

不同牧草植物对草地螟产卵选择和种群增长的影响^{*}

屈亚飞^{1**} 王倩倩^{1,2} 肖 春² 李克斌¹ 曹雅忠¹ 尹 姣^{1***}

(1. 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;

2. 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201)

摘 要 【目的】明确不同产卵寄主植物对草地螟 *Loxostege sticticalis* 种群增长的影响。【方法】选用 7 种不同的供试牧草研究草地螟的产卵选择偏好; 并比较取食不同牧草植物对草地螟生长发育、繁殖力和种群增长的影响。【结果】草地螟对豆科牧草的产卵偏好性显著高于禾本科牧草。草地螟在苜蓿、草木樨以及藜(对照)上的落卵量较多, 落卵量百分比分别为 17.45%、16.02%和 24.87%。取食这 3 种植物的草地螟幼虫均可完成世代繁殖, 种群增长指数分别为 80.36、43.74 和 34.28, 而取食其他牧草的幼虫不能完成世代繁殖。【结论】草地螟成虫对不同寄主植物的产卵偏好性差异显著, 幼虫取食落卵量较高的寄主植物更有利于草地螟种群的增长和繁衍。

关键词 草地螟; 牧草; 苜蓿; 产卵选择; 种群增长指数

Preferences of *Loxostege sticticalis* for oviposition on different pasture plants and the effects of different host plants on the population growth of this pest

QU Ya-Fei^{1**} WANG Qian-Qian^{1,2} XIAO Chun² LI Ke-Bin¹ CAO Ya-Zhong¹ YIN Jiao^{1***}

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Yunnan Agriculture University College of Plant Protection, Kunming 650201, China)

Abstract 【Objectives】To determine the oviposition preferences of *Loxostege sticticalis* with respect to seven different pasture plants, and the effect of different host plants on the population growth of this pest. 【Methods】The relative preference of *L. sticticalis* for oviposition on seven different pasture plants was determined, and the growth, development, fecundity and population growth of *L. sticticalis* on these different plants was measured and compared. 【Results】There was a significant preference for leguminous grasses over gramineous grasses. The proportion of eggs laid on *Medicago sativa*, *Melilotus officinalis*, and *Chenopodium album* (control) was higher than on other plants; 17.45%, 16.02%, and 24.87%, respectively. Larvae that fed on these three plants were able to reproduce for generations, with population growth indices of 80.36, 43.74, and 34.28, respectively, while those that fed on other pasture plants could not. 【Conclusion】*L. sticticalis* prefers to oviposit on leguminous grasses, and these host plants are more conducive to the growth and reproduction of this pest.

Key words *Loxostege sticticalis*; pasture plant; *Medicago sativa*; oviposition selection; population growth index

在自然界中, 植食性昆虫与植物长期的协同进化导致了植食性昆虫特定寄主范围的形成, 这使得它们在一生中的某个或某几个时期可以在

适宜的寄主植物上产卵或取食 (Knolhoff and Heckel, 2014)。对于活动受限的幼虫, 成虫对产卵植物的选择至关重要, 因为这种选择决定其

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2022YFD1400600)

**第一作者 First author, E-mail: qyf18730281819@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: jyin@ippcaas.cn

收稿日期 Received: 2022-09-04; 接受日期 Accepted: 2022-12-25

子代的存活、生长发育和适合度 (Fitness) (郭线茹等, 2021)。如西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 偏好在菜豆、西葫芦上产卵 (Nyasani *et al.*, 2013), 甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 喜欢将卵产于菠菜和烟草上 (Goh *et al.*, 1991), 亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 喜欢将卵产于玉米与酸模叶蓼 (张文璐等, 2018)。

草地螟 *Loxostege sticticalis*, 又称黄绿条螟、甜菜网螟, 属鳞翅目螟蛾科, 是一种世界性害虫, 主要分布在 36°-55°N 之间的国家或地区, 如东欧、北欧、北美等地 (曹卫菊等, 2006; Chen *et al.*, 2016; 罗礼智等, 2018; 王健, 2021; 陈晓等, 2022)。在我国, 草地螟主要分布在华北、东北和西北农牧交错区, 是我国重要的农牧业害虫, 大发生年份造成的作物产量损失可达到 50%, 在危害严重的地区甚至会造成绝收 (陈智勇等, 2020); 在农牧区, 每年超过 1.3 万 hm^2 的天然草场遭到危害 (李云, 2021)。草地螟成虫产卵寄主植物多达 120 种, 但是不同科之间植物的产卵量差异显著, 通常双子叶植物多于单子叶植物 (陈静等, 2010; 姜玉英等, 2011)。已有研究表明, 以藜科中的藜、豆科中的大豆、禾本科中的狗尾草等农田主要优势种杂草落卵比率和落卵量较高, 甜菜是草地螟雌成虫产卵较不适宜寄主 (姜玉英等, 2011; 张同强等, 2020; 白泽珍等, 2022)。在田间自然条件下, 藜上落卵量最多 (康爱国等, 1999, 2007; 尹姣等, 2005; 张跃进等, 2008; 姜玉英等, 2011; 范锦胜等, 2014)。

建国以来, 草地螟出现了四个暴发周期 (罗礼智等, 1996; 江幸福等, 2019; 张蕾和江幸福, 2022), 我国北方草原是其最大的越冬区和为害区, 但是由于我国草原面积辽阔, 尽管草地螟发生面积大, 防治面积却有限 (牛呼和等, 2010; 姜玉英等, 2011), 不同牧草对于草地螟种群增长的影响也鲜有报道。因此, 本研究选取苜蓿、草木樨及老芒麦等 7 种常见牧草作为供试寄主植物, 研究草地螟对寄主植物的产卵选择性差异, 以及其对草地螟的生长发育和种群增长的影响, 探究植物因子对草原草地螟种群动态的影响作用。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

本研究所用草地螟来自内蒙古乌兰浩特市郊区田间采集的越冬代蛹, 室内羽化为成虫后用 5% 蜂蜜水饲养, 使其产卵繁殖。卵孵化后幼虫用藜 (*Chenopodium album*, 俗称灰菜) 饲养; 成虫和幼虫饲养条件, 温度为 $(21 \pm 1)^\circ\text{C}$, 相对湿度为 70%-80%, 光周期为 16L: 8D。

1.2 实验方法

1.2.1 草地螟对不同寄主植物的产卵选择性 供试植物为温室种植的 7 种植物, 豆科植物有: 苜蓿 *Medicago sativa*、草木樨 *Melilotus officinalis*、沙打旺 *Astragalus adsurgens*、达乌里胡枝子 *Lespedeza bicolor*, 禾本科植物有: 高羊茅 *Festuca elata*、老芒麦 *Elymus sibiricus* 和黑麦草 *Lolium perenne*, 对照植物为草地螟最喜食的藜 *Chenopodium album*。采集生长旺盛的叶片作为试验材料进行试验。

采用室内观测的方法, 将生长旺盛的供试植物放入五面均为纱网的正方体纱网罩笼 ($100\text{ cm} \times 100\text{ cm} \times 100\text{ cm}$) 中, 放入 15 对 3 日龄以上的雌雄成虫, 记录牧草摆放位置并用 5% 蜂蜜水为成虫提供食物。每日更换不同种类牧草位置以减少方位对草地螟成虫产卵选择性的影响, 持续观察 5 d, 并检查记录成虫在不同寄主植物上的落卵量。

1.2.2 不同寄主植物对草地螟生长发育的影响 挑选生长状况良好、大小一致的 1 龄幼虫, 分别接入装有不同供试植物的指形管 (直径 2.3 cm, 高度 10 cm) 中, 每管一头, 每种供试植物接 30 管。每天更换供试植物并检查记录取食不同供试植物的幼虫存活情况, 至其化蛹, 记录其幼虫历期; 继续单头饲养至化蛹和羽化, 记录其蛹重和蛹期; 待其羽化后分辨雌雄并配对, 每对单独放置于一个透明硬塑料盒子中, 用 5% 蜂蜜水饲喂, 记录其存活历期、产卵量、产卵历期及卵的孵化率。

1.3 数据处理

采用 SPSS 24.0 软件计算各组数据的平均

值和标准误, 并采用 One-way ANOVA 进行方差分析, 用 Duncan's 多重比较进行差异显著分析; 显著水平设为 $P = 0.05$ 。种群增长指数等于各年龄阶段存活率之积再乘以种群平均产卵量(徐汝梅, 1990)。

2 结果与分析

2.1 草地螟对豆科牧草的产卵选择性

由图 1 (A) 可知, 在豆科牧草中, 草地螟

对苜蓿和草木樨的产卵选择性明显高于对沙打旺和胡枝子的选择性, 其产卵量间存在显著差异 ($P < 0.05$), 草木樨上的产卵量略少于苜蓿, 但二者间无显著性差异 ($P \geq 0.05$)。草地螟在苜蓿和草木樨上的产卵量所占比例分别为 33.86% 和 30.68%, 明显高于沙打旺和胡枝子 (图 1: B); 但是当藜存在时, 豆科牧草上的落卵量均明显少于藜 ($P < 0.05$) (图 1: C), 但草木樨与苜蓿上的落卵量仍显著高于沙打旺和胡枝子 ($P < 0.05$), 其在藜上落卵比例为 39.15% (图 1: D)。

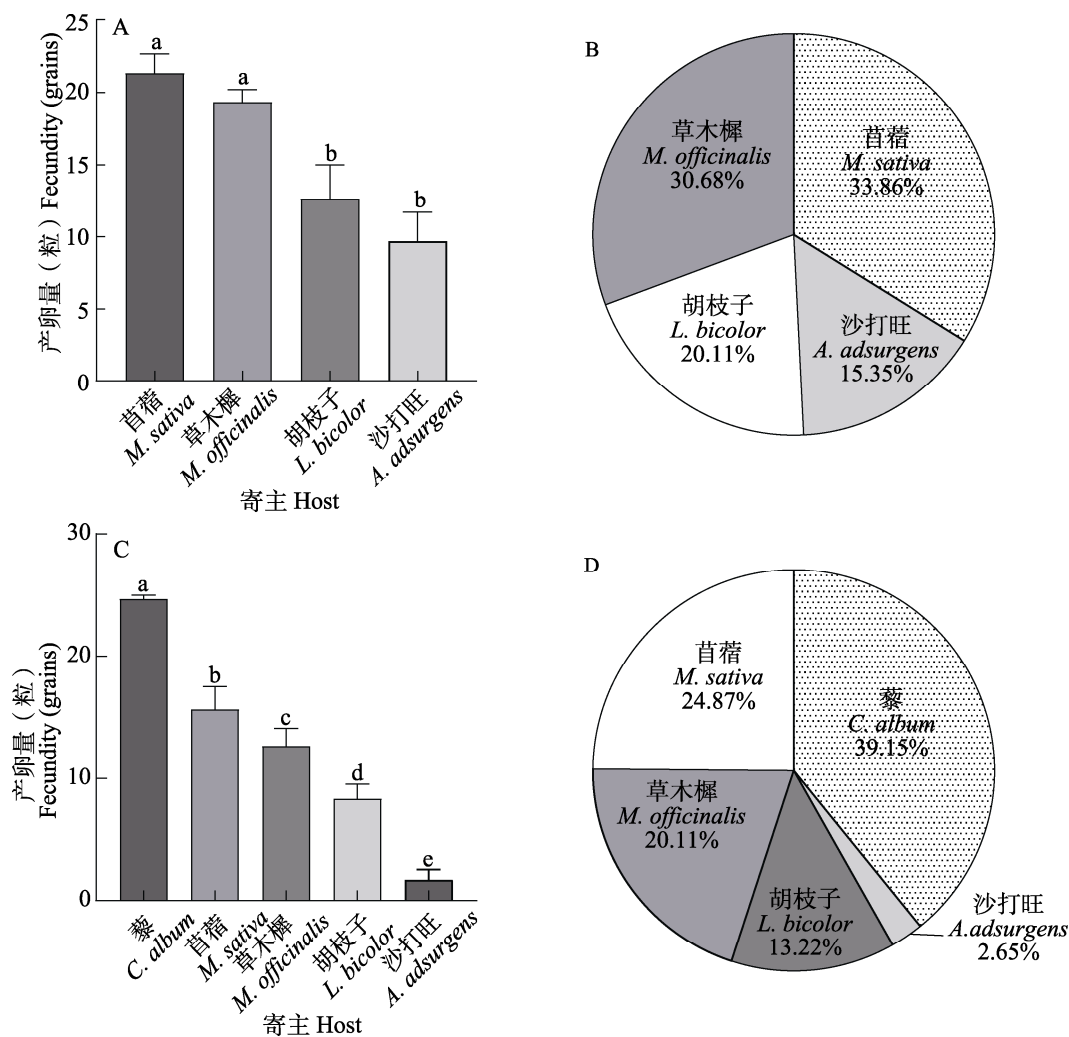


图 1 草地螟成虫对 4 种豆科牧草和藜的产卵选择性

Fig. 1 Oviposition preference of *Loxostege sticticalis* to 4 leguminous grasses and *Chenopodium album*

A, B. 草地螟在 4 种豆科牧草上的产卵量及产卵量占比; C, D. 草地螟在 4 种豆科牧草的藜上的产卵量及产卵量占比。柱上标有不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's 新复极差法检验)。下图同。

A, B. Number and proportion of eggs laid by *L. sticticalis* on 4 leguminous grasses; C, D. Number and proportion of eggs laid by *L. sticticalis* on 4 leguminous grasses and *C. album*. Histograms with different letters indicate significant differences at 0.05 level by Duncan's new multiple range test. The same below.

2.2 草地螟对禾本科牧草的产卵选择性

由图 2 (A) 可知, 当仅有供试禾本科牧草存在时, 高羊茅上的落卵量显著高于黑麦草和老芒麦 ($P<0.05$), 在高羊茅上的落卵量所占比例为 44.90% (图 2: B)。藜存在时, 藜上的

落卵量显著高于其他 3 种供试禾本科牧草 ($P<0.05$) (图 2: C), 草地螟在藜上的落卵量比例高达 43.86% (图 2: D), 但在 3 种禾本科牧草中, 草地螟仍偏好在高羊茅上产卵 ($P<0.05$) (图 2: C)。

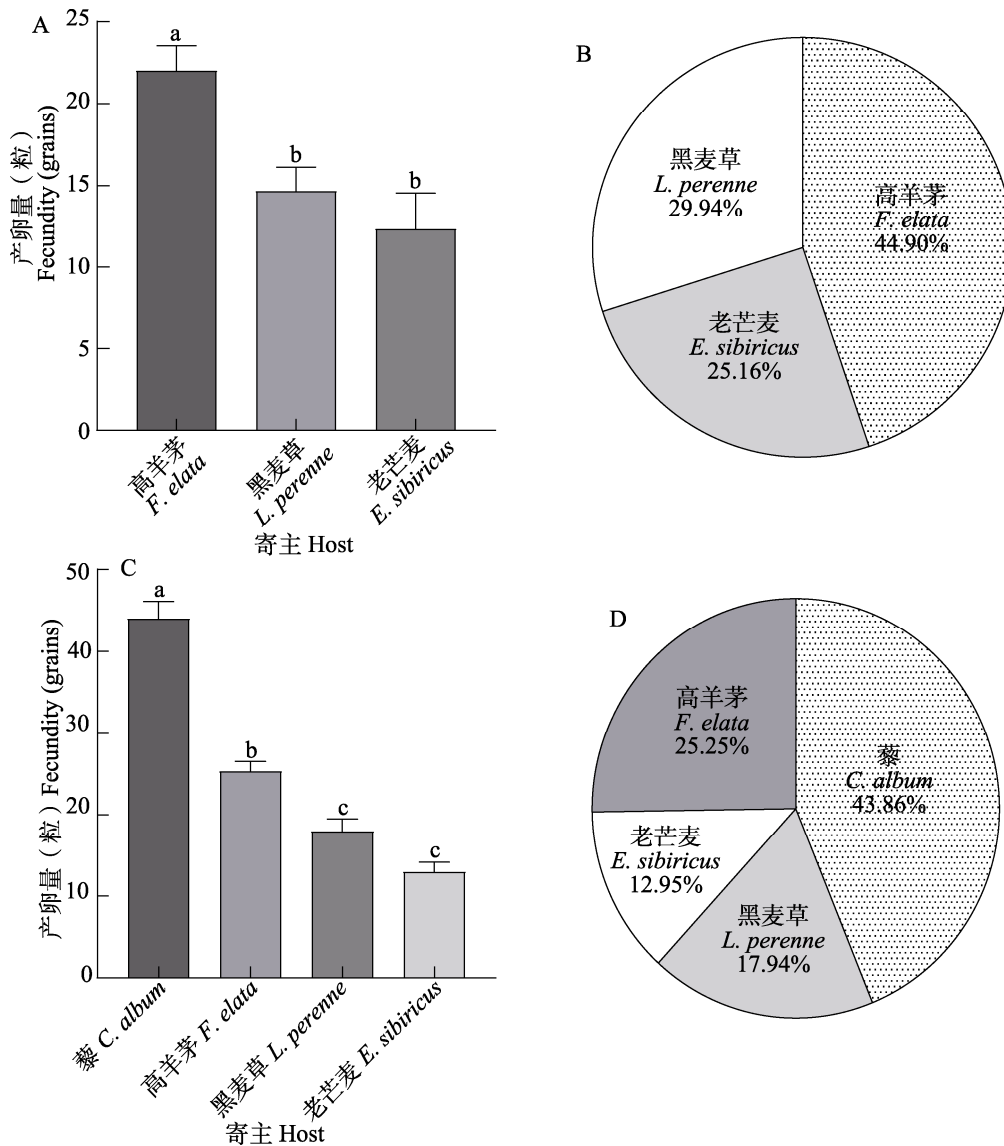


图 2 草地螟成虫对 3 种禾本科牧草和藜的产卵选择性

Fig. 2 Oviposition preference of *Loxostege sticticalis* to 3 gramineous grasses and *Chenopodium album*

A, B. 草地螟在 3 种禾本科牧草上的产卵量及产卵量占比;

C, D. 草地螟在 3 种禾本科牧草的藜上的产卵量及产卵量占比。

A, B. Number and proportion of eggs laid by *L. sticticalis* on 3 gramineous grasses;

C, D. Number and proportion of eggs laid by *L. sticticalis* on 3 gramineous grasses and *C. album*.

2.3 草地螟对不同牧草的产卵选择性

由图 3 (A, B) 可知, 草地螟对苜蓿的产

卵选择性显著高于对供试禾本科牧草的选择性 ($P<0.05$), 其在苜蓿上的落卵比例达到 39.13%; 当有苜蓿存在时, 在 3 种禾本科寄主

中, 草地螟更喜欢在高羊茅上产卵, 其落卵量显著高于黑麦草和老芒麦 ($P<0.05$), 在高羊茅上落卵占比为 28.26%。

由图 4 (A, B) 可知, 当禾本科牧草和豆科牧草共同存在时, 草地螟对豆科牧草的选择性显著高于禾本科牧草 ($P<0.05$), 但是藜同时存在时, 草地螟更喜选择藜为产卵寄主, 藜上的落

卵量与其他牧草上的落卵量之间存在明显差异 ($P<0.05$), 在藜上的落卵量所占比例为 24.87%; 除藜外, 草地螟对苜蓿和草木樨及高羊茅也有较好的选择性, 但对高羊茅的选择性略小于对苜蓿的选择性; 草地螟最不喜在老芒麦和黑麦草上产卵, 在藜和豆科及禾本科寄主植物同时存在时, 草地螟几乎不在黑麦草、沙打旺和老芒麦上产卵。

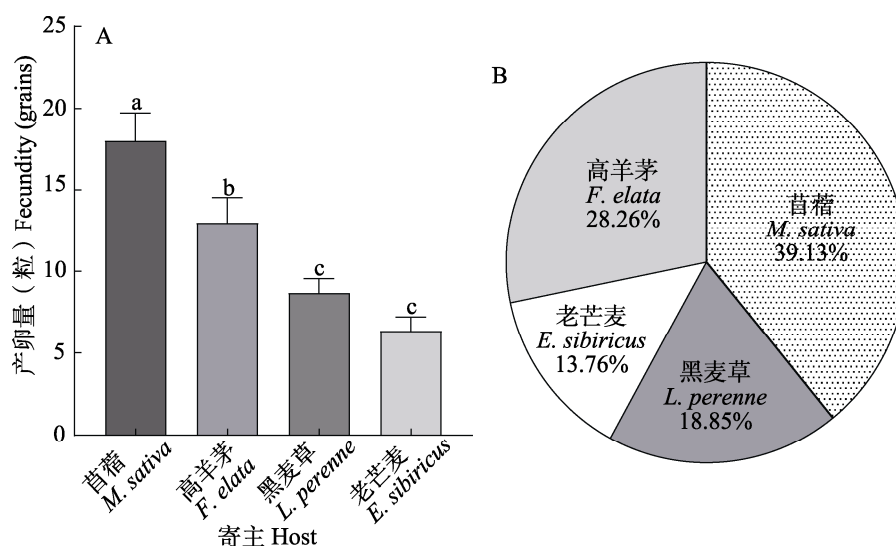


图 3 草地螟对苜蓿和 3 种禾本科牧草和苜蓿的产卵选择性

Fig. 3 Oviposition preference of *Loxostege sticticalis* to 3 gramineous grasses and *Medicago sativa*

A. 产卵量; B. 产卵量占比。

A. Fecundity; B. Proportion of eggs in different plants.

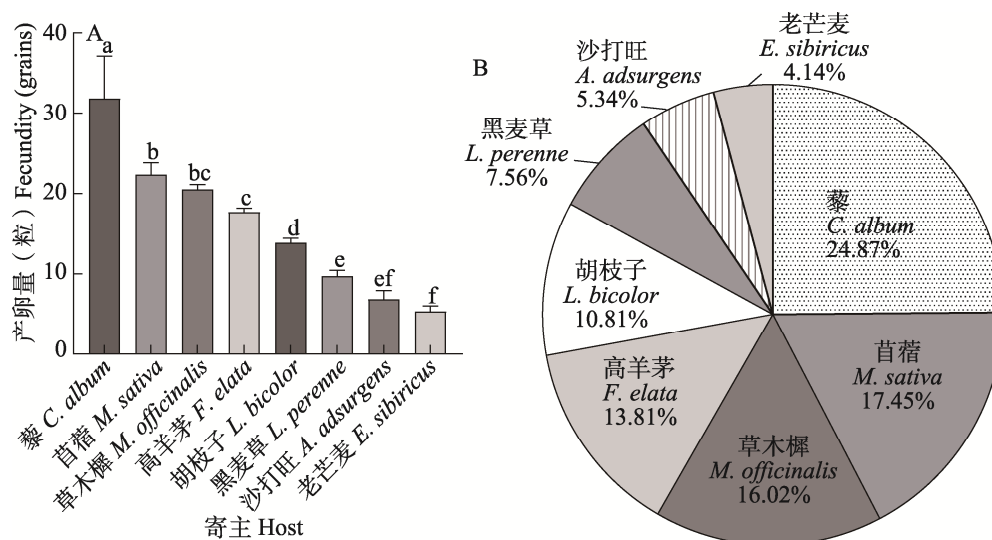


图 4 草地螟对不同牧草和藜的产卵选择性

Fig. 4 Oviposition preference of *Loxostege sticticalis* to different pasture grasses and *Chenopodium album*

A. 产卵量; B. 产卵量占比。

A. Fecundity; B. Proportion of eggs in different plants.

2.4 不同寄主植物对草地螟生长发育的影响

表 1 结果表明草地螟幼虫取食不同的寄主植物对其生长发育产生了显著的影响, 仅取食草木樨、苜蓿和藜的草地螟可以完成其世代, 其中取食藜的幼虫和蛹的发育历期分别为 16.38 d 和 16.64 d, 短于取食草木樨和苜蓿的草地螟种群 ($P<0.05$); 取食这 3 种植物的草地螟成虫发育历

期之间无显著性差异 ($P\geq 0.05$)。但是, 取食其他 5 种牧草植物的草地螟并不能完成世代, 其中取食沙打旺和老芒麦时, 幼虫在 2 龄左右 (2-4 d) 全部死亡; 取食胡枝子时, 有少数幼虫可以化蛹, 但蛹未能羽化为成虫; 取食高羊茅时, 有少数幼虫可以长至五龄左右 (11-14 d) 死亡, 取食黑麦草的幼虫则最多仅至四龄 (9-13 d) 即全部死亡。

表 1 不同寄主植物对草地螟的生长发育历期的影响
Table 1 Influence of different host plants to *Loxostege sticticalis* developmental period

寄主植物 Host plant	幼虫历期 (d) Larval duration (d)	蛹历期 (d) Pupal duration (d)	成虫历期 (d) Adult duration (d)
藜 <i>C. album</i>	16.38±0.67 b	16.64±0.73 b	18.46±1.10 a
草木樨 <i>M. officinalis</i>	19.53±0.85 a	19.61±0.80 a	15.36±0.98 a
苜蓿 <i>M. sativa</i>	19.21±0.87 a	18.40±0.59 a	16.28±1.61 a
胡枝子 <i>L. bicolor</i>	12.62±0.67 c	-	-
沙打旺 <i>A. adsurgens</i>	3.32±0.78 d	-	-
高羊茅 <i>F. elata</i>	12.87±0.56 c	-	-
黑麦草 <i>L. perenne</i>	11.65±0.58 c	-	-
老芒麦 <i>E. sibiricus</i>	2.45±0.65 d	-	-

表中数据为平均数±标准误; 同列数据后不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著 ($P<0.05$)。
Data in the table are mean±SE, and followed by the different letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$) by Duncan's new multiple range test. The same below.

2.5 不同寄主植物对草地螟蛹重的影响

取食不同寄主植物会显著影响草地螟的蛹重 (图 5)。其中, 取食藜的草地螟种群的平均

蛹重为 32.67 mg, 苜蓿种群平均蛹重 26.33 mg, 草木樨种群的平均蛹重为 24.33 mg, 取食藜的草地螟种群蛹重显著高于苜蓿和草木樨种群 ($P<0.05$), 但取食苜蓿和草木樨的种群二者间蛹重没有显著异 ($P\geq 0.05$) (图 5)。

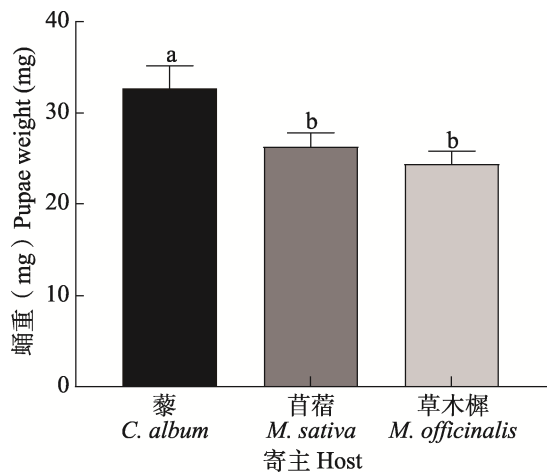


图 5 藜、苜蓿及草木樨对草地螟蛹重的影响
Fig. 5 Influence of *Chenopodium album*, *Medicago sativa* and *Melilotus officinalis*, to the pupae weight of *Loxostege sticticalis*

2.6 不同寄主植物对草地螟繁殖力的影响

如表 2 所示, 取食不同寄主植物对草地螟成虫的繁殖力产生一定的影响。尽管幼虫取食藜、苜蓿和草木樨的草地螟种群间产卵历期和卵孵化率并无显著差异 ($P\geq 0.05$), 但是取食藜的草地螟种群产卵量显著高于取食苜蓿和草木樨的种群 ($P<0.05$), 表明草地螟幼虫取食藜可以获得较高的繁殖力。

2.7 不同寄主植物对草地螟种群增长的影响

草地螟幼虫取食不同寄主植物对其整个种群增长均产生明显的影响 (表 3), 取食藜的幼

表 2 藜、苜蓿及草木樨对草地螟繁殖力的影响
Table 2 Influence of *Chenopodium album*, *Medicago sativa*, *Melilotus officinalis* to the fecundity of *Loxostege sticticalis*

寄主植物 Host plants	产卵历期 (d) Oviposition duration (d)	产卵量 (粒) Number of eggs (grains)	卵孵化率 (%) Hatching rate (%)
藜 <i>C. album</i>	7.40±1.20 a	206.00±10.00 a	97.00±0.12 a
苜蓿 <i>M. sativa</i>	6.02±0.72 a	169.67±13.00 b	96.50±1.21 a
草木樨 <i>M. officinalis</i>	5.41±0.65 a	153.75±12.00 b	97.20±0.19 a

表 3 藜、苜蓿及草木樨对草地螟种群增长的影响
Table 3 Influence of feeding *Chenopodium album*, *Medicago sativa*, *Melilotus officinalis* to population trend of *Loxostege sticticalis*.

寄主植物 Host plants	幼虫存活率 (%) Larval livability (%)	成虫羽化率 (%) Adult eclosion rate (%)	种群增长指数 Population trend index
藜 <i>C. album</i>	94.03±6.12 a	82.75±2.10 a	80.36
苜蓿 <i>M. sativa</i>	82.50±2.21 b	61.70±2.61 b	43.74
草木樨 <i>M. officinalis</i>	84.20±3.19 b	53.33±3.98 c	34.28

虫无论幼虫存活率还是成虫羽化率均为最高(分别为 94.03%、82.75%),显著高于取食草木樨和苜蓿的草地螟种群 ($P<0.05$),因此,取食藜的草地螟种群增长指数最高,达 80.36,表明取食藜对草地螟的种群增长更为有利。取食草木樨和苜蓿的草地螟在幼虫存活率无显著性差异 ($P\geq 0.05$),取食苜蓿的草地螟在幼虫其成虫羽化率显著高于取食草木樨 ($P<0.05$)。

3 讨论

植食性昆虫与其寄主之间的关系及外界的环境条件在很大程度上决定了其发生和为害程度,而成虫的产卵选择性则是其与寄主建立关系和自身种群繁衍的关键。其中植物叶片的形态结构是影响寄主昆虫产卵的重要因素(钦俊德和王琛柱, 2001)。如日本刀角瓢虫 *Serangium japonicum* 偏好在茄子品种“黑到底”上产卵,这与品种“黑到底”的叶毛密度、叶毛长度等形态结构密切相关(梅文娟等, 2021)。姜玉英等(2011)田间调查结果表明,相对于禾本科植物,草地螟更喜欢在阔叶植物上产卵。本研究通过比较草地螟对豆科和禾本科牧草的产卵选择,明确了草地螟在苜蓿和草木樨等豆科阔叶牧草上的着卵量和着卵比率明显高于供试禾本科牧草。因此,推测草地螟对产卵寄主植物的选择可能是跟

豆科植物叶片更适于卵的附着有关。山西省植保站利用草地螟对苜蓿等植物的产卵选择性作为诱集植物在田边种植,显著减轻了作物田草地螟的发生和为害(张跃进等, 2008)。因此,利用草地螟趋向于选择豆科牧草产卵这一特性,是开展针对性防控我国草原草地螟的重要方面。

另外,本研究发现当藜存在时,草地螟对于藜的选择性显著高于供试的豆科和禾本科牧草,表明藜科杂草仍是草地螟最喜欢的产卵寄主(张树坤等, 1987; 康爱国等, 1999, 2007; 尹姣等, 2004, 2005; 孙雅杰等, 2005; 张跃进等, 2008; 曾娟等, 2009; 姜玉英等, 2011),进一步研究发现取食藜的草地螟幼虫生长发育最快,产卵量最大,孵化率也最高。这说明草地螟幼虫最喜取食的藜对其种群增长也是最有利的。同时,取食苜蓿和草木樨的草地螟也能够顺利完成世代,仅种群增长指数略低于取食藜的草地螟。该结果与草地螟的产卵选择结果是一致的,即有利于幼虫生长发育的植物上落卵量多,不利于幼虫生长发育的植物上落卵量则较少。推测是成虫要为幼虫选择更适宜生存的环境和幼虫营养,所以通常选择在幼虫喜食的植物上产卵。

但是,草地螟的成虫产卵寄主和取食寄主也并非完全一致,其在禾本科植物上表现尤为明显,如狗尾草是草地螟产卵寄主,却不是喜食寄

主(康爱国等, 2007), 在本研究中, 草地螟成虫在高羊茅上的产卵量与苜蓿、草木樨无显著差异, 但是幼虫以高羊茅作为食物时, 发育至 5 龄时已经全部死亡, 并不能完成一个世代。推测草地螟偏食植物与嗜好产卵植物不完全相同, 这也为其高龄幼虫在田间食物不足时进行寄主间转移提供了理论依据, 可以增强草地螟的生存能力和对环境的适应能力, 是其能够暴发成灾的食料基础。

目前, 内蒙古草原肉羊和黑龙江雪花肉牛等产业集群建设需求导致草地螟的主要发生区域苜蓿等牧草种植面积迅速扩大(中华人民共和国农业农村部, 2020), 苜蓿等产卵寄主植物种植面积的增加, 不仅为当年草地螟种群的快速增长提供了条件, 也将提供大量越冬虫源, 为来年其在农牧区的大发生奠定基础。因此, 利用草地螟对藜、苜蓿等牧草的产卵选择性进行防控, 是实现草原上草地螟的持续有效治理的有效途径。

参考文献 (References)

- Bai ZJ, Yang MH, Li YY, Zhong H, Zhao X, Li M, 2022. Analysis of volatiles from forage legume *Medicago ruthenica* under different conditions and electroantennographic response of beet webworm *Loxostege sticticalis*. *Journal of Plant Protection*, 49(3): 775–783. [白泽珍, 杨美红, 李亚勇, 钟华, 赵祥, 李明, 2022. 不同状态下扁蓿豆挥发物成分分析及草地螟的触角电位反应. 植物保护学报, 49(3): 775–783.]
- Cao WJ, Luo LZ, Xu JX, 2006. The migratory behavior and pathways of meadow moth, *Loxostege sticticalis* in China. *Chinese Bulletin Entomology*, 43(3): 279–283. [曹卫菊, 罗礼智, 徐建祥, 2006. 我国草地螟的迁飞规律及途径. 昆虫知识, 43(3): 279–283.]
- Chen J, Luo LZ, Pan XL, Kang AG, 2010. Evidences and causes for selecting stinkgrass rather than lambsquarters as ovipositing plants by the beet webworm, *Loxostege sticticalis*. *Plant Protection*, 36(2): 75–79. [陈静, 罗礼智, 潘贤丽, 康爱国, 2010. 草地螟选择大画眉草而非藜产卵的证据及原因. 植物保护, 36(2): 75–79.]
- Chen X, Hao LP, Jiang YY, Zhai BP, 2022. Spatio-temporal dynamics of meadow moth outbreaks in Eurasia over the past 100 years. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(2): 375–385. [陈晓, 郝丽萍, 姜玉英, 翟保平, 2022. 近百年来欧亚大陆草地螟发生的时空动态. 应用昆虫学报, 59(2): 375–385.]
- Chen X, Zeng J, Zhai BP, 2016. A series of abnormal climatic conditions caused the most severe outbreak of first-generation adults of the meadow moth (*Loxostege sticticalis* L.) in China. *International Journal of Biometeorology*, 60(6): 789–800.
- Chen ZY, Zhang Z, Liu J, Kang AG, Zhao SM, Yin XJ, Li ZQ, Xie AT, Zhang YH, 2020. Spatiotemporal dynamics and source of *Loxostege sticticalis* in northern China 2020. *Scientia Agricultura Sinica*, 55(5): 907–919. [陈智勇, 张智, 刘杰, 康爱国, 赵素梅, 尹祥杰, 李占清, 谢爱婷, 张云慧, 2020. 2020 年我国北方地区草地螟种群的时空动态与虫源分析. 中国农业科学, 55(5): 907–919.]
- Fan JS, Zhang LX, Wang GQ, Xu LJ, Zheng X, Han X, Leng H, Zhao W, 2014. The oviposition behaviors of *Loxostege sticticalis* L. on 5 host plants and their crude extract. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 30(7): 302–305. [范锦胜, 张李香, 王贵强, 徐利剑, 郑旭, 韩笑, 冷赫, 赵维, 2014. 草地螟对寄主植物及其粗提物的选择行为. 中国农学通报, 30(7): 302–305.]
- Goh HG, Lee SG, Choi YM, 1991. Oviposition and feeding preference of beet army worm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Crop Protection*, 33(2): 44–47.
- Guo XR, Li WZ, Dong JF, Ding SB, Zhou Z, Song N, Ma J, 2021. An introduction to phytophagous insect host-plant selection hypotheses. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 58(6): 1245–1256. [郭线茹, 李为争, 董钧锋, 丁识伯, 周洲, 宋南, 马继盛, 2021. 植食性昆虫寄主植物选择假说述介. 应用昆虫学报, 58(6): 1245–1256.]
- Jiang XF, Zhang L, Chen YX, Jiang YY, Liu J, 2019. The fourth occurrence cycle of the beet webworm *Loxostege sticticalis* may be coming in China. *Plant Protection*, 45(4): 79–81. [江幸福, 张蕾, 程云霞, 姜玉英, 刘杰, 2019. 草地螟第 4 个发生周期或将来临. 植物保护, 45(4): 79–81.]
- Jiang YY, Kang AG, Wang CR, Meng ZP, Zeng J, 2011. Preliminary report on the ovipositing and feeding host species of the meadow moth (*Loxostege sticticalis* L.). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 27(7): 266–278. [姜玉英, 康爱国, 王春荣, 孟正平, 曾娟, 2011. 草地螟产卵和取食寄主种类初报. 中国农学通报, 27(7): 266–278.]
- Kang AG, Fan RX, Zhang YH, Li Q, Pang HY, 1999. Investigation on emergence and distribution of *Loxostege sticticalis* Linnaeus egg and over-winter larva. *China Plant Protection*, 19(2): 3–4. [康爱国, 樊荣贤, 张玉慧, 李强, 庞红岩, 1999. 草地螟卵和越冬幼虫发生分布调查. 植保技术与推广, 19(2): 3–4.]
- Kang AG, Zhang YJ, Jiang YY, Wang HJ, Zhang YH, Zhao ZY, 2007. study on the oviposition behavior of adult *Loxostege sticticalis* and control effect of intertillage and weeding on its eggs. *China Plant Protection*, 27(11): 5–7. [康爱国, 张跃进, 姜玉英, 王贺军, 张玉慧, 赵志英, 2007. 草地螟成虫产卵行为及中耕除草灭卵控害作用研究. 中国植保导刊, 27(11): 5–7.]
- Knolhoff LM, Heckel DG, 2014. Behavioral assays for studies of host plant choice and adaptation in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 59: 263–278.
- Li Y, 2021. Study on occurrence, harm and control countermeasures

- of *Loxostege sticticalis* in altay of area of Xinjiang. *Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 40(6): 216–219, 221. [李云, 2021. 新疆阿勒泰地区草地螟发生危害与防治对策. 畜牧兽医杂志, 40(6): 216–219, 221.]
- Luo LZ, Chen YX, Tang JH, Jiang XF, Zhang L, 2018. The causes, targets and strategies of migration in the beet webworm, *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Plant Protection*, 44(5): 34–41. [罗礼智, 程云霞, 唐继洪, 江幸福, 张蕾, 2018. 草地螟迁飞的原因、目标与对策. 植物保护, 44(5): 34–41.]
- Luo LZ, Li GB, Cao YZ, 1996. The 3rd cycle of rampant *Loxostege sticticalis* infestation has arrived. *Plant Protection*, 22(5): 50–51. [罗礼智, 李光博, 曹雅忠, 1996. 草地螟第 3 个猖獗为害周期已经来临. 植物保护, 22(5): 50–51.]
- Mei WJ, Yao FL, Lin S, Ding XL, Zheng Y, Lu XS, He YX, Weng QY, 2021. Oviposition preference of *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae) to eggplant varieties with different leaf trichome densities. *Acta Entomologica Sinica*, 64(9): 1092–1103. [梅文娟, 姚凤奎, 林硕, 丁雪玲, 郑宇, 卢学松, 何玉仙, 翁启勇, 2021. 日本刀角瓢虫对不同叶毛密度茄子品种的产卵选择性. 昆虫学报, 64(9): 1092–1103.]
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, 2020. Notice of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs and Ministry of Finance on the announcement of the construction list of advantageous special industry clusters in 2020 [EB/OL]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/XZQYJ/202005/t20200522_6345015.htm. [中华人民共和国农业农村部, 2020. 农业农村部财政部关于公布 2020 年优势特色产业集群建设名单的通知[EB/OL]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/XZQYJ/202005/t20200522_6345015.htm.]
- Niu HH, Bao BS, Ke JW, Ma CY, Wang YH, Zhang P, 2010. Causes of *Loxostege sticticalis* outbreak and control measures in northern China. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 38(2): 136–138. [牛呼和, 包宝山, 柯建武, 马崇勇, 王彦华, 张鹏, 2010. 我国北方草原草地螟暴发原因及防治对策. 江苏农业科学, 38(2): 136–138.]
- Nyasani JO, Meyhofer R, Subramanian S, Poehling HM, 2013. Feeding and oviposition preference of *Frankliniella occidentalis* for crops and weeds in Kenyan French bean fields. *Journal of Applied Entomology*, 137(3): 204–213.
- Qin JD, Wang CJ, 2001. The relation of interaction between insects and plants to evolution. *Acta Entomologica Sinica*, 44(3): 360–365. [钦俊德, 王琛柱, 2001. 论昆虫与植物的相互作用和进化的关系. 昆虫学报, 44(3): 360–365.]
- Sun YJ, Chen RL, Gao YB, Lu ZZ, 2005. The observation of adult activity and larva development of meadow moth (*Loxostege sticticalis* L.). *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 30(3): 15–17. [孙雅杰, 陈瑞鹿, 高月波, 卢宗志, 2005. 草地螟成虫活动与幼虫发育的观察. 吉林农业科学, 30(3): 15–17.]
- Wang J, 2021. The *Loxostege sticticalis* L. monitoring and control. *Xinjiang Xumuye*, 36(2): 42–43, 46. [王健, 2021. 草地螟监测与防治. 新疆畜牧业, 36(2): 42–43, 46.]
- Xu RM, 1990. *Insect Population Ecology*. Beijing: Beijing Normal University Publishing House. 64–76, 85–133. [徐汝梅, 1990. 昆虫种群生态学. 北京: 北京师范大学出版社. 64–76, 85–133.]
- Yin J, Cao YZ, Luo LZ, Hu Y, 2004. Effects of host plants on population increase of meadow moth, *Loxostege sticticalis* L. *Journal of Plant Protection*, 31(2): 173–178. [尹姣, 曹雅忠, 罗礼智, 胡毅, 2004. 寄主植物对草地螟种群增长的影响. 植物保护学报, 31(2): 173–178.]
- Yin J, Cao YZ, Luo LZ, Yin J, Cao YZ, Hu Y, 2005. Oviposition preference of the meadow moth, *Loxostege sticticalis* L., on different host plants and its chemical mechanism. *Acta Ecologica Sinica*, 25(8): 1844–1852. [尹姣, 曹雅忠, 罗礼智, 胡毅, 2005. 草地螟对寄主植物的选择性及其化学生态机制. 生态学报, 25(8): 1844–1852.]
- Zeng J, Jiang YY, Zhang Y, 2009. Analysis of the characteristics and causes of the occurrence of *Loxostege sticticalis* in China in 2009. *China Plant Protection*, 30(5): 33–36. [曾娟, 姜玉英, 张野, 2009. 2009 年我国草地螟发生特点及原因分析. 中国植保导刊, 30(5): 33–36.]
- Zhang L, Jiang XX, 2022. Occurrence tendency and management strategies of the beet webworm, *Loxostege sticticalis* in China. *Plant Protection*, 48(4): 68–72. [张蕾, 江幸福, 2022. 我国草地螟发生趋势与防控策略. 植物保护, 48(4): 68–72.]
- Zhang SK, Liu MF, Li QR, Li JQ, 1987. The occurrence pattern and prediction of *Loxostege sticticalis* in Shanxi Province and its comprehensive management. *China Plant Protection*, 7(S1): 82–97. [张树坤, 刘梅凤, 李齐仁, 李吉庆, 1987. 山西省草地螟发生规律、预测预报及其综合治理的研究. 中国植保导刊, 7(S1): 82–97.]
- 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. [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.]
- Zhang WL, Wang WQ, Bai SX, Zhang TT, He KL, Wang ZY, 2018. Screening of host plants preferred for oviposition by female adults of *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Crambidae) and their electrophysiological responses to volatile components of *Humulus scandens* (Cannabaceae). *Acta Entomologica Sinica*, 61(2): 224–231. [张文璐, 王文强, 白树雄, 张天涛, 何康来, 王振营, 2018. 亚洲玉米螟雌蛾产卵偏好寄主植物的筛选及对葎草挥发性化学成分的电生理反应. 昆虫学报, 61(2): 224–231.]
- Zhang YJ, Jiang YY, Jiang XF, 2008. Advances on the key control techniques of *Loxostege sticticalis* in China. *China Plant Protection*, 28(5): 15–19. [张跃进, 姜玉英, 江幸福, 2008. 我国草地螟关键控制技术研究进展. 中国植保导刊, 28(5): 15–19.]