉米等农作物上的发生面积超过 9 万 hm^2 , 随后进一步扩散, 近两年来严重威胁我国的粮食安全和生态安全 (姜玉英等, 2019; 杨普云等, 2019; Sun *et al.*, 2021; 陆耀辉和杨兰艳, 2023)。

昆虫是变温动物, 其生长发育和种群繁衍过程中均易受到自然环境因素的影响 (史彩华等, 2017)。温度作为一种能够对昆虫生长发育、繁殖等生活史参数起关键影响作用的环境因子之一, 有关研究一直受到广泛关注, 但以往多数研究都是在实验室内恒温条件下进行, 所得到的结果并不能够真实反映田间自然环境下的实际情况。根据研究证实, 相比较恒温环境, 变温对昆虫等变温动物的生长发育、存活、种群繁殖等皆具有显著性的影响 (Davis *et al.*, 2006; Miyazaki *et al.*, 2011)。

种群动态变化是研究昆虫种群生态学的核心问题, 对农林业生产中的害虫预测与种群数量调控具有重要意义 (刘志军等, 2001)。生命表是研究昆虫种群动态最有效的工具之一, 其根据昆虫生物学参数为种群特征的解析提供了科学方法 (Kivan and Kilic, 2010)。田间自然种群生命表通常以卵期作为起点, 观测并记录昆虫各发

育阶段种群个体数的变化及繁殖能力参数, 以便分析其种群消长趋势和关键影响因子, 进而为该虫的预测及防治方法提供一定依据 (陈龙稳等, 1984; 许再福等, 2009)。然而传统生命表只考虑雌性个体, 因此忽略了雄性成虫, 也无法精确描述龄期分化所产生的差异 (齐心等, 2019)。鉴于此, 本研究构建两性种群生命表, 将室内外不同温度模式下的草地贪夜蛾生长发育及繁殖能力等生命表参数进行比较, 评估自然变温对草地贪夜蛾种群动态的影响, 对草地贪夜蛾监测预警及防治具有一定指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验点位于海南省儋州市中国热带农业科学院环境与植物保护研究所试验示范基地 (19°30'N, 109°329'E, 海拔 143.6 m)。

1.2 供试虫源

草地贪夜蛾幼虫于 2022 年 1 月采集自海南省儋州市玉米田, 实验室内用新鲜玉米叶片饲养幼虫得到供试卵块, 实验室饲养温度设定为 26 °C、光周期为 L : D = 12 : 12、相对湿度为 75%。

1.3 试验方法

以室内饲养繁育出来的草地贪夜蛾虫卵为试虫, 从卵期开始观察记录, 每组处理为 120 粒卵 (于体视显微镜下计数, 同一雌虫当日所产), 重复 3 次, 分别在室内和室外进行饲喂管理 (试验均在 2022 年 5-6 月期间进行, 根据海南省气象局 2022 年夏季 5-6 月期间气候条件进行试验设计, <http://hi.cma.gov.cn>) (表 1)。

表 1 海南省儋州市 2022 年夏季 5-6 月气象数据表
Table 1 Meteorological data table of Danzhou, Hainan province from May to June in summer 2022

气候 Climate	温度/降雨量 Temperature/Rainfall
室外温度 Outdoor temperature	22-32 ℃
平均温度 Average temperature	27.5 ℃
平均降雨量 Average rainfall	243.87 mm

室内：将人工气候培养箱中温度设定为 27.5 ℃，光周期为 L：D = 14：10、相对湿度为 70%-80%（均与 5-6 月气候条件保持一致），待幼虫孵化后，在圆形塑料盒（D=10 cm，H=5 cm）中进行单头饲养，每隔 1 d 更换新鲜玉米叶片，并逐日记录幼虫的存活、发育历期、化蛹及羽化等情况。幼虫化蛹后的第 2 天，称量蛹重。羽化后的成虫进行雌雄配对，投放到圆柱形塑料盒（80 目纱网封口，D=10 cm、H=15 cm）中，每天以无菌脱脂棉蘸取 10% 蜂蜜水饲喂 1 次，盒内放新鲜玉米叶片以供草地贪夜蛾成虫产卵。记录产卵前期、产卵量、成虫寿命等试验参数。

室外：供试材料为网式饲养笼（河南智科弘润环保科技有限公司），规格为 70 cm × 70 cm × 70 cm，采用 80 目纱网为面。将试验耕地划分为 3 块小区，分别播种小片玉米种子（品种为“皇冠”甜玉米），期间保持正常的水肥管理。待玉米植株生长至苗期 3 叶，将计数好的草地贪夜蛾卵块放置于寄主叶片上，盖上饲养笼，并逐日记录幼虫的存活、发育历期等情况。幼虫生长至 6 龄后期及化蛹时，通过挖掘饲养笼底部土壤来判断死蛹数量，根据蛹的外部形状差异鉴别雌雄（董前进等，2019），并记录蛹重。待成虫羽化，笼中雄雌虫配对后，将雌虫转移至圆形塑料盒（80 目纱网封口，D=10 cm、H=15 cm）中每天以无菌脱脂棉蘸取 10% 蜂蜜水进行单头饲喂，盒内放新鲜玉米叶片以供产卵，记录产卵前期、产卵量、成虫寿命等试验参数。

1.4 种群生命表构建

根据年龄-阶段两性种群生命表理论(Chi et al., 2019)，利用两性生命表软件 TWOSEX-

MSChart-2022 分析室内外条件下草地贪夜蛾种群生长发育、存活及产卵情况等原始数据。按照下列公式计算种群生命表参数：净增殖率（ R_0 ）、内禀增长率（ r ）、世代时间（ T ）、周限增长率（ λ ）。

净增殖率（ R_0 ）：
$$R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x ;$$

内禀增长率（ r ）：
$$\sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x e^{-r(x+1)} = 1 ;$$

周限增长率（ λ ）：
$$\lambda = e^r ;$$

世代时间（ T ）：
$$T = \frac{\ln R_0}{r} .$$

上述公式中 l_x 为种群年龄-特征存活率，指从卵发育至年龄 x 的概率； m_x 为种群年龄-特征繁殖力，指整个种群在年龄 x 时的平均产卵数量；种群年龄阶段-特征繁殖值 $l_x m_x$ 表示为 l_x 和 m_x 的乘积。

1.5 数据分析

利用 Excel 2019 和 SPSS 25.0 version 进行数据处理分析。室内外不同处理对草地贪夜蛾生长发育、繁殖等生物学参数的影响经 t 测验检验其差异性。

2 结果与分析

2.1 室内外草地贪夜蛾生长发育和繁殖比较

室内外相比草地贪夜蛾卵期和 1 龄幼虫发育历期无统计学差异，2 龄以后各龄幼虫发育历期及蛹期均存在显著差异（ $P < 0.05$ ，表 2）。室内草地贪夜蛾从卵发育至成虫期需要 28.26 d，显著高于室外（ $P < 0.05$ ）。根据表 3 可知，室内的草地贪夜蛾雄蛹、雌蛹重量以及化蛹率均显著高于室外（ $P < 0.05$ ），室内雄蛹与雌蛹重量无显著性差异，而室外的雌蛹重量要显著高于雄蛹（ $P = 0.019 < 0.05$ ）。在室内条件下，草地贪夜蛾成虫寿命均显著高于室外（ $P < 0.05$ ，表 4），两种处理下雄虫寿命与雌虫之间无显著差异性；在室内条件下，草地贪夜蛾的产卵前期和产卵历期均显著长于室外（ $P < 0.05$ ），室外的平均单雌产卵量与室外差异不显著（ $P = 0.07 > 0.05$ ）。

表 2 室内外草地贪夜蛾不同发育阶段的历期
Table 2 Duration of different developmental stages of *Spodoptera frugiperda* between indoors and outdoors

发育阶段 Development stage	发育历期 (d) Development duration (d)	
	室内 Indoor	室外 Outdoor
卵 Egg	2.40 ± 0.04 a	2.30 ± 0.04 a
1 龄幼虫 1st instar larva	2.08 ± 0.03 a	2.03 ± 0.02 a
2 龄幼虫 2nd instar larva	2.41 ± 0.05 a	2.22 ± 0.05 b
3 龄幼虫 3rd instar larva	2.61 ± 0.05 a	2.17 ± 0.06 b
4 龄幼虫 4th instar larva	2.77 ± 0.04 a	1.91 ± 0.04 b
5 龄幼虫 5th instar larva	3.03 ± 0.02 a	2.05 ± 0.03 b
6 龄幼虫 6th instar larva	4.94 ± 0.04 a	3.90 ± 0.10 b
蛹 Pupa	7.97 ± 0.05 a	6.71 ± 0.12 b
卵-成虫 Egg-adult	28.26 ± 0.14 a	23.59 ± 0.22 b

表中数据为平均值 ± 标准误, 同行数据后不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$, t 检验)。表 4 同。
Data in the table are represented as mean ± SE, and followed by different letters in the same column indicate significantly different ($P < 0.05$, t -test). The same below.

2.2 室内外草地贪夜蛾存活率和繁殖力的比较

根据年龄-阶段特征存活率 S_{xy} 可知 (图 1), 室内外不同温度条件下卵的孵化率差异不显著 ($P > 0.05$), 室内草地贪夜蛾幼虫存活率高于室外, 且雄成虫和雌成虫存活率显著高于室外。比较草地贪夜蛾 1 龄幼虫和 2 龄幼虫时存活率差异最大, 在室内的幼虫存活率分别为 77.50%、71.66%, 室外幼虫的存活率分别为 45.83%、31.66%。室内外草地贪夜蛾蛹期的存活率分别为 55.83%和 26.66%。种群年龄-特征繁殖力曲线 m_x 表明室外变温条件下的草地贪夜蛾繁殖力更强, 其峰值出现在第 29 天, 而室内峰值出现在第 37 天。

2.3 室内外不同温度下草地贪夜蛾的种群生命表参数

草地贪夜蛾在室外变温条件下平均世代周期最短 (30.01 d), 室内恒温周期最长, 两者相差 (8.09 d)。室内的净增值率明显高于室外 (表 5), 但内禀增长率和周限增长率略低于室外。

3 讨论

草地贪夜蛾在适生区田间自然条件下可以

表 3 室内外草地贪夜蛾蛹的相关参数
Table 3 Parameters of pupa of *Spodoptera frugiperda* between indoors and outdoors

地点 Location	蛹重 (mg) Weight of pupa (mg)		化蛹率 (%) Pupation rate (%)	性比 * Sex ratio
	雄 Male	雌 Female		
室内 Indoor	202.98 ± 11.69 aA	200.36 ± 2.78 aA	56.07 ± 0.99 a	0.53 ± 0.01 b
室外 Outdoor	163.06 ± 8.89 bB	189.56 ± 1.86 bA	28.52 ± 1.94 b	0.59 ± 0.01 a

表中性比 * =雌成虫数目占成虫总数目的比值。同列数据后不同大写字母表示雄雌蛹重的差异性; 同列数据后不同小写字母表示为差异显著 ($P < 0.05$, t 检验)。下表同。
Sex ratio=Number of females/number of females and males. Data followed by the different uppercase letters in the same column indicate significant differences in the weight of male and female pupae, while followed by different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$, t -test). The same below.

表 4 室内外草地贪夜蛾的成虫寿命和雌虫生殖力
Table 4 Adult longevity and female fecundity of *Spodoptera frugiperda* between indoors and outdoors

地点 Location	成虫寿命（d）Adult longevity（d）		产卵前期（d）	产卵期（d）	平均单雌产卵量（粒）
	雄 Male	雌 Female	Adult preoviposition period (d)	Duration of oviposition (d)	Mean number of eggs laid per female (grain)
室内 Indoor	12.87 ± 0.13 a	12.94 ± 0.11 a	7.13 ± 0.09 a	4.83 ± 0.07 a	507.11 ± 6.77 a
室外 Outdoor	8.57 ± 0.11 b	8.45 ± 0.15 b	4.09 ± 0.06 b	4.00 ± 0.07 b	524.04 ± 12.60 a

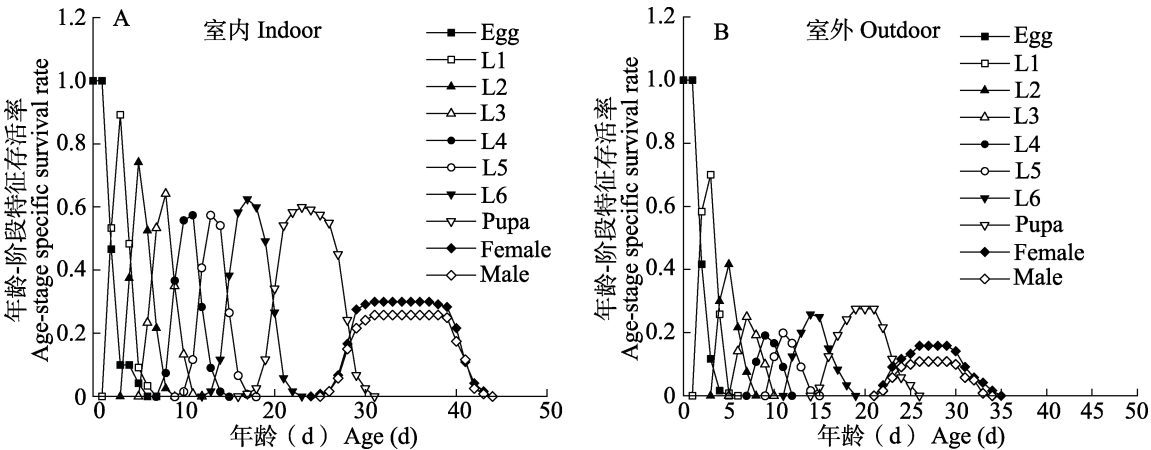


图 1 室内 (A) 外 (B) 不同环境下草地贪夜蛾年龄-阶段特征存活率 (s_{xy})

Fig. 1 Age-stage specific survival rate (s_{xy}) of *Spodoptera frugiperda* between indoors(A) and outdoors (B)

图中 L1-L6 表示为草地贪夜蛾 1-6 龄幼虫, “Pupa” 表示为蛹, “Female” 表示为雌成虫, “Male” 表示为雄成虫。
L1-L6 in the figure represents 1st-6th instar larvae of *Spodoptera frugiperda*, “Pupa” means pupa, “Female” means female adult, and “Male” means male adult.

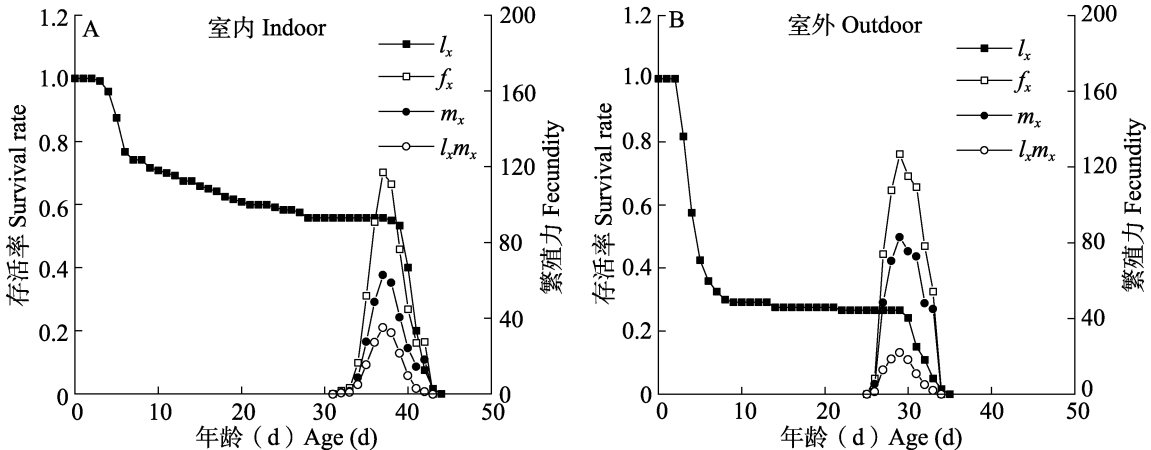


图 2 室内 (A) 外 (B) 不同环境下草地贪夜蛾种群年龄-特征存活率 (l_x)、雌虫年龄-特征繁殖力 (f_x)、种群年龄-特征繁殖力 (m_x) 和种群年龄-特征繁殖值 ($l_x m_x$)

Fig. 2 Age-specific survival rate (l_x), female age-specific fecundity (f_x), age-specific fecundity of total population (m_x), and age-specific maternity ($l_x m_x$) of *Spodoptera frugiperda* between indoors(A) and outdoors (B)

表 5 室内外草地贪夜蛾的种群生活史参数					
Table 5 Life table parameters of <i>Spodoptera frugiperda</i> between indoors and outdoors					
地点 Location	R_0	r (d ⁻¹)	T (d)	λ (d ⁻¹)	
室内 Indoor	152.13	0.13	38.10	1.14	
室外 Outdoor	81.59	0.14	30.01	1.15	

R_0 =净增殖率, r =内禀增长率, T =世代时间, λ =周限增长率。
 R_0 =Net reproductive rate; r =Intrinsic increase rate per day; T =Mean generation time; λ =Finite increase rate.

多代繁殖, 种群动态特征错综复杂 (魏向敏等, 2020; 牛浩等, 2022)。较短的发育历期是衡量昆虫适应度的一项重要指标 (Moreau *et al*, 2006), 本研究结果表明草地贪夜蛾在室内外不同温度环境下均能完成其整个生活史进程, 而室外变温条件下草地贪夜蛾的发育历期要显著短于室内, 这可能是由于室外的有效积温较高于室内, 草地贪夜蛾世代历期更短, 有利于种群增长。然而, 室外自然环境中除了温度变化外, 降雨等

多种环境因素变化较大,不利于草地贪夜蛾存活,导致室外幼虫的死亡率上升(常晓娜等, 2008)。因此除了温度变化,其他关键影响因子仍待进一步研究,例如 He 等(2021)研究发现环境湿度对草地贪夜蛾生长发育和繁殖的影响;闫三强等(2022)研究发现在模拟降雨条件下土壤中草地贪夜蛾蛹的发育历期及羽化率均会受到影响;孟令贺(2022)等的研究结果表明在不同光周期条件下,长光照相对于短光照更适合草地贪夜蛾发育繁殖。

目前对草地贪夜蛾生命表的研究主要集中在室内(He *et al.*, 2021; 董松等, 2022),关于田间生命表的研究极少。本试验通过对草地贪夜蛾在室内外两种不同温度模式下的生活史参数进行两性种群生命表构建,以此探究其种群发生动态变化。结果表明室内恒温饲养下草地贪夜蛾种群的存活率更高,成功化蛹率达到 56.07%,但根据种群年龄-特征繁殖力曲线可得知室外变温条件下草地贪夜蛾雌虫占总成虫比例也更大,种群的繁殖速度更快,对农作物生产能够造成更加严重的威胁。适宜的变温幅度不仅能够缩短昆虫的发育历期,也提高了繁殖能力,这与 Terblanche 等(2010)的结论保持一致。

本研究探讨了草地贪夜蛾在恒温 and 变温的生长发育、繁殖及种群生命表参数,有助于进一步揭示草地贪夜蛾的种群消长规律。本试验时间周期较短,仍有不足之处,无法精准反映长期的种群变化,因此还有待进一步深入研究。

参考文献 (References)

- Chang XN, Gao HJ, Chen FJ, Zhai BP, 2008. Effect of environmental moisture and precipitation on insects. *Chinese Journal of Ecology*, 27(4): 619–625. [常晓娜, 高慧璟, 陈法军, 翟保平, 2008. 环境湿度和降雨对昆虫的影响. 生态学杂志, 27(4): 619–625.]
- Chen LW, Ouyang XY, Li ZS, Xie MH, 1984. Preliminary study of nature life table for *Chilo suppressalis*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 21(4): 145–148. [陈龙稳, 欧阳享决, 李章顺, 谢美华, 1984. 二化螟田间种群生命表的初步研究. 昆虫知识, 21(4): 145–148.]
- Chi H, Fu JW, You MS, 2019. Age-stage, two-sex life table and its

- application in population ecology and integrated pest management. *Acta Entomologica Sinica*, 62(2): 255–262. [齐心, 傅建伟, 尤民生, 2019. 年龄-龄期两性生命表及其在种群生态学及害虫综合治理中的应用. 昆虫学报, 62(2): 255–262.]
- Chi H, You M, Atlihan R, 2019. Age-Stage, two-sex life table: An introduction to theory, data analysis, and application. *Entomologia Generalis*, 40(2): 102–123.
- Davis JA, Radcliffe EB, Ragsdale DW, 2006. Effects of high and fluctuating temperatures on *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Environmental Entomology*, 35(6): 1461–1468.
- Day R, Abrahams P, Bateman M, Beale T, Clotley V, Cock M, Colmenarez Y, Corniani N, Early R, Godwin J, Gomez J, Moreno PG, Murphy ST, Oppong MB, Phiri N, Pratt C, Silvestri S, Witt A, 2017. Fall Armyworm: Impacts and Implications for Africa. *Outlooks on Pest Management*, 28(5): 196–201.
- Dong QJ, Zhou JC, Zhu KH, Zhang ZT, Dong H, 2019. A simple method for identifying sexuality of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) pupae and adults. *Plant Protection*, 45(5): 96–98, 105. [董前进, 周金成, 朱凯辉, 张柱亭, 董辉, 2019. 一种快速鉴别草地贪夜蛾蛹及雌虫的简易方法. 植物保护, 45(5): 96–98, 105.]
- Dong S, Lu ZB, Li LL, Zhu JS, Guan XM, Men XY, 2022. Life tables of the invasive insect pest fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* feeding on seven crops. *Journal of Plant Protection*, 49(2): 612–619. [董松, 卢增斌, 李丽莉, 朱军生, 关秀敏, 门兴元, 2022. 入侵害虫草地贪夜蛾取食七种食物的种群生命表. 植物保护学报, 49(2): 612–619.]
- Goergen G, Kumar PL, Sankung SB, Togola A, Tamò M, 2016. 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. *PLoS ONE*, 11(10): e0165632.
- Guo JF, He KL, Wang ZY, 2019. Biological characteristics, tend of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* and the strategy for management of the pest. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(3): 361–369. [郭井菲, 何康来, 王振营, 2019. 草地贪夜蛾的生物学特性、发展趋势及防控对策. 应用昆虫学报, 56(3): 361–369.]
- He LM, Wu QL, Gao XW, Wu KM, 2021. Population life tables for the invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* fed on major oil crops planted in China. *Journal of Integrative Agriculture*, Doi: 10.1016/S2095-3119(20)63274-9.
- He LM, Zhao SY, Ali A, Ge SS, Wu KM, 2021. Ambient humidity affects development, survival, and reproduction of the invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), in China. *Journal of Economic Entomology*, Doi:

- 10.1093/jee/toab056.
- Jiang YY, Liu J, Zhu XM, 2019. Occurrence dynamics and future trends of *Spodoptera frugiperda* invasion in China. *China Plant Protection*, 39(2): 33–35. [姜玉英, 刘杰, 朱晓明, 2019. 草地贪夜蛾侵入我国的发生动态和未来趋势分析. 中国植保导刊, 39(2): 33–35.]
- Kivan M, Kilic N, 2010. Age-specific fecundity and life table of *Trissolcus semistriatus*, an egg parasitoid of the sunn pest *Eurygaster integriceps*. *Entomological Science*, 9(1): 39–46.
- Liu ZJ, Ma ZQ, Dang S, 2001. Review on population dynamics of insects. *ShanXi Forestry Science and Technology*, 2001(S1): 1–3, 16. [刘志军, 马忠秋, 党申, 2001. 国内外昆虫种群动态研究概述. 山西林业科技, 2001(S1): 1–3, 16.]
- Lu YH, Yang LY, 2023. Study on prevention and control strategy of fall armyworm in China. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2023(2): 135–138. [陆耀辉, 杨兰艳, 2023. 我国草地贪夜蛾防控策略研究. 农业科技通讯, 2023(2): 135–138.]
- Meng LH, Jiang XF, Li P, Xia JX, Zhang TQ, Cheng YX, Zhang L, 2022. Comparison of bisexual life tables of *Spodoptera frugiperda* in different photoperiods. *Plant Protection*, 48(3): 63–73. [孟令贺, 江幸福, 李平, 夏吉星, 张同强, 程云霞, 张蕾, 2022. 不同光周期下草地贪夜蛾两性生命表的比较. 植物保护, 48(3): 63–73.]
- Miyazayi Y, Goto SG, Tanaka K, Saito O, Watari Y, 2011. Thermoperiodic regulation of the circadian eclosion rhythm in the flesh fly, *Sarcophaga crassipalpis*. *Journal of Insect Physiology*, 39(1): 20–30.
- Moreau J, Benrey B, Thiéry D, 2006. Grape variety affects larval performance and also female reproductive performance of the European grapevine moth *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Bulletin of Entomological Research*, 96(2): 205–212.
- Niu H, Niu T, Wang XP, 2022. Morphological characteristics, development stages and living habits of *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Agricultural Sciences*, 43(1): 19–24. [牛浩, 牛通, 王新谱, 2022. 草地贪夜蛾的形态特征、发育历期和生活习性. 农业科学研究, 43(1): 19–24.]
- Shi CH, Hu JR, Zhang YJ, 2017. Effects of heat stress on insect reproduction-physiology and outlook in agricultural insect pests control. *China Plant Protection*, 37(3): 24–32. [史彩华, 胡静荣, 张友军, 2017. 高温对昆虫生殖生理的影响及其在农业害虫防治中的展望. 中国植保导刊, 37(3): 24–32.]
- Sun XX, Hu CX, Jia HR, Wu QL, Shen XJ, Zhao SY, Jiang YY, Wu KM, 2021. Case study on the first immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* invading into China. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(3): 664–672.
- Terblanche JS, Nyamukondiwa C, Kleynhans E, 2010. Thermal variability alters climatic stress resistance and plastic responses in a globally invasive pest, the Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata*). *Entomol. Exp. Appl.*, 137(3): 304–315.
- Todd EL, Poole RW, 1998. Keys and illustrations for the armyworm moths of the noctuid genus *Spodoptera* Guenee from the Western Hemisphere. *Annals of the Entomological Society of America*, 73(6): 722–738.
- Wang L, Chen KW, Zhong GH, Xian JD, He XF, Lu YY, 2019. Process for occurrence and management and the strategy of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*(Smith). *Journal of Environmental Entomology*, 41(3): 479–487. [王磊, 陈科伟, 钟国华, 冼继东, 何晓芳, 陆永跃, 2019. 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. 环境昆虫学报, 41(3): 479–487.]
- Wei XM, Cui Y, Ye GJ, Zhu KS, Xiang H, 2020. On the host adaptability, population dynamics of *Spodoptera frugiperda*: advances and prospect in efficient control. *Journal of Environmental Entomology*, 42(1): 42–51. [魏向敏, 崔勇, 叶国俊, 朱克森, 相辉, 2020. 草地贪夜蛾寄主适应性、种群动态特征及防控新思路展望. 环境昆虫学报, 42(1): 42–51.]
- Xu ZF, 2009. General Entomology. Beijing: Science Press. 340–341. [许再福, 2009. 普通昆虫学. 北京: 科学出版社. 340–341.]
- Yan SQ, Lv BQ, Tang JH, Lu H, Tang X, Su H, Xiang KP, 2022. Influence of simulated rainfall on the emergence of *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Environment Entomology*, 44(1): 18–26. [闫三强, 吕宝乾, 唐继洪, 卢辉, 唐雪, 苏豪, 向凯萍, 2022. 模拟降雨对草地贪夜蛾羽化出土的影响. 环境昆虫学报, 44(1): 18–26.]
- Yang PY, Zhu XM, Guo JF, Wang ZY, 2019. Strategy and advice for managing the fall armyworm in China. *Plant Protection*, 45(4): 1–6. [杨普云, 朱晓明, 郭井菲, 王振营, 2019. 我国草地贪夜蛾的防控对策与建议. 植物保护, 45(4): 1–6.]