

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

王文倩¹ 郑亚强¹ 陈 斌^{1*} PHANGTHAVONG Souksamone 肖关丽^{2*}

(1. 云南农业大学植物保护学院, 云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201;

2. 云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明 650201)

摘要: 为生态调控马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella*, 在室内测定取食马铃薯和烟草后马铃薯块茎蛾的各生长发育指标, 并利用年龄-阶段两性生命表计算取食这2种植物后马铃薯块茎蛾的存活率、繁殖力、寿命期望、繁殖值和种群参数, 并分析不同寄主之间各参数的差异。结果表明, 取食烟草的马铃薯块茎蛾卵发育历期、幼虫发育历期、蛹发育历期、雌成虫寿命和雄成虫寿命分别为5.0、18.6、5.7、41.2和40.9 d, 均显著大于取食马铃薯的马铃薯块茎蛾(分别为4.1、16.7、3.6、37.2和36.7 d), 取食马铃薯的马铃薯块茎蛾的每日单雌产卵量、内禀增长率、周限增长率和净增殖率分别为130.2粒、0.138 d⁻¹、1.15 d⁻¹和49.5, 均显著高于取食马铃薯的马铃薯块茎蛾(分别为49.1粒、0.086 d⁻¹、1.09 d⁻¹和17.5); 取食马铃薯的马铃薯块茎蛾幼虫、蛹、新孵化个体到雌成虫和新孵化个体到雄成虫的存活率分别为93.4%、63.0%、38.0%和45.0%, 也高于取食烟草的马铃薯块茎蛾(分别为65.6%、59.0%、26.0%和28.0%); 取食马铃薯的马铃薯块茎蛾其平均世代周期为28.3 d, 显著短于取食烟草的马铃薯块茎蛾(33.2 d)。表明马铃薯块茎蛾取食马铃薯和烟草后均能正常生长发育和繁殖, 但马铃薯更适合马铃薯块茎蛾生长。

关键词: 马铃薯块茎蛾; 马铃薯; 烟草; 年龄-阶段两性生命表

Effects of different host plants on the growth, development and fecundity of potato tuber moth *Phthorimaea operculella* based on the age-stage two-sex life table

WANG Wenqian¹ ZHENG Yaqiang¹ CHEN Bin^{1*} PHANGTHAVONG Souksamone XIAO Guanli^{2*}

(1. State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Bio-Resources in Yunnan, College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, Yunnan Province, China; 2 College of Agriculture & Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, Yunnan Province, China)

Abstract: To ecologically regulate the potato tuber moth *Phthorimaea operculella*, the effects of its feeding on potato and tobacco on its growth and development were observed in the laboratory, and the age-stage two-sex life table was used to analyze the effects of eating these two plants on the survival rate, fecundity, life expectancy, reproductive value and population parameters of potato tuber moth. The results showed that the developmental periods of egg, larval, pupal stages of potato tuber moth feeding on tobacco were 5.0, 18.6 and 5.7 d, and the mean longevities of female and male of potato tuber moth feeding on tobacco were 41.2 d and 40.9 d, respectively, which were significantly longer than those feeding on potato (4.1, 16.7, 3.6, 37.2 and 36.7 d, respectively). The mean fecundity of adult female, intrinsic rate of increase, finite rate of increase and net reproductive rate of potato tuber moth feeding on

基金项目: 国家自然科学基金(31760519, 31660537), 国家重点研发计划(2018YFD0200703)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: chbins@163.com, glxiao9@163.com

收稿日期: 2019-08-02

potato were 130.2 eggs, 0.138 d⁻¹, 1.15 d⁻¹ and 49.5, which were all significantly higher than those feeding on tobacco (49.1 eggs, 0.086 d⁻¹, 1.09 d⁻¹ and 17.5, respectively). The survival rates of larvae, pupae, newly hatched individuals to female adults and newly hatched individuals to male adults of potato tuber moth feeding on potato were 93.4%, 63.0%, 38.0% and 45.0%, respectively, which were also higher than those feeding on tobacco (65.6%, 59.0%, 26.0% and 28.0%, respectively). The mean generation time of potato tuber moth feeding on potato was 28.3 d, which was significantly shorter than that on tobacco (33.2 d). The results showed that potato tuber moth could grow and reproduce normally after feeding on potato and tobacco, but potato was more suitable for potato tuber moth population growth.

Key words: *Phthorimaea operculella*; potato; tobacco; age-stage two-sex life table

马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella* 又名烟草潜叶蛾, 属于鳞翅目麦蛾科麦茎蛾属 (Rondon, 2010), 是一种世界性分布的、具有寄主专化性的寡食性害虫, 对马铃薯和烟草的嗜食性较强 (Mulatu et al., 2006; 王浩元等, 2013; 郭志祥等, 2014)。该虫分布范围极广, 目前在世界 90 多个国家均有分布 (Rondon, 2010), 在我国四川、云南和贵州等近 20 个省(区)均有分布 (徐国淦, 1985)。马铃薯块茎蛾幼虫常潜藏在叶子中蛀食烟草和马铃薯叶肉, 严重时其嫩茎和叶芽枯死, 幼株甚至死亡 (Rondon & Xue, 2010; Vanevagancheva et al., 2016)。近年来, 马铃薯被纳入我国主粮作物, 成为继玉米、水稻和小麦后的第四大粮食作物 (张萌等, 2017)。烟草也是世界重要经济作物之一, 我国烟草种植面积和产量位居世界首位, 近年来国内外各烟区陆续受到马铃薯块茎蛾为害, 且有逐年加重的趋势 (薛冬, 2014; Vanevagancheva et al., 2016)。因此, 探明马铃薯块茎蛾在马铃薯和烟草上的适生性, 对于该害虫的预测预报和综合治理具有重要意义。

生命表是昆虫种群生态学和害虫管理的重要工具, 有助于准确预测害虫种群增长, 协调害虫综合治理中控制策略的时机, 确定不同环境条件下目标害虫的生存、发育、寿命和繁殖力等种群参数 (Chi, 1988; Huang et al., 2017)。传统生命表是通过昆虫不同发育阶段的平均发育历期而得到存活率、繁殖力和生命表参数, 仅考虑雌虫的生命过程, 并以 2 倍雌虫数量来代表整个种群, 忽略雌、雄虫差异及雄虫对种群增长的贡献 (Huang & Chi, 2012)。与传统的雌性特定年龄生命表相比, 年龄-阶段两性生命表 (Chi & Liu, 1985; Chi, 1988) 除可以精确描述昆虫的龄期分化、性比对种群增长的影响外, 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。目前, 两性生命表已被广泛用于稻飞虱 *Nilaparvata lugens* (Hu et al., 2010)、瓜实蝇 *Bactrocera cucurbi-*

tae (Huang & Chi, 2013)、早熟禾拟茎草螟 *Parapediasia teterrella* (王凤等, 2016)、二点委夜蛾 *Athetis lepigone* (荣志云, 2016)、东方黏虫 *Mythimna separata* (秦建洋等, 2017)、桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis* (Chen et al., 2018) 等多种昆虫研究。生命表也被用于马铃薯块茎蛾的研究, 如金秀萍等 (2005) 采用传统生命表探讨了温度对马铃薯块茎蛾发育、存活和繁殖力的影响; Golizadeh & Razmjou (2010) 采用传统生命表探讨了 6 种不同马铃薯品种对马铃薯块茎蛾生命表参数的影响; Dekebo et al. (2019) 采用传统生命表探讨了马铃薯块茎蛾对不同品种番茄叶片的适应性; Chi & Getz (1988) 采用年龄-阶段两性生命表研究了温度对马铃薯块茎蛾生长发育和繁殖的影响; Yuan et al. (2018) 采用年龄-阶段两性生命表探讨了亚致死剂量下球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 对马铃薯块茎蛾种群动态的影响。昆虫的生长发育速率和繁殖力受寄主植物营养成分、次级代谢物质、挥发物、色素成分甚至寄主植物的形态特征等因素影响 (Soufbaf et al., 2012; Naseri et al., 2014; Ahmad et al., 2016), 因此不同寄主植物上的昆虫生长发育和繁殖力存在较大差异, 而关于不同寄主植物上马铃薯块茎蛾生长发育和繁殖力差异的研究也较少。

本研究拟在室内测定取食马铃薯和烟草的 2 个马铃薯块茎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, 明确寄主植物对马铃薯块茎蛾生长发育和繁殖的影响, 以为马铃薯块茎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 材料

供试虫源和植物: 于 2018 年 8 月自云南省红河哈尼族彝族自治州开远市中和营镇 (103°62'64" E,

23°77'70" N)烟草种植区采集马铃薯块茎蛾烟草种群,在实验室于室温条件下在K326烟草品种上继代饲养5代,获得稳定的烟草种群;于2018年8月自云南省宣威市板桥镇(104°04'28" E, 26°05'52" N)马铃薯种植区采集马铃薯块茎蛾马铃薯种群,在实验室于室温条件下在丽薯6号马铃薯品种上继代饲养5代,获得稳定的马铃薯种群。K326烟草种子,由云南省烟草公司大理州公司提供;丽薯6号马铃薯种薯,由云南省会泽县农技中心提供。

仪器:直径2.5 cm、高8 cm的指形管,北京宝元兴业科技有限公司;200目、长1.0 m×宽1.2 m×高1.8 m尼龙网箱,北京百思佳特科技有限责任公司。

1.2 方法

1.2.1 马铃薯块茎蛾生长发育指标的测定

将马铃薯和烟草分别播种于直径为20 cm、高为15 cm的盆中,置于云南农业大学植物保护学院10 m、宽5 m的温室内栽培,温度为25±3℃,相对湿度为(70±5)%。待烟草(约8片叶时)和马铃薯植株(约11片叶)株高达30 cm时,选择健康无病虫害的植株,置于尼龙箱内,用于接虫。当产卵盛期时,分别将在烟草和马铃薯上饲养的马铃薯块茎蛾成虫接入尼龙网箱内的对应植物上,产卵24 h后移除成虫,每个叶片留1粒卵,挑去多余卵,每种植物上保留100粒,每天早上09:00定时观察烟草叶片和马铃薯叶片上马铃薯块茎蛾虫态的变化和存活情况,待成虫羽化后记录雌虫每日产卵量,直至成虫死亡。其中从产卵至孵化为幼虫的时间为卵发育历期;从初孵幼虫到化蛹的时间为幼虫发育历期,从化蛹到成虫羽化的时间为蛹发育历期。将羽化的雌、雄成虫按1:1在新的指形管中进行配对,顶部用2层纱布封口,在其上添加5%蜂蜜水,供试虫取食和产卵,每天早上09:00记录产卵量及雌、雄成虫存活情况,直至所有成虫死亡。从初孵卵到第1次产卵的时间为总产卵前期,从成虫羽化后到第1次产卵的时间为成虫产卵前期。试验均于室温下进行。

1.2.2 年龄-阶段两性生命表的建立

利用1.2.1测得的2个马铃薯块茎蛾种群各虫态的发育历期及雌成虫每日单雌产卵量数据,根据年龄-阶段两性生命表原理(Chi & Liu, 1985),按照Chi & Su (2006)、Tuan et al. (2014)和Yang et al. (2015)方法建立马铃薯块茎蛾年龄-阶段两性生命表。

1.2.3 不同寄主对马铃薯块茎蛾存活率的影响

根据1.2.2年龄-阶段两性生命表计算取食不同

植物马铃薯块茎蛾各虫态的存活率和种群存活率 l_x 。存活率 s_{xy} 表示个体由卵发育到年龄 x 阶段 j 的概率,各阶段的重叠部分说明种群均有世代重叠,由每日记录的群体存活数来计算。种群存活率 l_x 表示从卵发育到年龄 x 的存活率, $l_x = \sum_{j=1}^m s_{xy} \cdot j$ 和 m 为发育阶段。

1.2.4 不同寄主对马铃薯块茎蛾繁殖力的影响

根据1.2.2年龄-阶段两性生命表计算取食不同植物马铃薯块茎蛾的雌成虫繁殖力 f_{x4} 、种群繁殖力 m_x 和种群净增殖力 $l_x m_x$ 等繁殖力参数。其中雌成虫繁殖力 f_{x4} 表示雌成虫在年龄 x 的产卵量;种群繁殖力 m_x 表示整个种群在年龄 x 的平均产卵量, $m_x = \sum_{j=1}^m s_{xy} f_{xy} / \sum_{j=1}^m s_{xy} \cdot f_{xy}$ 表示雌成虫在年龄 x 阶段 j 的产卵量;种群净增殖力 $l_x m_x$ 为种群存活率 l_x 与种群繁殖力 m_x 的乘积。

1.2.5 不同寄主对马铃薯块茎蛾寿命期望的影响

根据1.2.2年龄-阶段两性生命表计算取食不同植物马铃薯块茎蛾的寿命期望值 e_{xy} 。寿命期望值 e_{xy} 表示年龄 x 阶段 y 的个体能够继续存活的天数, $e_{xy} = \sum_{i=x}^n \sum_{j=y}^m s'_{ij}$,其中 s'_{ij} 为年龄 x 和阶段 y 的个体存活到年龄 i 和阶段 j 的概率, n 均为年龄。

1.2.6 不同寄主对马铃薯块茎蛾繁殖值的影响

根据1.2.2年龄-阶段两性生命表计算取食不同植物马铃薯块茎蛾繁殖值 v_{xy} 。繁殖值 v_{xy} 表示年龄 x 阶段 y 的个体对未来种群的贡献, $v_{xy} = \frac{e^{-r(x+1)}}{s_{xy}} \sum_{i=x}^n e^{-r(i+1)} \sum_{j=y}^m s'_{ij} f_{ij}$, r 为内禀增长率, s_{xy} 为年龄 x 发育阶段 y 的存活率, f_{ij} 为年龄 i 发育阶段 j 的产卵量。

1.2.7 不同寄主对马铃薯块茎蛾种群参数的影响

根据1.2.2年龄-阶段两性生命表计算取食不同植物马铃薯块茎蛾的种群参数,包括内禀增长率 r 、周限增长率 λ 、净增殖率 R_0 和平均世代周期 T 。其中内禀增长率 r 表示在给定的物理和生物条件下,具有稳定年龄组配种群的最大瞬时增长率,用迭代二分法计算(Goodman, 1982), $\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1$ 。周限增长率 λ 指在不受外界环境限制的情况下,种群平均每天增长的速率, $\lambda = e^r$ 。净增殖率 R_0 指1个个体一生中所产生的后代数, $R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x$ 。平均世代周期 T 指种群达到稳定增长率(r 和 λ)时,增加 R_0 所需的时间, $T = \ln R_0 / r$ 。

1.3 数据分析

使用 TWOSEX-MSChart 2018 程序计算各参数,各参数的平均数和标准误均采用bootstrap技术 (Efron & Tibshirani, 1993)来估计,其中重复次数为 100 000 次,并用 Sigmaplot 12.5 和 Adobe Illustrator CC 软件作图。应用 TWOSEX-MSChart 程序里的 Paired bootstrap test 对数据进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同寄主对马铃薯块茎蛾生长发育指标的影响

除成虫产卵前期外,取食烟草的马铃薯块茎蛾的卵发育历期、幼虫发育历期、蛹发育历期、总产卵前期均显著大于取食马铃薯的马铃薯块茎蛾 ($P<0.05$),其分别为 5.0、18.6、5.7、30.5 d 和 4.1、16.7、3.6、25.5 d;取食烟草的马铃薯块茎蛾的雌、雄成虫寿命分别为 41.2 d 和 40.9 d,均显著大于取食马铃薯

的马铃薯块茎蛾雌、雄成虫寿命 (37.2 d 和 36.7 d, $P<0.05$);取食烟草的马铃薯块茎蛾每日单雌产卵量为 49.1 粒,显著低于取食马铃薯的马铃薯块茎蛾 (130.2 粒, $P<0.05$,表 1)。

2.2 不同寄主对马铃薯块茎蛾存活率的影响

取食烟草和马铃薯的马铃薯块茎蛾的存活率不同,其中取食烟草的马铃薯块茎蛾各阶段的存活率均低于取食马铃薯的种群。取食烟草和马铃薯的马铃薯块茎蛾卵存活率都较高,均在 90% 以上;取食烟草的马铃薯块茎蛾幼虫存活率和蛹存活率分别为 65.6% 和 59.0%,低于取食马铃薯的马铃薯块茎蛾 (93.4% 和 63.0%);取食烟草的马铃薯块茎蛾新孵化个体到发育为雌、雄成虫的存活率分别为 26.0% 和 28.0%,也低于取食马铃薯的马铃薯块茎蛾 (38.0% 和 45.0%,图 1);无论取食马铃薯还是烟草的马铃薯块茎蛾,其雄成虫的存活率均高于雌成虫的存活率。

表 1 取食不同寄主植物的马铃薯块茎蛾发育历期、寿命和每日单雌产卵量
Table 1 Developmental periods, longeivities and eggs laid per female per day in *Phthorimaea operculella* feeding on different host plants

寄主植物 Host plant	发育历期 Developmental duration/d					寿命 Longevity/d		每日单雌 产卵量 Eggs laid per female per day
	卵期 Egg	幼虫期 Larva	蛹期 Pupa	成虫产卵前期 Adult preoviposi- tion period	总产卵前期 Total preoviposi- tion period	雌成虫 Female adult	雄成虫 Male adult	
烟草 Tobacco	5.0±0.1 a	18.6±0.2 a	5.7±0.1 a	1.2±0.1 a	30.5±0.2 a	41.2±0.5 a	40.9±0.6 a	49.1±4.9 b
马铃薯 Potato	4.1±0.1 b	16.7±0.1 b	3.6±0.1 b	1.2±0.1 a	25.5±0.3 b	37.2±0.3 b	36.7±0.4 b	130.2±7.3 a

表中数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经 Paired bootstrap test 检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Paired bootstrap test.

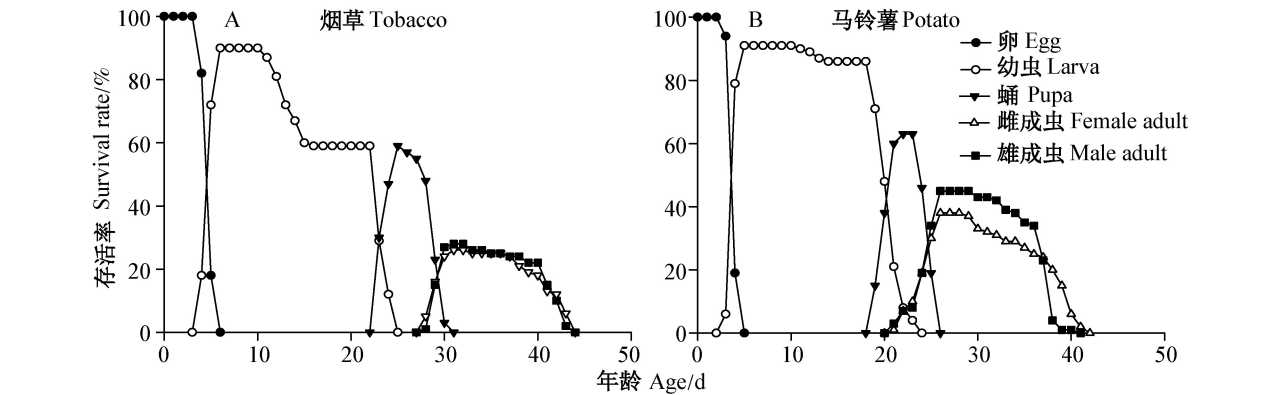


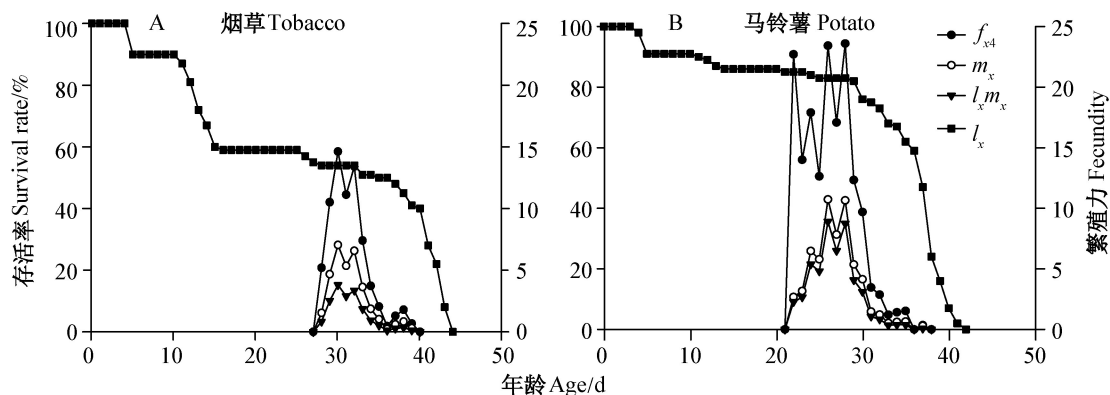
图 1 取食不同寄主植物的马铃薯块茎蛾各虫态的存活率
Fig. 1 Survival rates of each insect stage of *Phthorimaea operculella* feeding on different host plants

取食烟草的马铃薯块茎蛾种群存活率下降速率较快,第 5 天时其存活率降至 90.0%,第 6~10 天,其存活率维持在 90.0%,第 11~16 天,其存活率维持在

59.0%,第 17~32 天,其存活率维持在 54.0%,自第 33 天开始,其存活率逐渐降低,至第 44 天时其存活率降为 0 (图 2-A);取食马铃薯的马铃薯块茎蛾的种群存

活率下降较为平缓,第5天时其存活率维持为91.0%,第6~29天,其存活率逐渐降低为82.0%,自

第30天其存活率快速下降,至第42天下降为0(图2-B)。



l_x : 种群存活率; f_{x4} : 雌成虫繁殖力; m_x : 种群繁殖力; $l_x m_x$: 种群净增殖力。

l_x : Population survival rate; f_{x4} : female fecundity; m_x : population fecundity; $l_x m_x$: population maternity.

图2 取食不同寄主植物的马铃薯块茎蛾种群存活率和繁殖力

Fig. 2 Population survival rates and fecundity of *Phthorimaea operculella* feeding on different host plants

2.3 不同寄主对马铃薯块茎蛾繁殖力的影响

随着时间的延长,取食马铃薯和烟草的马铃薯块茎蛾的雌成虫繁殖力 f_{x4} 、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,且取食马铃薯的马铃薯块茎蛾的各繁殖力参数值均高于取食烟草的马铃薯块茎蛾。取食烟草的马铃薯块茎蛾繁殖力曲线(f_{x4} 、 m_x 、 $l_x m_x$)自第29天开始,而取食马铃薯的马铃薯块茎蛾繁殖力曲线自第23天开始,表明取食马铃薯的马铃薯块茎蛾较取食烟草的马铃薯块茎蛾繁殖快(图2)。

2.4 不同寄主对马铃薯块茎蛾寿命期望值的影响

随着时间的延长,取食烟草和马铃薯的马铃薯

块茎蛾的预期寿命期望值均逐渐降低。在最初的13 d内,取食烟草的马铃薯块茎蛾各阶段的寿命期望值均低于取食马铃薯的马铃薯块茎蛾,但在13 d以后至成虫死亡,取食烟草的马铃薯块茎蛾各阶段的寿命期望值均高于取食马铃薯的马铃薯块茎蛾,表明取食烟草的马铃薯块茎蛾较取食马铃薯的马铃薯块茎蛾发育慢。取食烟草和马铃薯的马铃薯块茎蛾幼虫的特征寿命期望值先降低后再升高,表明幼虫期有较高的死亡率(图3)。尽管取食烟草的马铃薯块茎蛾的预期寿命长于取食马铃薯的马铃薯块茎蛾(图3),但取食烟草的马铃薯块茎蛾的存活率低于取食马铃薯的马铃薯块茎蛾的存活率(图1)。

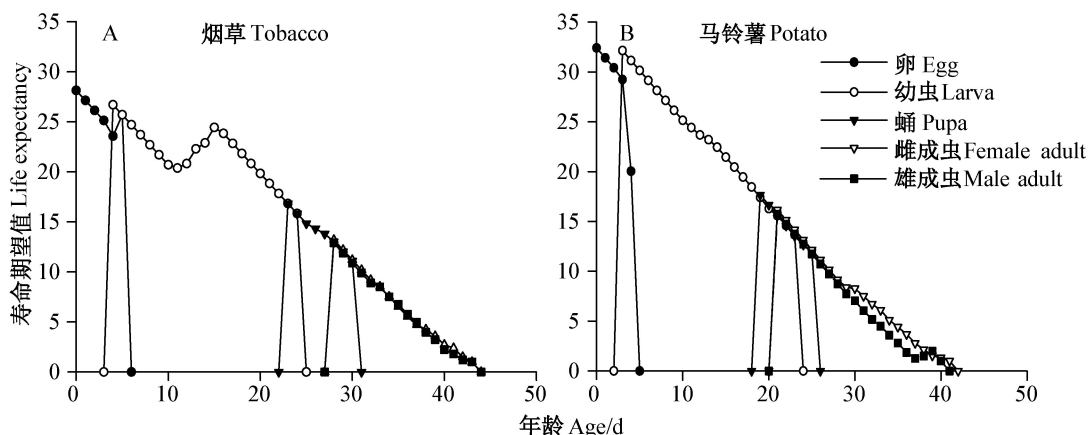


图3 取食不同寄主植物的马铃薯块茎蛾各虫态的寿命期望值

Fig. 3 Life expectancy of each insect stage of *Phthorimaea operculella* feeding on different host plants

2.5 不同寄主对马铃薯块茎蛾繁殖值的影响

取食烟草和马铃薯的马铃薯块茎蛾初始卵繁殖

值分别为1.09和1.15,随着其生长和发育,其繁殖值逐渐升高,在雌成虫产卵时期,马铃薯块茎蛾繁殖值

均达到最大值。取食烟草的马铃薯块茎蛾于第29天繁殖值达到最大值,为54.06,繁殖值出现的时间晚于取食马铃薯的马铃薯块茎蛾,其最大值也小于取食马铃薯的马铃薯块茎蛾(于第23天繁殖值达到最大值,为97.68)(图4)。

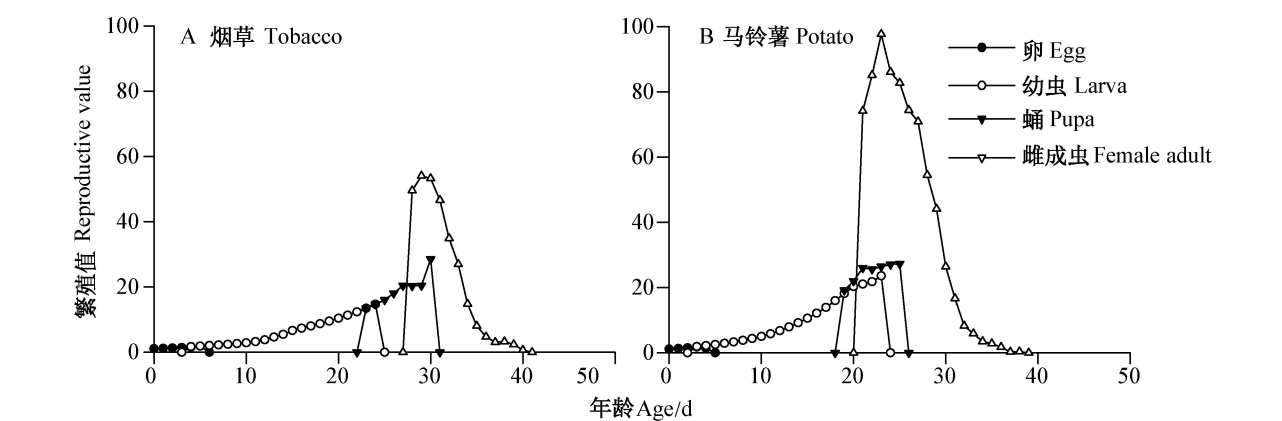


图4 取食不同寄主植物的马铃薯块茎蛾各虫态的繁殖值

Fig. 4 Reproductive values of each insect stage of *Phthorimaea operculella* feeding on different host plants

2.6 不同寄主对马铃薯块茎蛾种群参数的影响

取食不同寄主的马铃薯块茎蛾种群参数差异明显,其中取食马铃薯的马铃薯块茎蛾的内禀增长率、周限增长率和净增殖率分别为0.138 d⁻¹、1.15 d⁻¹和49.5,均显著高于取食烟草的马铃薯块茎蛾(0.086 d⁻¹、1.09 d⁻¹和17.5, *P*<0.05),取食马铃薯的马铃薯块茎蛾的平均世代周期为28.3 d,则显著低于取食烟草的马铃薯块茎蛾(33.2 d, *P*<0.05,表2)。

表2 取食不同寄主植物的马铃薯块茎蛾的种群参数

Table 2 Population parameters of *Phthorimaea operculella* feeding on different host plants

种群参数 Population parameter	寄主植物 Host plant	
	马铃薯 Potato	烟草 Tobacco
内禀增长率 Intrinsic rate of increase/(d ⁻¹)	0.138±0.005 a	0.086±0.006 b
周限增长率 Finite rate of increase/(d ⁻¹)	1.15±0.01 a	1.09±0.01 b
净增殖率 Net reproductive rate	49.5±6.9 a	17.5±3.2 b
平均世代周期 Mean generation time/d	28.3±0.3 b	33.2±0.2 a

表中数据为平均数±标准误。同行不同字母表示经 Paired bootstrap test 检验在 *P*<0.05 水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters in the same row indicate significant difference at *P*<0.05 level by Paired bootstrap test.

3 讨论

本研究结果发现取食烟草和马铃薯对马铃薯块茎蛾的发育历期、存活率和繁殖力等种群参数具有显著影响,与许多关于寄主植物对昆虫生长发育影响的研究结果一致(胡良雄等,2014; Sedighi et al., 2017; 张同强等,2020)。本研究发现取食烟草的马铃薯块茎蛾卵发育历期、幼虫发育历期和蛹发育历期均长于取食马铃薯的马铃薯块茎蛾,而存活率和繁殖力却低于取食马铃薯的马铃薯块茎蛾,究其原因可能是烟草与马铃薯叶片内主要物质或次生代谢物质不同,而取食烟草的马铃薯块茎蛾的卵孵化率却与取食马铃薯的马铃薯块茎蛾的卵孵化率相当,这也可能是马铃薯块茎蛾适应寄主的一种机制,这

些都需要进一步探究确定。薛冬(2014)研究了不同温度下马铃薯块茎蛾在烟草上的发育历期,发现在恒温25℃下,全世代的发育历期为27.46 d,而本研究发现无论是取食烟草还是取食马铃薯的马铃薯块茎蛾雌成虫和雄成虫的寿命均远高于薛冬(2014)研究结果,其原因可能是本研究是在23~27℃室温条件下进行的,这种变温条件可能更适合马铃薯块茎蛾的生长发育;其次,可能与马铃薯块茎蛾来源不同有关,本研究采用的是云南省本地的马铃薯块茎蛾,而薛冬(2014)采用的马铃薯块茎蛾采集于山东省诸城市烟田,具体原因还需进一步研究。

卵是昆虫生命的始源,产卵是昆虫完成个体发育、繁衍后代必经的生命阶段。本研究结果显示取食马铃薯的马铃薯块茎蛾单雌产卵量显著高于取食

烟草的马铃薯块茎蛾单雌产卵量,可能是由于烟碱影响了马铃薯块茎蛾交配或卵的发育,具体原因还需进一步探索。同时,本研究还发现取食马铃薯和烟草的马铃薯块茎蛾其存活率、繁殖力均有所不同,表现为取食烟草的马铃薯块茎蛾的存活率和繁殖力均低于取食马铃薯的马铃薯块茎蛾,究其原因可能是烟草与马铃薯体内物质及含量存在差异。马铃薯和烟草均含有烟碱(Siegmund et al., 1999; Shrivastava & Patel, 2010; 付小红等, 2016),但烟草中的烟碱含量高于马铃薯(Clarke, 2002; Tayoub et al., 2015)。烟碱具有良好的杀虫活性物质(Lou & Baldwin, 2006),能影响马铃薯块茎蛾的生长发育以及体内的一些解毒酶活性(刘佳妮等, 2015a, b),因此当马铃薯块茎蛾取食烟草后烟碱可能抑制了马铃薯块茎蛾的生长发育,从而使取食烟草的马铃薯块茎蛾存活率和繁殖力显著低于取食马铃薯的马铃薯块茎蛾。

本研究结果表明,取食烟草的马铃薯块茎蛾的内禀增长率、周限增长率和净增殖率均小于取食马铃薯的马铃薯块茎蛾,平均世代周期大于取食马铃薯的马铃薯块茎蛾。Chi & Getz (1988)采用年龄-阶段两性生命表得到在马铃薯上的马铃薯块茎蛾的内禀增长率和周限增长率分别为 0.136 d^{-1} 和 1.146 d^{-1} ,与本研究结果的内禀增长率为 0.138 d^{-1} 、周限增长率为 1.15 d^{-1} 一致,所得到的马铃薯块茎蛾净增殖率和平均世代周期分别为69.7和31.2 d,均大于本研究结果所得结果。与Yuan et al. (2018)采用年龄-阶段两性生命表构建的马铃薯块茎蛾参数结果相比,除平均世代周期较长外,本研究得出的内禀增长率、周限增长率和净增殖率参数均较低,这可能与马铃薯块茎蛾来源、饲养条件和食物等差异有关。此外,内禀增长率是反映特定环境条件下昆虫种群增长潜力的重要参数,该值越大,则该昆虫种群发展越快(胡良雄等, 2014; 秦建洋等, 2017)。本研究发现取食马铃薯的马铃薯块茎蛾内禀增长率大于取食烟草的马铃薯块茎蛾,表明马铃薯较烟草更适合马铃薯块茎蛾的生长繁殖。

昆虫的种群动态及生长发育不仅受寄主的影响(梁洪宇等, 2019),还受天敌(郑丽旧等, 2019)、环境因子(Lu & Wu, 2011)、杀虫剂(辛天蓉等, 2019)等生物和非生物因素的影响(Barteková & Praslička, 2006; Mou et al., 2015; 齐心等, 2019)。试验仅是在室内条件下对马铃薯块茎蛾进行研究,而田间自然条件下马铃薯块茎蛾的生长发育和繁殖参数受温度、湿度及天敌的影响,与室内结果有所差异,今后

需在田间进行进一步的相关研究,以便更深入地了解田间马铃薯块茎蛾的发生规律,为该虫的综合防治提供理论依据。

参考文献 (References)

- AHMAD S, ANSARI MS, SIDDIQUI MH. 2016. Toxic effect of deltamethrin on the life table and development of *Helicoverpa armigera* (Hübner). Archives of Phytopathology and Plant Protection, 49(7/8): 195–205
- BARTEKOVÁ A, PRASLIČKA J. 2006. The effect of ambient temperature on the development of cotton bollworm (*Helicoverpa armigera* Hübner, 1808). Plant Protection Science, 42(4): 135–138
- CHEN GM, CHI H, WANG RC, WANG YP, XU YY, LI XD, YIN P, ZHENG FQ. 2018. Demography and uncertainty of population growth of *Conogethes punctiferalis* (Lepidoptera: Crambidae) reared on five host plants with discussion on some life history statistics. Journal of Economic Entomology, 111(5): 2143–2152
- CHI H. 1988. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. Environmental Entomology, 17(1): 26–34
- 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 (in Chinese) [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与害虫综合治理中的应用. 昆虫学报, 62(2): 255–262]
- CHI H, GETZ AM. 1988. Mass rearing and harvesting based on an age-stage, two-sex life table: a potato tuberworm (Lepidoptera: Gelechiidae) case study. Environmental Entomology, 17(1): 18–25
- CHI H, LIU H. 1985. Two new methods for the study of insect population ecology. Academia Sinica, 24(2): 225–240
- CHI H, SU HY. 2006. 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. Environmental Entomology, 35(1): 10–21
- CLARKE MB. 2002. Quantitation of nicotine in tobacco products by capillary electrophoresis. Journal of AOAC International, 85(1): 1–7
- DEKEBO A, ARYAL S, JUNG C. 2019. Suitability of tomato leaves for larval development of potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae). Entomological Research, 49(6): 258–264
- EFRON B, TIBSHIRANI R. 1993. An introduction to the Bootstrap. London: Chapman & Hall
- FU XH, TU NM, ZHANG QZ, HOU FZ, YANG XC. 2016. Research progress of influencing factors on nicotine content in tobacco. Crop Research, 30(1): 100–104 (in Chinese) [付小红, 屠乃美, 张清壮, 侯方舟, 杨旭初. 2016. 烟草中烟碱含量影响因子的研究进展. 作物研究, 30(1): 100–104]
- GOLIZADEH A, RAZMJOU J. 2010. Life table parameters of *Phthori-*

- maea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae), feeding on tubers of six potato cultivars. *Journal of Economic Entomology*, 103(3): 966–972
- GOODMAN D. 1982. Optimal life histories, optimal notation, and the value of reproductive value. *The American Naturalist*, 119(6): 803–823
- GUO ZX, HE CX, XU HL, WEN LN, QIAN JR, PU ET, WU WW. 2014. Study on preference of *Phthorimaea operculella* to solanaceous host plants. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 27(6): 2381–2384 (in Chinese) [郭志祥, 何成兴, 许胡兰, 温丽娜, 钱钧瑞, 浦恩堂, 吴文伟. 2014. 马铃薯块茎蛾对几种茄科植物的嗜食性研究. *西南农业学报*, 27(6): 2381–2384]
- HU LX, CHI H, ZHANG J, ZHOU Q, ZHANG RJ. 2010. Life-table analysis of the performance of *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) on two wild rice species. *Journal of Economic Entomology*, 103(5): 1628–1635
- HU LX, HE ZS, ZHANG XG. 2014. Age-stage two-sex life tables of the experimental population of *Problepsis superans* (Lepidoptera: Geometridae) on three *Ligustrum* species. *Acta Entomologica Sinica*, 57(12): 1408–1417 (in Chinese) [胡良雄, 何正盛, 张小谷. 2014. 猫眼尺蠖在三种女贞属植物上的实验种群两性生命表. *昆虫学报*, 57(12): 1408–1417]
- HUANG HW, CHI H, SMITH CL. 2017. 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. *Journal of Economic Entomology*, 111(1): 1–9
- HUANG YB, CHI H. 2012. 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. *Insect Science*, 19: 263–273
- HUANG YB, CHI H. 2013. Life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae): with an invalidation of the jackknife technique. *Journal of Applied Entomology*, 137(5): 327–339
- JIN XP, LI ZY, CHEN B, SUN YX. 2005. Experimental population life tables of potato tuber moth at different temperatures. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 18(6): 773–776 (in Chinese) [金秀萍, 李正跃, 陈斌, 孙跃先. 2005. 不同温度下马铃薯块茎蛾实验种群生命表研究. *西南农业学报*, 18(6): 773–776]
- LIANG HY, ZHANG HY, JIN YL, WANG C, GUO SM, SUN YJ, WANG LY. 2019. Effects of mung bean resistant and susceptible varieties on life parameters of *Aphis craccivora* Koch. *China Plant Protection*, 39(10): 5–9 (in Chinese) [梁洪宇, 张海燕, 金永玲, 王超, 郭思敏, 孙宇佳, 王丽艳. 2019. 绿豆抗感虫品种对豆蚜种群生命参数的影响. *中国植保导刊*, 39(10): 5–9]
- LIU JN, HUANG HP, HUA JZ, ZHANG YY, YAO LY. 2015a. Effects of nicotine on protective and detoxifying enzymes of *Phthorimaea operculella* larvae. *Guizhou Agricultural Sciences*, 43(3): 78–81 (in Chinese) [刘佳妮, 黄鹤平, 华金珠, 张瑜瑜, 姚丽媛. 2015a. 烟碱对马铃薯块茎蛾幼虫保护酶和解毒酶的影响. *贵州农业科学*, 43(3): 78–81]
- LIU JN, HUANG HP, ZHENG Y, ZHANG YY, YAO LY, HUA JZ. 2015b. Effects of plant allelochemicals nicotine on growth and development phase of *Phthorimaea operculella* (Zeller). *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 28(3): 1105–1109 (in Chinese) [刘佳妮, 黄鹤平, 郑野, 张瑜瑜, 姚丽媛, 华金珠. 2015b. 植物次生代谢物烟碱对马铃薯块茎蛾生长发育的影响. *西南农业学报*, 28(3): 1105–1109]
- LOU Y, BALDWIN IT. 2006. Silencing of a germin-like gene in *nicotiana attenuata* improves performance of native herbivores. *Plant Physiology*, 140(3): 1126–1136
- LU YH, WU KM. 2011. Effect of relative humidity on population growth of *Apolygus lucorum* (Heteroptera: Miridae). *Applied Entomology and Zoology*, 46(3): 421–427
- MOU DF, LEE CC, SMITH CL, CHI H. 2015. Using viable eggs to accurately determine the demographic and predation potential of *Harmonia dimidiata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Applied Entomology*, 139(8): 579–591
- MULATU B, APPLEBAUM SW, COLL M. 2006. Effect of tomato leaf traits on the potato tuber moth and its predominant larval parasitoid: a mechanism for enemy-free space. *Biological Control*, 37(2): 231–236
- NASERI B, GOLPARVAR Z, RAZMJOU J, GOLIZADEH A. 2014. Age-stage, two sex life table of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) on different bean cultivars. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16: 19–32
- QIN JY, ZHANG L, CHENG YX, LUO LZ, LEI CL, JIANG XF. 2017. Age-stage two-sex life table for laboratory populations of oriental armyworm *Mythimna separata* (Walker) under different temperatures. *Journal of Plant Protection*, 44(5): 729–736 (in Chinese) [秦建洋, 张蕾, 程云霞, 罗礼智, 雷朝亮, 江幸福. 2017. 不同温度下东方粘虫年龄-阶段两性实验种群生命表的构建. *植物保护学报*, 44(5): 729–736]
- RONDON SI. 2010. The potato tuberworm: a literature review of its biology, ecology, and control. *American Journal of Potato Research*, 87(2): 149–166
- RONDON SI, XUE L. 2010. Practical techniques and accuracy for sexing the potato tuberworm, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *The Florida Entomologist*, 93(1): 113–115
- RONG ZY. 2016. Effect of five diets on the life characteristics and the activity of larval protective enzymes of *Athetis lepigone*. Master Thesis. Tai'an: Shandong Agricultural University (in Chinese) [荣志云. 2016. 五种食物对二点委夜蛾生命特征与幼虫保护酶活力的影响. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学]
- SEDIGHI L, RANJBAR AH, IMANI S, SHOJAI M. 2017. Age-stage two-sex life table analysis of *Sesamia nonagrioides* (Lep.: Noctuidae) reared on different host plants. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 50(9/10): 438–453
- SHRIVAS K, PATEL DK. 2010. Liquid-phase microextraction combined with gas chromatography mass spectrometry for rapid determination of nicotine in one-drop of nightshades vegetables and commercial food products. *Food Chemistry*, 122(1): 314–

318

- SIEGMUND B, LEITNER E, PFANNHAUSER W. 1999. Determination of the nicotine content of various edible nightshades (Solanaceae) and their products and estimation of the associated dietary nicotine intake. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(8): 3113–3120
- SOUFBAF M, FATHIPOUR Y, ZALUCKI MP, HUI C. 2012. Importance of primary metabolites in canola in mediating interactions between a specialist leaf-feeding insect and its specialist solitary endoparasitoid. *Arthropod-Plant Interactions*, 6(2): 241–250
- TAYOUB G, SULAIMAN H, ALORFI M. 2015. Determination of nicotine levels in the leaves of some *Nicotiana tabacum* varieties cultivated in Syria. *Herba Polonica*, 61(4): 23–30
- TUAN SJ, LEE CC, CHI H. 2014. Population and damage projection of *Spodoptera litura* (F.) on peanuts (*Arachis hypogaea* L.) under different conditions using the age-stage, two-sex life table. *Pest Management Science*, 70(5): 805–813
- VANEVAGANCHEVA T, ATANASOVA D, DIMITROV Y. 2016. Monitoring and risk assessment of tobacco crops from attack of potato moth *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *MAYFEB Journal of Agricultural Science*, 3(2016): 39–46
- WANG F, GAO L, JU RT. 2016. The age-stage two sex life tables of the bluegrass webworm moth *Parapediasia teterrella* at different temperatures. *Journal of Plant Protection*, 43(4): 641–647 (in Chinese) [王凤, 高磊, 鞠瑞亭. 2016. 早熟禾拟茎草螟在不同温度下的年龄-龄期两性生命表. *植物保护学报*, 43(4): 641–647]
- WANG HY, ZHANG LM, CHEN B, LI ZY. 2013. Feeding selectivity of *Phthorimaea operculella* (Zeller) on different host plants. *Chinese Potato Journal*, 27(4): 226–231 (in Chinese) [王浩元, 张立敏, 陈斌, 李正跃. 2013. 马铃薯块茎蛾幼虫对不同寄主植物的取食选择性. *中国马铃薯*, 27(4): 226–231]
- XIN TR, LIAN T, LI XE, WANG J, ZOU ZW, XIA B. 2019. Sublethal effects of diflubenzuron on the growth and reproduction of an experimental population of *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) (Acari: Tetranychidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(4): 736–743 (in Chinese) [辛天蓉, 练涛, 李雪儿, 王静, 邹志文, 夏斌. 2019. 亚致死浓度除虫脲对朱砂叶螨生长和繁殖的影响. *应用昆虫学报*, 56(4): 736–743]
- XU GG. 1985. *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae). Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (in Chinese) [徐国淦. 1985. 马铃薯块茎蛾. 北京: 中国农业科学院]
- XUE D. 2014. The main morphological, biological and ecological characteristics of potato tuber moth *Phthorimaea operculella* (Zeller). Master Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (in Chinese) [薛冬. 2014. 烟草潜叶蛾主要形态学、生物学与生态学特性的研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院]
- YANG YT, LI WX, XIE W, WU QJ, XU BY, WANG SL, LI CR, ZHANG YJ. 2015. Development of *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae) as affected by humidity: an age-stage, two-sex, life-table study. *Applied Entomology and Zoology*, 50: 3–10
- YUAN HG, WU SY, LEI ZR, RONDON SI, GAO YL. 2018. Sub-lethal effects of *Beauveria bassiana* (Balsamo) on field populations of the potato tuberworm *Phthorimaea operculella* Zeller in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(4): 911–918
- ZHANG M, LUO QY, GAO MJ, LIU Y, YANG YD. 2017. Research progress and prospect of potato market. *Chinese Potato Journal*, 31(2): 113–118 (in Chinese) [张萌, 罗其友, 高明杰, 刘洋, 杨亚东. 2017. 马铃薯市场研究进展及展望. *中国马铃薯*, 31(2): 113–118]
- ZHANG TQ, CHENG YX, ZHANG L, LUO LZ, ZHANG BQ, JIANG XF. 2020. Population dynamics of *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Crambidae) on different host plants by using age stage two sex life table. *Plant Protection*, 46(1): 101–107 (in Chinese) [张同强, 程云霞, 张蕾, 罗礼智, 张宝琴, 江幸福. 2020. 用年龄-阶段两性种群生命表研究不同寄主上草地螟种群动态的差异. *植物保护*, 46(1): 101–107]
- ZHENG LJ, CHEN JY, WANG KQ, FU YG, ZHANG CH. 2019. Study on life table of laboratory population of *Amblyseius cucumeris* Oudemans preying on *Scirtothrips orsalis* Hood. *Guangdong Agricultural Sciences*, 46(6): 93–98 (in Chinese) [郑丽旧, 陈俊谕, 王康权, 符悦冠, 章程辉. 2019. 胡瓜钝绥螨捕食茶黄蓟马实验种群生命表研究. *广东农业科学*, 46(6): 93–98]

(责任编辑:张俊芳)