

研究报告

Research Reports

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

张同强^{1,2}, 程云霞², 张 蕾², 罗礼智², 张宝琴^{1*}, 江幸福^{2*}

(1. 海南大学热带农林学院, 海口 570228; 2. 中国农业科学院植物保护研究所,
植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193)

摘要 在温度(22±1)℃、相对湿度70%±5%和光周期L//D=16 h//8 h条件下通过年龄-阶段两性生命表探讨了寄主植物对草地螟 *Loxostege sticticalis* 种群动态的影响。结果表明, 藜饲养的草地螟卵期和幼虫期最短, 与大豆、向日葵和小麦处理组相比差异显著, 雌雄蛹重显著高于小麦组, 雌雄蛾寿命也显著长于向日葵及小麦组; 表明藜是草地螟最适宜的寄主植物, 其次为大豆、向日葵和小麦。以藜饲养的草地螟产卵前期较短, 产卵历期较长, 产卵量也显著高于向日葵及小麦组; 与藜饲养相比, 大豆饲养的草地螟产卵前期较长, 但产卵历期和产卵量与藜组相比均无显著差异; 以年龄-阶段两性种群生命表计算藜饲养的草地螟种群的幼虫存活率达90%, 显著高于其他组; 净增殖率、内禀增长率及周限增长率分别为84.01、0.111和1.117, 显著高于其他组, 平均世代周期为55.44 d, 显著短于其他组; 根据种群生命表参数预测90 d内种群动态结果表明藜最有利于草地螟种群的增长。

关键词 草地螟; 种群; 年龄-阶段两性生命表; 寄主植物

中图分类号: S 435.4 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2019013

Population dynamics of *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Crambidae) on different host plants by using age-stage two-sex life table

ZHANG Tongqiang^{1,2}, CHENG Yunxia², ZHANG Lei², LUO Lizhi², ZHANG Baoqin^{1*}, JIANG Xingfu^{2*}

(1. Institute of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou 570228, China;
2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection,
Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract The population dynamics of *Loxostege sticticalis* Linnaeus on different host plants was studied by using age-stage two-sex life table at constant temperature of (22±1)℃, humidity of 70%±5% and photoperiod of L//D=16 h//8 h. The results showed that the developmental durations of egg and larva of *L. sticticalis* fed on pigweed were shorter than those of *L. sticticalis* fed on soybean, sunflower and wheat, respectively. The male and female pupa weights of *L. sticticalis* fed on pigweed were significantly heavier than those of *L. sticticalis* on wheat, and the longevity of male and female *L. sticticalis* was longer than that of those on sunflower and wheat, indicating that the pigweed is the best host plant for *L. sticticalis*, followed by soybean, sunflower and wheat. *L. sticticalis* fed on pigweed had a shorter pre-oviposition duration, a longer period of oviposition, and laid more eggs than that fed on sunflower and wheat. The pre-oviposition period of females fed on pigweed was significantly longer than that of females fed on soybean, but there was no significant difference in oviposition period and fecundity. The larval survival rate calculated by using age-stage sex life table was 90% for the group fed on pigweed, which was significantly higher than other groups. The net reproductive rate, intrinsic rate of increase and finite rate of increase for the population fed on pigweed was 84.01, 0.111 and 1.117, respectively, which was significantly

收稿日期: 2019-01-08

修订日期: 2019-03-13

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201403031); 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-22); 国家自然科学基金(31672019, 31871951); 国家重点研发计划(2017YFD0201701, 2017YFD0201802)

* 通信作者 E-mail: 张宝琴 991009@hainu.edu.cn; 江幸福 xfjiang@ippcaas.cn

higher than those of the other groups. The mean generation time of the group fed on pigweed was 55.44 d, which was significantly shorter than that of *L. sticticalis* fed on other hosts. Based on the life table parameters, the population dynamics within 90 days was predicted, suggesting that the pigweed was the most beneficial host plant for *L. sticticalis* population growth.

Key words *Loxostege sticticalis*; population; age-stage two-sex life table; host plant

草地螟 *Loxostege sticticalis* L. 是为害我国西北、华北和东北地区农牧业生产的大范围迁飞性害虫,当种群数量增大到一定程度时,将大规模迁入农区为害农作物,造成巨大的经济损失^[1-3]。自 1949 年至今,草地螟已发生 3 个暴发周期。其中,2008 年的 2 代草地螟是覆盖面积最广,危害农牧业最严重的一个世代^[4-5],2015 年是我国草地螟 3 个暴发周期中危害最轻的一年^[6]。

草地螟食性杂,并具有选择寄主植物产卵及取食的特性^[7]。姜玉英等在河北、山西、内蒙古、黑龙江等地调查到 48 科 259 种草地螟的寄主植物,包括小麦 *Triticum aestivum* L.、大豆 *Glycine max* L.、向日葵 *Helianthus annuus* L. 等粮油作物^[8]。也有研究人员发现,草地螟喜欢选择藜 *Chenopodium album* L. 等杂草产卵,可能是藜等对草地螟的幼虫生长发育以及种群的增长较为有利^[9-10]。寄主植物对草地螟的种群增长有明显的影响^[7],但利用寄主植物进行草地螟种群动态的预测还未见报道。生命表为研究外界环境因子对昆虫种群生长发育、繁殖和存活的影响提供了有力工具^[11-12]。传统生命表利用昆虫的平均发育历期得到存活率、繁殖力和生命表参数,但只考虑了雌蛾的生命过程,以雌蛾数量的 2 倍来代表整个种群,未考虑雌、雄蛾的差异及性比的影响^[13]。此外,传统生命表还忽略了昆虫种群的世代重叠及个体间的发育差异。年龄-阶段两性种群生命表弥补了传统生命表以平均发育历期为依据忽略雄性个体对种群贡献的不足^[14-15],现已经用于裸纹夜蛾 *Chrysodeixis chalcites*^[16]、西花蓟马 *Frankliniella occidentalis*^[17]、橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis*^[18]、白纹伊蚊 *Aedes albopictus*、埃及伊蚊 *Aedes aegypti*^[19] 和淡脉黏虫 *Mythimna roseilinea*^[20] 等多种昆虫的研究。

本研究通过系统观察取食不同寄主植物的草地螟生长发育、繁殖情况,利用年龄-阶段两性种群生命表构建草地螟实验种群生命表,并预测 90 d 内草地螟种群数量的变化情况,加深对其生物学特性及其种群动态规律的了解,进一步为草地螟的综合防

治提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

虫源为河北省康保县郊区采集的越冬代蛹,取回室内羽化成虫。成虫交配产卵,待卵孵化后,分别用藜、向日葵、小麦、大豆喂养初孵幼虫直至老熟幼虫,以室内繁殖第 2 代为供试虫源。

1.2 饲养条件

供试虫在室内温度(22±1)℃、湿度 70%±5% 和光周期 L//D=16 h//8 h 条件下饲养。

1.3 供试寄主

藜 *C. album* 为野外采集,向日葵 *H. annuus*、小麦 *T. aestivum* 和大豆 *G. max* 于温室内种植,选用营养生长期的叶片饲养草地螟。

1.4 草地螟室内试验种群的饲养及观察

从 4 种供试寄主植物上摘取长势良好的叶片,经清水清洗后,分别放入直径 5 cm、高 3 cm 的透明塑料杯中,每张叶片上放入卵 20 粒,每种植物 5 张叶片、5 个塑料杯,共 100 粒卵。每天更换同等大小的植物叶片和塑料杯,观察并记录卵的孵化及存活情况。卵孵化后,移至新的透明塑料杯中,放置新的植物叶片,每个塑料杯中放入 1 头幼虫。待幼虫发育到老熟幼虫时,在塑料杯中放入厚度 1.5 cm、相对湿度 10% 的灭菌土,供老熟幼虫入土做茧、化蛹。记录每个龄期幼虫的发育时间及存活情况,初孵幼虫发育到蛹的时间为幼虫的发育历期。待幼虫入土化蛹第 7 天,将虫茧剖开,称量蛹重后放回塑料杯中,并用厚毛巾盖住塑料杯。幼虫化蛹至成虫羽化的时间为蛹期。成虫羽化当天,选取同天羽化、同种寄主植物的雌雄成虫两两配对放入直径 5 cm、高 12 cm 的透明塑料罩中,并放入 10% 的葡萄糖水补充营养。在透明塑料罩内壁贴壁放置硫酸纸供雌虫产卵。配对开始至第 1 天产卵的间隔期为产卵前期。每天更换 1 次硫酸纸至成虫死亡,记录产卵量及成虫寿命。

1.5 年龄-阶段两性种群生命表的构建及种群动态预测

运用年龄-阶段两性种群生命表原理统计初始

数据^[21],计算出草地螟各虫态的发育历期、幼虫存活率、化蛹率、羽化率、产卵量和成虫寿命。并根据每日记录的繁殖数和群体存活数计算年龄-阶段特定存活率(s_{xj}),即个体由卵发育到年龄 x 及阶段 j 时的概率;雌虫年龄-阶段特定繁殖力(f_x),即雌成虫在年龄 x 时的产卵量;种群年龄-阶段特定存活率(l_x),即从卵发育到年龄 x 的存活率;种群年龄-阶段特定繁殖力(m_x),即种群在年龄 x 时的平均产卵量;种群年龄-阶段特定繁殖值($l_x m_x$),即种群在年龄 x 时的净繁殖力。

种群生命表参数内禀增长率(r_m)根据二分迭代法,用 Euler-Lotka 公式计算内禀增长率(r_m)^[21];周限增长率为 λ ;净增殖率(R_0)指昆虫种群在一定条件下经过一个世代后的增殖倍数;平均世代周期(T)指种群达到稳定增长率(r_m 和 λ)时,增加 R_0 ,即 $e^{r_m T} = R_0$ ^[22]。计算公式如下:

$$l_x = \sum_{j=1}^m s_{xj}, m_x = \frac{\sum_{j=1}^m s_{xj} f_{xj}}{\sum_{j=1}^m s_{xj}}, r_m = (\ln R_0)/T,$$

$$R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} \sum_{j=1}^m s_{xj} f_{xj}, T = (\ln R_0)/r_m, \lambda = e^{r_m}.$$

1.6 数据分析

同一处理组中,雌虫和雄虫的蛹重、雌蛾和雄蛾

的寿命及年龄-阶段两性生命表和年龄-阶段雌性生命表中每组寄主植物上草地螟种群参数的差异显著性检验均采用独立性 t 检验。雌性比采用卡方检验。其余生命表参数根据年龄-阶段两性生命表理论^[14],使用计算机程序 TWOSWX-MSCHART 分析^[15]。所用统计和作图软件为 SPSS 16.0, Twosex-MSChart 2016 和 Origin 9.1。

2 结果与分析

2.1 寄主植物对草地螟各虫态发育历期及蛹重的影响

寄主植物对草地螟的生长发育及蛹重有明显的影响(表 1)。卵期和幼虫期均为藜组最短、小麦组最长($P < 0.05$)。大豆饲养的草地螟卵期与藜组无显著差异($P > 0.05$),但均显著短于向日葵组。大豆饲养的草地螟幼虫期和蛹期显著长于藜组,短于小麦组。向日葵饲养的草地螟蛹期显著短于其他组。藜对雌、雄虫蛹重的影响不一致,藜和向日葵组的雌虫蛹重显著高于其他组,雄虫蛹重则是向日葵组高于其他组。各处理组中,雌虫蛹重与雄虫蛹重均无明显差异。藜和大豆饲养的草地螟雌雄蛾寿命显著高于其他组。向日葵组中,雌蛾寿命显著高于雄蛾($t = -2.47, df = 67, P < 0.05$)。

表 1 寄主植物对草地螟发育历期及蛹重的影响¹⁾

Table 1 Effects of host plants on developmental durations and pupal weight of *Loxostege sticticalis*

寄主植物 Host plant	历期/d Development period			蛹重/mg Pupa weight		寿命/d Longevity	
	卵 Egg	幼虫 Larva	蛹 Pupa	雌虫 Female	雄虫 Male	雌蛾 Female	雄蛾 Male
藜 <i>C. album</i>	(3.03±0.46)c	(13.95±0.82)d	(14.88±0.61)c	(43.69±7.11)a	(40.93±4.71)b	(19.89±4.44)a	(17.95±5.04)b
大豆 <i>G. max</i>	(3.14±0.54)c	(15.73±0.75)b	(15.61±0.49)b	(39.76±4.92)b	(42.58±3.35)b	(19.71±3.81)a	(21.50±4.49)a
向日葵 <i>H. annuus</i>	(3.35±0.51)b	(14.87±0.74)c	(12.99±0.92)d	(42.61±5.03)a	(47.06±7.64)a	(17.81±3.45)b*	(15.32±4.70)c
小麦 <i>T. aestivum</i>	(3.91±0.62)a	(23.62±0.99)a	(18.77±2.29)a	(22.78±1.51)c	(22.96±2.12)c	(12.54±2.40)c	(12.44±3.29)d

1) 表中数据为平均值±标准误,同列数据后标有不同字母的为差异显著($P < 0.05$)。下同。同一处理组中,雌虫和雄虫的蛹重,雌蛾和雄蛾寿命的差异显著性检验均采用独立性 t 检验。* 表示雌蛾和雄蛾差异显著。

Data are presented as mean±SE, and means in the same column followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$). The same below. In the same treatment group, the difference in pupal weights and the lifespan between the female and male moths were tested by independent t test. The symbol * indicates significant difference between male and female.

2.2 寄主植物对草地螟种群存活率的影响

试验结果表明,不同寄主植物上草地螟年龄-阶段特定存活率均有差异(图 1)。图中曲线表示草地螟从初孵化的卵发育到年龄 x 及阶段 j 的可能性。研究得到,4 组寄主植物上的卵存活率都很高,最高的是藜组,为 0.99;最低的是小麦组,为 0.94。幼虫存活率最高的是藜组,为 0.90;最低的是小麦组,为

0.45;大豆组和向日葵组的幼虫存活率与藜组差异不大。藜组、大豆组、向日葵组和小麦组的草地螟蛹存活率分别为 0.85、0.92、0.87、0.73。

2.3 寄主植物对草地螟繁殖的影响

取食不同寄主植物的草地螟雌性比差异不显著($P > 0.05$)。产卵前期以藜组最短($P < 0.05$),显著低于大豆组。雌蛾的产卵历期以藜组和大豆组较长,均

显著长于向日葵组和小麦组。藜组的草地螟单雌平均产卵量为 226.03 粒,显著高于向日葵组、小麦组

($P < 0.05$),大豆组与藜组差异不明显。小麦组的草地螟单雌平均产卵量最小,只有 69.62 粒(表 2)。

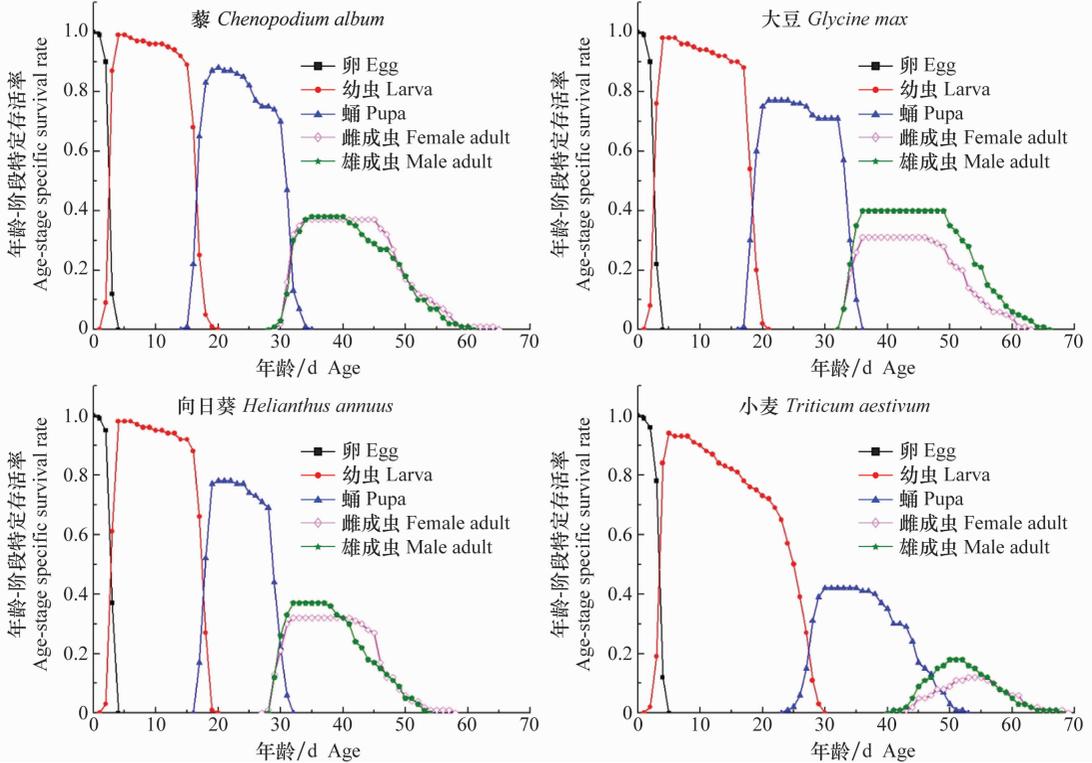


图 1 不同寄主植物上草地螟年龄-阶段特定存活率

Fig. 1 Age-stage specific survival rate of *Loxoste sticticalis* on different host plants

年龄-阶段特定繁殖力曲线由 l_x 、 m_x 、 $l_x m_x$ 、 f_x 组成(图 2)。 l_x 表示没有包括阶段分化的种群年龄-阶段特定存活率; m_x 表示种群年龄-阶段特定繁殖力; $l_x m_x$ 为种群年龄-阶段特定存活率 l_x 与种群年龄-阶段特定繁殖力 m_x 的乘积,表示种群年龄-阶段特定净繁殖力; f_x 为雌虫年龄-阶段特定繁殖力,表示雌成虫在年龄 x 时的产卵量。藜、大豆及向日葵

3 组寄主植物的 l_x 曲线前期趋势大致相同,小麦组的 l_x 曲线前期下降较快。藜、大豆、向日葵及小麦 4 组寄主植物的 f_x 曲线最高值分别是 49.68、38.13、33.22、11.6。大豆组草地螟种群有 2 次繁殖高峰期,间隔 6 d。小麦组草地螟种群繁殖力与其他 3 组植物差异较大,并且繁殖曲线杂乱无章。

表 2 寄主植物对草地螟生殖的影响

Table 2 Effects of host plants on the fecundity of *Loxoste sticticalis*

寄主植物 Host plant	雌性比 Female ratio	产卵前期/d Pre-oviposition	产卵历期/d Oviposition period	产卵量/粒·雌 ⁻¹ Fecundity
藜 <i>Chenopodium album</i>	0.493	(5.38 ± 1.19)b	(10.32 ± 3.45)a	(226.03 ± 63.08)a
大豆 <i>Glycine max</i>	0.437	(6.58 ± 1.45)a	(9.06 ± 2.45)a	(199.58 ± 48.77)a
向日葵 <i>Helianthus annuus</i>	0.464	(5.88 ± 2.56)b	(7.09 ± 2.83)b	(167.06 ± 72.38)b
小麦 <i>Triticum aestivum</i>	0.419	(5.69 ± 2.21)b	(4.62 ± 0.56)c	(69.62 ± 21.26)c

2.4 寄主植物对草地螟种群生命表参数的影响

年龄-阶段两性生命表中草地螟的平均世代周期 T 以向日葵组和藜组较短,大豆组显著短于小麦组($P < 0.05$)。藜组饲养的草地螟种群净增殖率 R_0 、内禀增长率 r_m 和周限增长率 λ 最高($P < 0.05$),

其次为大豆组和向日葵组,小麦组最低(表 3)。年龄-阶段雌性生命表中同一寄主植物上草地螟的内禀增长率 r_m 与年龄-阶段两性生命表均存在显著差异($P < 0.05$),且在藜组、大豆组及向日葵组中两种生命表的其他 3 种种群参数均存在显著差异($P < 0.05$)。

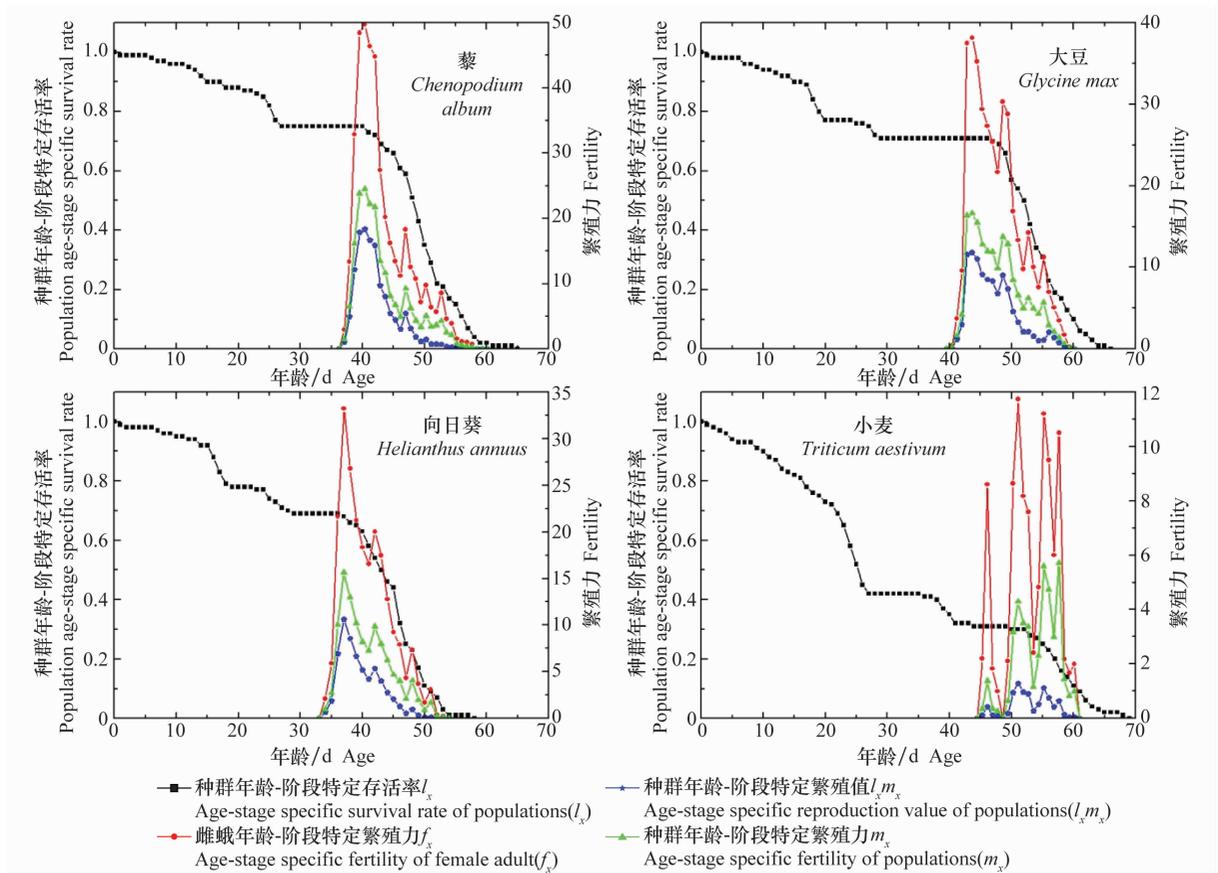


图 2 不同寄主植物上草地螟种群年龄-阶段特定存活率和繁殖力

Fig. 2 Age-stage specific survival rate and fertility of *Loxostege sticticalis* populations on different host plants表 3 年龄-阶段两性生命表和年龄-阶段雌性生命表中不同寄主植物上草地螟的种群参数¹⁾Table 3 Population parameters of *Loxostege sticticalis* on different host plants, calculated by using the two-sex life table and the female life table

寄主植物 Host plant	净增殖率 R_0 Net reproductive rate	内禀增长率 r_m Intrinsic rate of increase	平均世代周期 T/d Mean generation time	周限增长率 λ Finite rate of increase
藜 <i>Chenopodium album</i>	(84.01 ± 11.08) a*	(0.111 ± 0.003) a	(39.96 ± 1.16) c*	(1.117 ± 0.004) a
大豆 <i>Glycine max</i>	(61.94 ± 9.41) b	(0.092 ± 0.003) b*	(44.87 ± 2.15) b	(1.096 ± 0.004) b*
向日葵 <i>Helianthus annuus</i>	(41.55 ± 6.11) b*	(0.096 ± 0.004) b	(39.65 ± 2.13) c*	(1.101 ± 0.004) b
小麦 <i>Triticum aestivum</i>	(9.05 ± 2.41) c*	(0.039 ± 0.005) c	(53.44 ± 6.58) a	(1.041 ± 0.005) c
	(8.17 ± 3.19)	(0.043 ± 0.003) *	(52.91 ± 5.12)	(1.047 ± 0.004)

1) 表中数据为平均值 ± 标准误。同种寄主植物的第一行数据为年龄-阶段两性生命表,第二行数据为年龄-阶段雌性生命表。同列中平均值后跟不同字母表示存在显著差异 ($P < 0.05$)。同种寄主植物上草地螟两种生命表种群参数的差异显著性检验采用独立性 t 检验, * 表示差异显著。

Data are presented as mean ± SE. Data in the first row are related to the age-stage two-sex life table, and in the second row related to the age-stage female life table for each cultivar. Means in same column followed by the different letters are significantly different ($P < 0.05$). The population parameters of the two life tables of *Loxostege sticticalis* on the same host plants are compared by independent t test, and the star indicates the significant difference at 0.05 level.

2.5 饲喂不同寄主植物条件下草地螟种群动态的预测

本试验预测了饲喂 4 种寄主植物叶片的草地螟

90 d 后的种群动态,结果显示:藜组草地螟达到第 3 代蛹期,第 3 代幼虫数量还没到高峰期;大豆组达到第 3 代幼虫期,第 2 代成虫数量还在上升;向日葵组

草地螟达到第3代蛹期,第3代幼虫数量在下降;小麦组刚达到第2代成虫期,第2代幼虫即将消失。4组草地螟的种群数量也明显不同,2代草地螟幼

虫数量最大值分别为藜组 2.9 个数量单位、大豆组 2.7 个数量单位、向日葵组 2.6 个数量单位、小麦组 1.9 个数量单位(图 3)。

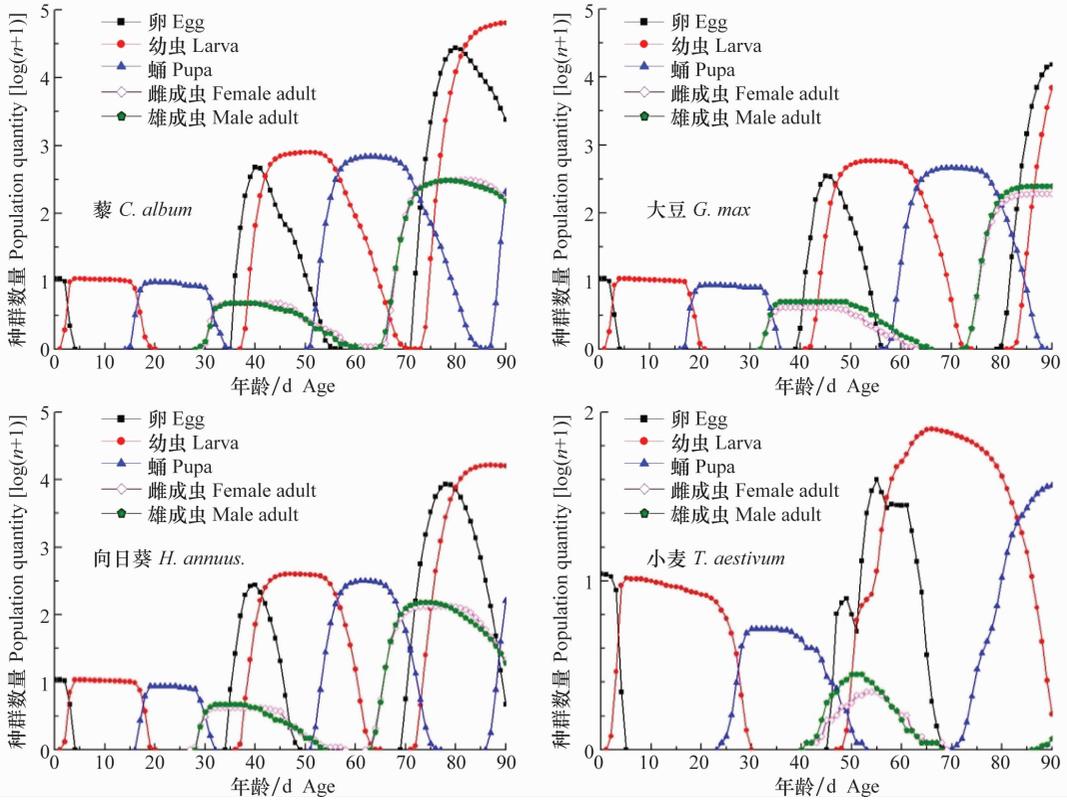


图 3 不同寄主植物上草地螟种群动态的预测

Fig. 3 Prediction of the population dynamics of *Loxostege sticticalis* on different host plants over 90 days

3 讨论

本文结果表明,草地螟在藜、向日葵、大豆及小麦 4 种植物上均能完成完整世代,表明这 4 种植物都是草地螟的寄主植物^[23-24],但藜最适合草地螟幼虫的生长发育,取食藜的草地螟种群发育速度最快,这与前人的研究结果基本一致^[7]。取食利于草地螟幼虫生长的藜后,其雌成虫产卵量最多,226.03 粒/雌,产卵历期长达 10.32 d,而取食不利于草地螟幼虫生长的小麦后,其雌成虫的产卵量仅 69.62 粒/雌,产卵历期只有 4.62 d。表明寄主植物不仅影响草地螟的发育速度,而且对雌成虫的生殖能力也有显著影响。草地螟试验种群在 4 种寄主植物上,内禀增长率(r_m)均大于 0,周限增长率(λ)均大于 1。表示本试验中的 4 种寄主植物均有益于草地螟种群数量的增长。且喂食藜的草地螟种群的 r_m 及 λ 均为最大值,表明藜是本试验中最适宜的寄主植物,这也与前人的报道相一致^[7,25-26]。尽管在前人的研究

结果中该结论已经得到证实^[24,26],但是本研究利用年龄-阶段两性种群生命表的方法获得同样的结论,再次明确草地螟的寄主植物范围及最佳寄主植物。对比于年龄-阶段雌性生命表(传统生命表),年龄-阶段两性生命表其处理对象包含了整个种群的所有个体并将个体之间生长速率存在不同的情况考虑在内,导致得到的两种生命表的种群参数值存在差异,这与前人的研究结果基本一致^[14]。对于昆虫年龄阶段的种群预测,两性生命表可以提供正确的模拟生长和阶段分化^[27],也有前人建议应优先使用年龄-阶段两性生命表研究昆虫的种群动态变化^[28]。上述研究结论也为室内草地螟扩繁技术及利用田间寄主植物分布情况短期预测预报草地螟种群动态规律提供了科学依据。

根据年龄-阶段两性种群生命表参数对藜、大豆、向日葵和小麦 4 种寄主植物上草地螟试验种群 90 d 内的变化情况预测,随着天数的增加,4 种寄主植物上草地螟的种群数量的差异也越来越大,且

饲喂藜的草地螟种群已达到 3 代蛹期,而饲喂小麦的草地螟种群才达到 2 代成虫期。尽管本研究距离精确量化的草地螟种群预测预报方式还有很大的差距,但是如果能将生命表的研究方法应用于传统的草地螟种群的预测预报技术势必进一步提升其科学性。

参考文献

- [1] 罗礼智. 我国 2004 年一代草地螟将暴发成灾[J]. 植物保护, 2004, 30(3): 86-88.
- [2] 罗礼智, 屈西锋. 我国草地螟 2004 年危害特点及 2005 年一代危害趋势分析[J]. 植物保护, 2005, 31(3): 69-71.
- [3] 屈西锋, 邵振润. 我国北方农牧区草地螟暴发周期特点及原因剖析[J]. 昆虫知识, 1999, 36(1): 11-14.
- [4] 罗礼智, 黄绍哲, 江幸福, 等. 我国 2008 年草地螟大发生特征及成因分析[J]. 植物保护, 2009, 35(1): 27-33.
- [5] 曾娟, 姜玉英, 张野. 2009 年我国草地螟发生特点及原因分析[J]. 中国植保导刊, 2010, 30(5): 33-36.
- [6] 曾娟, 刘杰, 姜玉英. 2015 年我国草地螟持续轻发[J]. 中国植保导刊, 2016, 36(9): 44-48.
- [7] 尹姣, 曹雅忠, 罗礼智, 等. 寄主植物对草地螟种群增长的影响[J]. 植物保护学报, 2004, 31(2): 173-178.
- [8] 姜玉英, 康爱国, 王春荣, 等. 草地螟产卵和取食寄主种类初报[J]. 中国农学通报, 2011, 27(7): 266-278.
- [9] 孙雅杰, 陈瑞鹿, 高月波, 等. 草地螟成虫活动与幼虫发育的观察[J]. 吉林农业科学, 2005, 30(3): 15-17.
- [10] 尹姣, 曹雅忠, 罗礼智, 等. 草地螟对寄主植物的选择性及其化学生态机制[J]. 生态学报, 2005, 25(8): 1844-1852.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] SOUTHWOOD T R E. The construction, description and analysis of age-specific life-tables [M] // Ecological Methods. Dordrecht: Springer, 1978: 356-387.
- [14] CHI H. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals [J]. Environmental Entomology, 1988, 17(1): 26-34.
- [15] CHI H. TWOSEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis [CP/OL]. 140. 120. 197. 173/ ecology.
- [16] ALAMI S, NASERI B, GOLIZADEH A, et al. Age-stage, two-sex life table of the tomato looper, *Chrysodeixis chalcites* (Lepidoptera: Noctuidae), on different bean cultivars [J]. Arthropod-Plant Interactions, 2014, 8(5): 475-484.
- [17] ZHANG T, REITZ S R, WANG H H, et al. Sublethal effects of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) on life table parameters of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2015, 108(3): 975-985.
- [18] CHANG Cheng, HUANG Chunyen, DAI Shumei, et al. Genetically engineered ricin suppresses *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) based on demographic analysis of group-reared life table [J]. Journal of Economic Entomology, 2016, 109: 987-992.
- [19] MAIMUSA H A, AHMAD A H, KASSIM N F, et al. Age-stage, two-sex life table characteristics of *Aedes albopictus* and *Aedes* in penang island, Malaysia [J]. Journal of the American Mosquito Control Association, 2016, 32(1): 1-11.
- [20] QIN Jianyang, LIU Yueqin, ZHANG Lei, et al. Effects of temperatures on the development and reproduction of the armyworm, *Mythimna roseilinea*: Analysis using an age-stage, two-sex life table [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(7): 1506-1515.
- [21] CHI H, LIU H. Two new methods for the study of insect population ecology [J]. Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica, 1985, 24(2): 225-240.
- [22] YANG Yuting, LI Wenxiang, XIE Wen, et al. Development of *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae) as affected by humidity: an age-stage, two-sex, life-table study [J]. Applied Entomology and Zoology, 2015, 50(1): 3-10.
- [23] ZALUCK M P, DAGLISH G, FIREMPONG S, et al. The biology and ecology of *Heliothis armigera* (Hübner) and *Heliothis punctigera* Wallengren (Lepidoptera, Noctuidae) in Australia what do we know [J]. Australian Journal of Zoology, 1986, 34(6): 779-814.
- [24] 阮永明, 吴坤君. 不同食料植物对棉铃虫生长发育和繁殖的影响[J]. 昆虫学报, 2001, 44(2): 205-212.
- [25] 范锦胜, 张李香, 王贵强, 等. 草地螟在 5 种寄主上的实验种群生命表[J]. 植物保护, 2016, 42(3): 104-109.
- [26] 陈永兵, 张纯胄, 胡立秋. 寄主植物对甜菜夜蛾生长发育的影响[J]. 昆虫知识, 1999, 36(6): 332-334.
- [27] FARHADI R, ALLAHYARI H, CHI H. Life table and predation capacity of *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae) [J]. Biological Control, 2011, 59(2): 83-89.
- [28] HUANG Yubing, CUI 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.