性比对草地螟生殖潜力和寿命的影响*

李敏敏[1**] 程云霞[1] 肖永红[1, 2] 罗礼智[1***] 江幸福[1] 张 蕾[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. 井冈山大学生命科学学院，江西 343009）

摘 要 **【目的】** 探明性比对草地螟 *Loxostege sticticalis* L.种群繁殖的影响，为预测预报提供科学指导。**【方法】** 室内条件（温度（22±1℃，相对湿度 70%±5%，光周期 16L∶8D）下，研究了草地螟成虫雌雄比例（♀∶♂=1∶3，1∶2，1∶1，2∶1，3∶1）对主要繁殖参数和寿命的影响。**【结果】** 草地螟成虫的产卵前期随着雌蛾比例的增大而延长；性比为 1∶1 时雌蛾的产卵同步性最高；雌蛾的交配次数、产卵量以及最终孵出的后代幼虫量在不同性比组之间差异变化不大，而雄蛾的交配次数、对后代的贡献量却随着雌蛾比例的加大而显著增加，而当雌雄比为 3∶1 时，雌雄蛾的寿命均显著下降；在雌雄比为 3∶1 的条件下，雄蛾的交配次数以及对后代的贡献量均为雌蛾的 2 倍左右。**【结论】** 性比对草地螟雌蛾生殖影响较小，而对雄蛾生殖的影响较大。在雌成虫比例较低（性比为 1∶3）的情况下，雄成虫的交配和生殖能力不能得到充分发挥，进而造成种群生殖资源的浪费。根据雌雄成虫交配潜力及对后代贡献量的比较分析，可以推测性比为 2∶1 至 1∶1 时，有利于草地螟大发生种群的形成。

关键词 草地螟，性比，交配力，产卵期，繁殖力

Effect of sex ratio on the reproductive potentials and longevity of the beet webworm, *Loxostege sticticalis*

LI Min-Min[1**] CHENG Yun-Xia[1] XIAO Yong-Hong[1, 2] LUO Li-Zhi[1***]
JIANG Xing-Fu[1] ZHANG Lei[1]

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Disease and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. College of Life Sciences, Jinggangshan University, Jiangxi 343009, China)

Abstract **[Objectives]** To understand the effects of sex ratio on the reproduction of *Loxostege sticticalis*, thereby improving our understanding of its biology and ability to forecast outbreaks of this species. **[Methods]** Reproductive parameters were studied under different sex ratios (♀∶♂=1∶3; 1∶2; 1∶1; 2∶1; 3∶1) under laboratory conditions (temperature (22±1)℃, RH70%±5%, photoperiod 16 L∶8 D). [Results] Sex ratio had an obvious impact on *L. sticticalis* reproductive parameters. The results show that the pre-oviposition period of female *L. sticticalis* increased with increasing sex ratio. The period of first oviposition in the 1∶1 group was the highest among the five sex ratio groups. Female reproductive parameters such as mating time, egg production and number of hatchlings did not vary much among the different sex ratio groups, but those of males increased rapidly with increasing sex ratio. Both male and female longevity were significantly lower at a sex ratio of 3∶1. Males' maximum mating time and number of offspring were about twice those of females at sex ratios of 1∶3 and 3∶1. **[Conclusion]** Sex ratio had little influence on the reproductive parameters of female adults compared to those of males; a 1∶3 sex ratio appeared to significantly reduce males' mating ability and reproductive capacity.

* 资助项目：公益性行业（农业）科研专项（201303057）；国家自然科学基金（31301656）；国际科技合作专项（2014DFR31250）

**E-mail：limin9536@126.com

***通讯作者，E-mail: lzluo@ippcaas.cn

收稿日期：2014-06-05，接受日期：2014-09-29

Analysis of adults' mating potential and fecundity suggests that a sex ratio of 2∶1 is optimal with regard to the most efficient use of resources, whereas a sex ratio of 1∶1 is the best for population growth.

Key words *Loxostege sticticalis*, sex ratio, mating capacity, lifetime fecundity, longevity, population dynamics

性比是指昆虫种群在某一时期内雌雄个体数量之间的比例（费世民等，2011），是昆虫种群生物学特征的重要指标，受昆虫内部的基因所控制（董钧锋等，2001）。昆虫在长期进化过程中，种群的雌雄性比逐渐形成了各自的变幅范围，大致可分为 3 种情况：雌雄性比接近 1∶1；雌比占 80%左右或更多；在整年或某一生长季节内全部为雌性，营孤雌生殖，或全为雄性，即某些孤雌生殖的后代（章士美和杨明旭，1986）。种群中的性比将影响雌雄成虫的交配、产卵、孵化等繁殖特征（姚永生等，2008），进而影响到种群后代种群数量，因此是种群数量波动的重要影响因子之一。

草地螟 *Loxostege sticticalis* L.属鳞翅目螟蛾科，又名黄绿条螟，网锥额野螟，主要分布于北纬 36°~54°之间的草原、农田和农牧交错带（孙雅杰和陈鹿瑞，1995）。草地螟在我国主要发生在内蒙古、山西、河北、黑龙江等北部地区，危害苜蓿、大豆、甜菜等多种农作物，给农牧业生产造成严重的经济损失。自新中国成立以来，草地螟已 3 次大暴发成灾，其中 2008 年第 2 代幼虫大发生，为害面积高达 110.7 万 hm^2（罗礼智等，2009）。近些年来，随着全球气候逐年变暖，草地螟发生危害也越来越重（Pepper, 1938；罗礼智等，2009）。对于草地螟暴发的原因，国内外学者进行了多年深入的研究，对外部影响因子如温度（罗礼智和李光博，1993）、湿度（孟正平等，1987）、寄主植物(尹姣等，2004)和天敌（李红和罗礼智，2007；田晓霞等，2010; 王建梅等，2013）、等的研究较多，而有关性比对草地螟种群动态影响的研究却很少。在田间调查中我们发现，重发生年份和轻发生年份草地螟雌雄成虫的比例差异较大，为了解释这一现象，本文对不同性比条件下的草地螟生殖潜力和寿命开展了研究。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

草地螟虫源采自河北省康保县（114.63ºE，41.87ºN），带回实验室置于人工气候箱内，按照罗礼智和李光博（1993）的方法饲养 4~7 代。

1.2 室内饲养

本试验所用草地螟均为室内饲养，虫卵置于（22±1）℃、RH70%、光周期 L16∶D8 的人工气候箱（RXZ-430B；宁波，中国）中孵化，待幼虫孵化后按 20 头/瓶的密度接种在罐头瓶中（直径 8 cm×高 14 cm），瓶底部垫圆形滤纸，喂以新鲜灰菜。接种幼虫恒定在 20 头/瓶，隔天更换灰菜，3 龄以后幼虫的取食量明显增大，每天更换灰菜并更换滤纸，清理虫粪，保持瓶子的干净和干燥。记录幼虫每天每瓶的存活数量，有死亡的补齐。大约 15 d 左右，幼虫的活动性降低，身体蜷缩并停止取食。干净的罐头瓶中放入 8 cm 左右的消毒土，将老熟幼虫放进罐头瓶中，瓶口用纱布封住，放入气候箱中等待羽化。幼虫羽化后，将当日羽化的成虫按雌雄比 1∶1、1∶2、1∶3、2∶1 和 3∶1（5 个性比处理下每个重复的成虫数量分别为 2、3、4、3 和 4 头）配对，分装饲养于直径 5 cm，高 12.5 cm 的有机玻璃罩内，内部罩上 12 cm×12 cm 的硫酸纸供成虫产卵，罩子底部放以小滤纸以防潮和产卵，玻璃罩的顶部放置含 5%葡萄糖溶液的脱脂棉供雌雄蛾取食，每天更换脱脂棉。各性比处理的重复数依次为 22、22、20、23 和 21。

1.3 繁殖参数观察与记录

处理完成后，每天对成虫进行观察，记录成虫的产卵前期、产卵量和产卵历期。成虫开始产卵后每天更换产卵纸，将收集的卵放置于和饲养成虫相同的气候箱内待其自然孵化，记录孵化

量。待成虫自然死亡后，记录雌雄性成虫的死亡时间并立即解剖雌性成虫卵巢，根据卵巢内精珠数量确定其交配次数。为了进一步量化雄蛾对种群生殖的影响，在实验中除了关注雄蛾的交配次数外，还引入了雄蛾对卵（后代）的贡献量的指标，是指一个性比组中雌蛾总的产卵量（或后代总的孵化数）除以雄蛾总数所得的数值。虽然雄性个体没有产卵能力，但是参与了交配过程，卵是雌蛾的后代，同样也是雄蛾的后代。每雄对卵（后代）的贡献量这个指标和交配次数用以描述雄蛾对后代繁殖的贡献。

1.4　数据处理

性比对产卵前期、产卵同步性、产卵量、产卵历期、孵化率、成虫寿命的影响采用单因素方差分析（ANOVA），不同性比组组间的差异性采用 Tukey's HSD 进行统计分析，确定差异显著水平为 $P < 0.05$。产卵同步性根据 Cheng 等（2012）的方法进行计算：最长产卵前期减去最短产卵前期得到差值。交配率采用卡方检验（χ^2）。所有的统计分析均由 SPSS19.0 完成。

2　结果与分析

2.1　性比对成虫交配能力的影响

雌雄比为 1∶1、1∶2、1∶3、2∶1 和 3∶1 的各组草地螟蛾交配率依次为 86.36%、90.91%、90.00%、86.97%和 88.71%，处理间的差异不显著（χ^2= 0.43，P = 0.98，df = 4，图 1）。说明性比对交配率没有显著影响。

雌虫的交配次数随着雌性成虫比例的增大而略有减少，性比为 1∶3 时，雌蛾的交配次数最多，为 2.41 次。性比 3∶1 时，雌蛾交配次数最少，为 1.67 次，但各处理间差异不显著（F = 1.28，P = 0.28，图 2）。可见雌雄比的变化也不会对雌蛾的交配次数产生显著影响。但雌雄比对雄蛾的交配次数影响极显著（F = 37.04，P < 0.0001，图 2），随着雄蛾比例的减小，或雌蛾比例的增加，雄虫的交配次数大幅增加。例如：

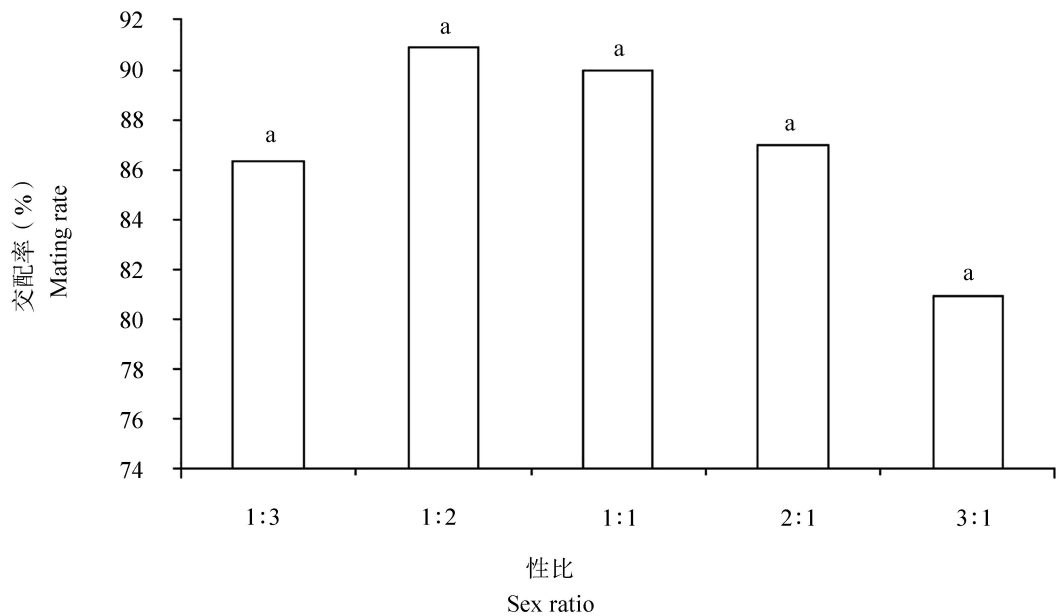

图 1　雌雄比对草地螟成虫交配率的影响

Fig. 1　Effect of sex ratio on mating rate of adult *Loxostege sticticalis*

柱上标有相同字母标注表示经卡方检验组间差异不显著（P<0.05，χ^2= 0.43）。

Histograms with the same letters indcate no statistical difference by χ^2 test ($P > 0.05$, χ^2 =0.43).

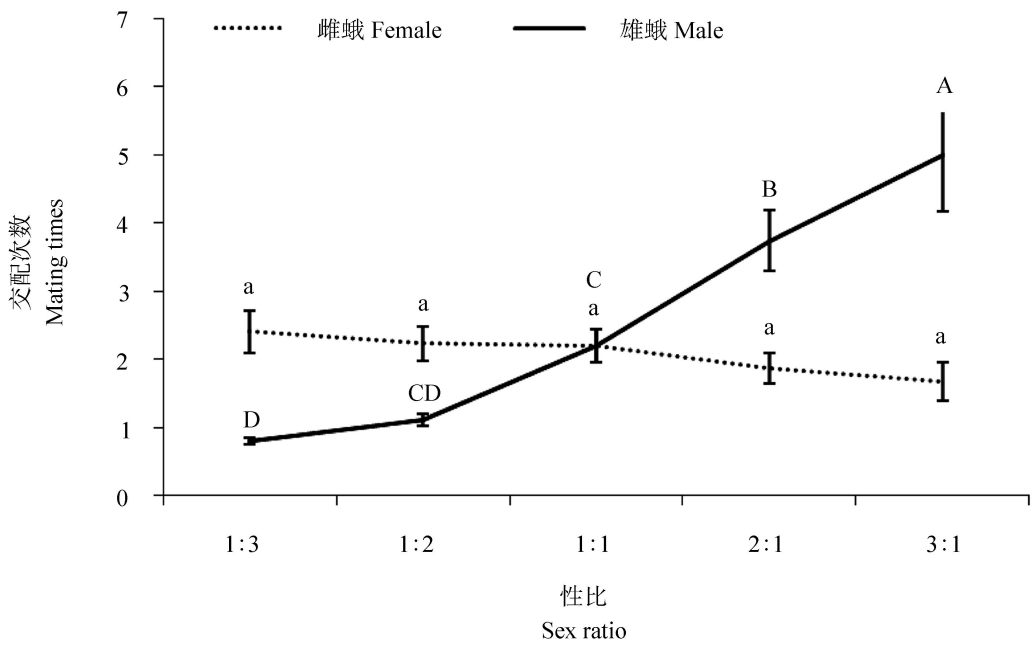

图 2　雌雄比对草地螟成虫交配次数的影响

Fig. 2　Effect of sex ratio on mating times of adult *Loxostege sticticalis*

图中数据为平均数±标准误；小写字母标注为各性比组的雌蛾交配次数比较，大写字母为各性比组雄蛾交配次数比较；不同字母标注表示组间差异显著（$P < 0.05$，Tukey's HSD）。下图同。

Data are presented as mean ± SE. The lowercase letters mean comparison between the females' mating times and the uppercase letters mean comparison between the males' mating times. Different letters mean statistical difference among groups ($P < 0.05$, Tukey's HSD). The same below.

在雌雄比为 1∶3 时，雄蛾交配次数最少，为 0.81 次，在雌雄比为 3∶1 时，雄蛾的交配次数最多，为 5.00 次。

在所设置的 5 种处理中，雌蛾和雄蛾的最大交配能力在雌雄比 1∶3 和 3∶1 的处理中分别得到体现：在雌雄比为 1∶3 的处理中，雌蛾交配次数最多，平均为 2.41 次；而在雌雄比为 3∶1 的处理中，雄蛾交配次数最多，平均可达 5.00 次，为雌蛾的 2.07 倍。说明在配偶数量理想化的情况下，雄蛾的交配能力应为雌蛾的 2 倍左右。

2.2　性比对雌蛾产卵前期及产卵历期的影响

雌雄比对雌蛾的产卵前期影响显著（$F = 4.06$，$P = 0.04$）（图 3）。随着雌雄性比加大，雌蛾的产卵前期呈延长的趋势，雌雄比 1∶3 组与 2∶1 组和 3∶1 组处理之间差异达到显著水平（$P < 0.05$），其他组间差异不显著（$P > 0.05$）。

雌雄比对产卵历期亦有显著影响（$F = 4.28$，$P = 0.00$）（图 3）。但与产卵前期不同，在雌雄比为 1∶1 时，产卵历期最长（9.45 d），在雌雄比为 3∶1 时，产卵历期最短（8.14 d），两组之间差异达到显著水平（$P < 0.05$）。

2.3　性比对成虫产卵同步性（PFO）的影响

雌雄比对成虫的 PFO 有显著的影响作用（$F = 7.04$，$P < 0.0001$）（图 4），在雌雄比为 1∶1 时，成虫的 PFO 显著低于雌雄比为 1∶2 和 2∶1 处理的（$P < 0.05$），但与 1∶3 和 3∶1 处理的没有显著差异（$P > 0.05$），说明性比为 1∶1 时，成虫的产卵同步性较高。

2.4　性比对草地螟繁殖力的影响

草地螟的繁殖能力随着雌雄比的增大而发生变化（表 1）。雌雄比对草地螟虫卵的总孵化量有显著影响（$F = 21.33$，$P < 0.0001$）。雌雄比

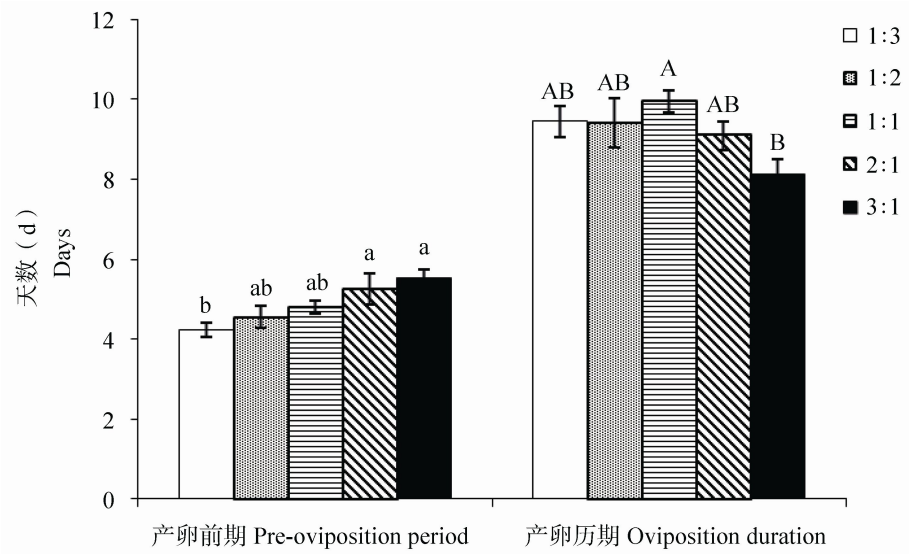

图 3　雌雄比对草地螟产卵前期和产卵历期的影响

Fig. 3　Effect of sex ratio on pre-oviposition period and oviposition duration of female *Loxostege sticticalis*

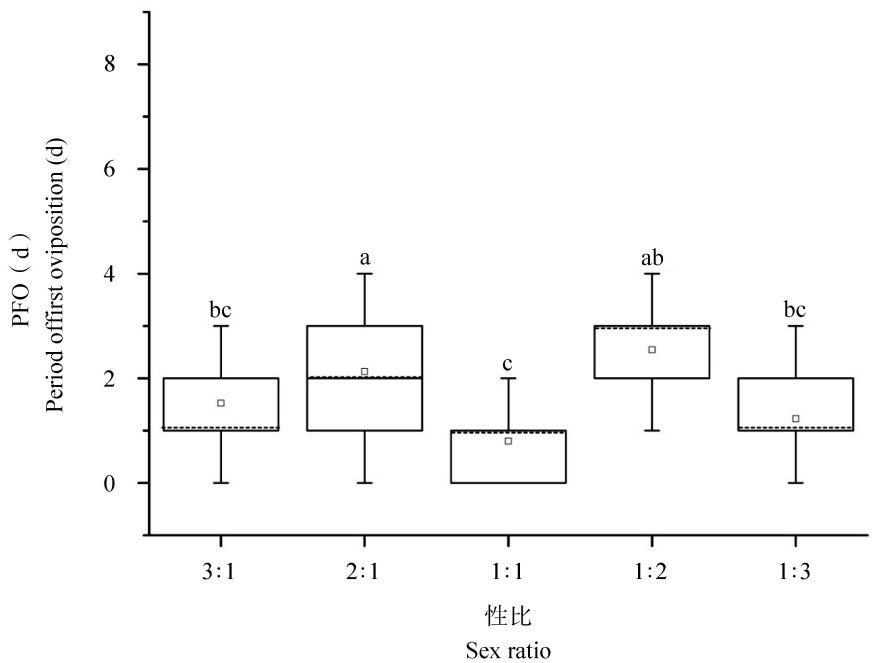

图 4　雌雄比对草地螟 PFO 的影响

Fig. 4　Effect of sex ratio on period of first oviposition of female *Loxostege sticticalis*

* 资助项目：公益性行业（农业）科研专项（201303057）；国家自然科学基金（31301656）；国际科技合作专项（2014DFR31250）

**E-mail：limin9536@126.com

***通讯作者，E-mail: lzluo@ippcaas.cn

收稿日期：2014-06-05，接受日期：2014-09-29

3∶1 组的总孵化量显著低于 2∶1、1∶1、1∶2 的性比组，而其他性比组之间没有差异。雌雄比对卵的孵化率影响显著（$F = 3.90$，$P < 0.0001$）。雌雄比不小于 1∶1 处理的孵化率显著高于其他性比组，但雌雄比 1∶3、1∶2 和 1∶1 组之间不存在差异。同样，雌雄比 2∶1 组与 3∶1 组之间亦不存在差异。雌雄比对每雌产卵量没有显著影响（$F = 1.96$，$P = 0.11$），但是对雄虫对卵贡献量存在显著差异（$F = 47.75$，$P < 0.0001$）。雌雄比 3∶1 组的雄虫对卵贡献量显著大于其他性比组，2∶1 组的雄虫对卵贡献量显著高于除 3∶1 组之外的其他性比组。每雌后代量受雌雄比的影响显著（$F = 2.64$，$P = 0.04$），雌雄比 1∶3 组的每雌后代显著多于 3∶1 组。雄虫对后代的贡献量随着性比的增大而显著增大（$F = 45.21$，$P < 0.0001$），雌雄比 3∶1 组的雄虫对后代贡献量显著高于 1∶3、1∶1、2∶1 处理组，而 1∶2 处理组与 1∶3、1∶1 组的均无差异。

试验所设的雌雄比 1∶3 组和 3∶1 组反映出在配偶数量充分满足的条件下雌雄蛾的最大繁殖能力，对比这两个性比组的每雌产卵量和每雄对后代贡献量不难发现：1）每雌后代数量最高值与最低值相差数十头，前者约为后者的 1.4 倍（216.08∶152.10 = 1.421）；而每头雄蛾对后代贡献量的最大值与最低值相差数百头，前者高于后者约 6.4 倍。这说明雌蛾后代数量主要受自身卵细胞数量的制约，而雄蛾后代数量则主要受配偶数量的影响。2）每头雌蛾最高的后代数量为 216.08 头，而每头雄蛾对后代贡献量可达到 456.29 头，由此来看，雄蛾的最大繁殖力约为雌蛾的 2 倍（456.29∶216.08 = 2.11）。

2.5 性比对雌雄蛾寿命的影响

性比对草地螟雌蛾和雄蛾的寿命均有显著影响（$F = 7.00$，$P < 0.0001$；$F = 4.61$，$P = 0.00$，图 5）。雌蛾的寿命随着雌蛾比例的加大而缩短，雄蛾的寿命表现为两个极端性比组寿命低于其他 3 个性比组。在 5 个性比组中，雌雄蛾的寿命最长的均为 16 d 左右，最短约为 11 d 左右；在雌蛾比例最大的组（3∶1）中，雌雄蛾的寿命均为最短。说明雌蛾比例过高对雌雄蛾的寿命均会产生不利的影响。

3 讨论

性比作为调节昆虫种群数量的一个因子，对昆虫种群的影响是多方面的，我们的研究结果表明，性比对草地螟成虫的交配、产卵和寿命等各项繁殖参数均有显著影响：第一，性比对草地螟

表 1 雌雄比对草地螟生殖力的影响

Table 1 Effect of sex ratio on fecundity of *Loxostege sticticalis*

生殖参数 Reproductive parameters	成虫性比（♀∶♂） Sex ratio				
	1∶3	1∶2	1∶1	2∶1	3∶1
总孵化量（头） Total larvae hatched	216.08±19.94bc	162.66±14.45c	167.56±16.65c	313.69±28.12b	456.29±43.07a
孵化率（%） Hatching rate	93.10±0.44a	92.76±0.39a	92.14±0.89a	89.02±0.81b	88.03±0.94b
每雌卵量（粒） Eggs per female	231.86±21.17a	175.05±15.36a	180.60±17.52a	174.65±14.89a	171.46±16.37a

* 资助项目：公益性行业（农业）科研专项（201303057）；国家自然科学基金（31301656）；国际科技合作专项（2014DFR31250）

**E-mail：limin9536@126.com

***通讯作者，E-mail: lzluo@ippcaas.cn

收稿日期：2014-06-05，接受日期：2014-09-29

每雄对卵贡献量（粒） Male' contribution on eggs	77.29±7.06c	87.52±7.68c	180.60±17.52c	349.30±29.78b	514.38±49.11a
每雌孵出幼虫（头） Larvae per female	216.08±19.94a	162.66±14.45ab	167.56±16.65ab	156.84±14.06ab	152.10±14.36b
每雄对后代贡献量（头） Male' contribution on offsprings	71.31±6.58d	81.33±7.22cd	167.56±16.65c	313.69±28.12b	456.29±43.07a

表中的数据为平均值±标准误；同行数据后标有不同小写字母表示差异显著（$P < 0.05$，Tukey's HSD）。

Data are presented as mean ± SE. Within a line, data followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$, Tukey's HSD).

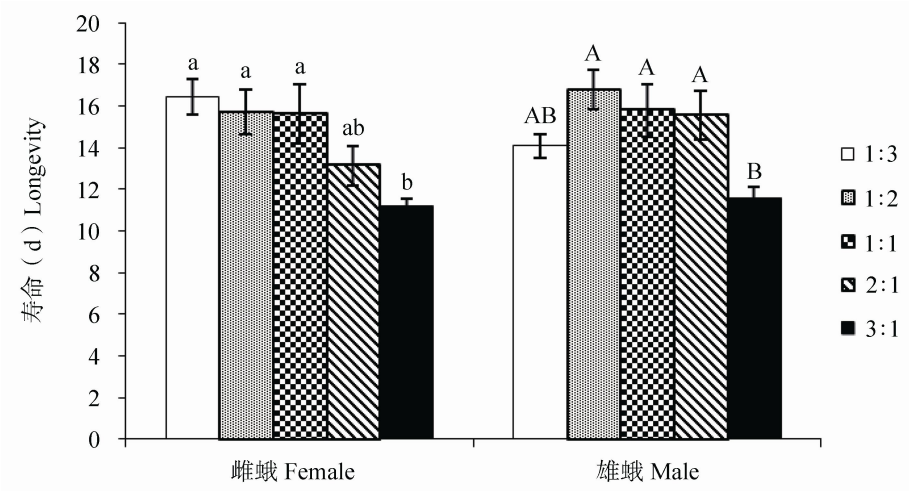

图 5　雌雄比对成虫寿命的影响

Fig. 5　Effect of sex ratio on longevity of adult *Loxostege sticticalis*

雄蛾的影响明显大于雌蛾。雌蛾的交配繁殖能力主要受制于自身遗传因素；而雄蛾的交配繁殖能力很大程度上受到配偶数量即交配机会的制约。第二，高性比率有利于释放雄蛾的交配繁殖力，但会对雌雄蛾寿命带来负面影响。第三，在配偶数量满足的条件下，单头雄蛾的最大交配能力以及对后代的贡献量均为雌蛾的 2 倍左右（表 1 和图 2 中 1∶3 组对比 3∶1 组），因而理论上雌雄性比为 2∶1 应为释放雌雄蛾繁殖能力的最优配比。

研究结果亦显示，草地螟性比 1∶1 组雌蛾的产卵同步性最高，这意味着在该性比条件下，草地螟后代幼虫集中时段大发生的可能性更高（Cheng *et al.*，2012）。已有研究证实草地螟幼虫数量短期内暴发有利于种群的生存，一方面寄生性天敌（如伞裙追寄蝇 *Exorista civilis* Rondani）对草地螟幼虫的寄生率呈负加速曲线型；而当寄主密度较高时，天敌寄生总量趋于稳定，寄生率不再增加（王建梅等，2013）；另一方面草地螟存在集群效应，其内禀增长力、净繁殖率和周期增长率均随着幼虫密度增加而增加。此外，随着性比中雌性成虫比例升高，草地螟成虫的产卵前期延长，在 3∶1 时达到最大值，这与棉铃虫中的研究结果类似（姚永生等，2008）。在迁飞性昆虫中较长的产卵前期对成虫的迁飞是有利的，因为迁飞一般发生在交配产卵之前，利用较长的产卵前期成虫有较多的机会补充营养或多次迁飞寻找更适宜的生境（Rankin *et al.*，1994；Cheng *et al.*，2012）。在草地螟种群中，当雌雄比超过 1∶1 时，部分雌蛾可能不能及时得到交配的机会，进而延长了产卵前期。草地螟成虫的迁飞同样发生在产卵之前，并且在环境条件不适宜的情况下仍然可能发生两次迁飞（岳宗岱和袁艺，1983；程云霞等，2013），因此，雌

成虫比例的升高导致的产卵前期延长极有可能也有利于种群的迁飞。

依据本试验研究结果可以推断，草地螟成虫雌雄比为 1∶1 至 2∶1 时有利于种群的繁殖增长，其原因是：低性比率和高性比率由于阻碍了雄蛾交配繁殖能力的释放或缩短了雌雄蛾的寿命，均会对种群繁殖产生不利影响；而成虫性比为 1∶1 时，将有利于草地螟后代幼虫种群生存；雌雄比为 2∶1 能够充分发挥雌雄各自的繁殖潜力，最有利于种群的繁殖。康爱国等（2004）对 1997—2002 年草地螟越冬代的研究中列出了各个蛾峰期诱集到的总蛾量和雌蛾量，可以统计得到越冬代草地螟蛾的雌雄性比率均大于 1∶1，最低性比为 1998 年的 1.15∶1，最高为 1999 年的 1.68∶1。江幸福等（2009）2004—2006 连续 3 年草地螟的野外诱蛾数据亦显示，黑光灯和自动虫情测报灯下草地螟雌雄性比最低为 1.33∶1，最高达 1.95∶1。由此可见，在草地螟的野外自然种群中，其雌雄性比维持在 1∶1~2∶1 的幅度范围内变动，这与我们室内试验的结果是一致的。

参考文献 (References)

Cheng YX, Luo LZ, Jiang XF, Sappington TW, 2012. Synchronized oviposition triggered by migratory flight intensifies larval outbreaks of beet webworm. *PLoS ONE*, 7(2): e31562.

Pepper JH, 1938. The effect of certain climatic factors on the distribution of the beet webworm (*Loxostege sticticalis* L.) in North American. *Ecology*, 19(4): 565–571.

Rankin MA, Hampton EN, Summy KR, 1994. Investigations of the oogenesis-flight syndrome in *Anthonomus grandis* (Coleoptera: Curculionidae) using tethered flight tests. *Journal of Insect Behavior*, 7(6): 795–810.

程云霞, 刘科科, 康爱国, 罗礼智, 江幸福, 张蕾, 2013. 草地螟迁入和再迁飞种群的生理环境特征分析. 植物保护, 39(3): 26－30. [Cheng YX, Liu KK, Kang AG, Luo LZ, Jiang XF, Zhang L, 2013. The physiological and environmental aspects of an immigrant and re-emigrant population of beet webworm, loxo stege sticticalis. *Plant Protection*, 39(3): 26-30.]

岳宗岱, 袁艺, 1983. 吉林省草地螟虫源和发生条件的初步分析. 吉林农业科学, 3: 78－81.[Qiu ZD, Yuan Y, 1983. [Preliminary study on sources and occurrence conditions of meadow moth in Jilin Province. Jilin Agricultural Science, 3:78-81.]

董钧锋, 王琛柱, 钦俊德, 2001. 昆虫性比失调因子及其作用机理. 昆虫知识, 38(3): 173－177. [Dong JF, Wang CZ, Qin JD, 2001. Sex ratio distorters of insects and their action mechanism. *Entomological Knowledge*, 38(3): 173-177.]

费世民, 何亚平, 何飞, 王乐辉, 蔡小虎, 陈秀明, 2011. 雌雄异体生物种群的性比失调及其调控研究现状. 四川林业科技, 32(2): 23－37. [Fei SM, He YJ, He F, Wang LH, Cai XH, Chen XM, 2011. Researches on the distortion of sex ratio in dioecism population and its controlling hypothesis. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 32(2): 23-37.]

江幸福, 罗礼智, 张蕾, 康爱国, 张跃进, 姜玉英, 2009. 佳多虫情测报灯和普通黑光灯对草地螟种群监测与防治效果比较. 植物保护, 35(2): 109－113. [Jiang XF, Luo LZ, Zhang L, Kang AG, Zhang YJ, Jiang YY, 2009. Comparison of Jiaduo automatic pest forecast light trap and blacklight trap for monitoring and tra pping the meadow moth, loxostege sticticalis. *Plant Protection*, 35(2): 109-113.]

康爱国, 杨海珍, 李强, 樊荣贤, 张玉慧, 沈成, 赵晓娟, 2004. 草地螟越冬代虫量与第一代草地螟发生关系的研究. 昆虫知识, 40(1): 70–72. [Kang AG, Yang HZ, Li Q, Fan RX, Zhang YH, Shen C, Zhao XJ, 2004. Relationship between the overwintering generation and the first generation of the beet webworm. *Chinese Bulletin of Entomology*, 40(1): 70-72.]

李红，罗礼智, 2007. 草地螟的寄生蝇种类、寄生方式及其对寄主种群的调控作用. 昆虫学报, 50(8): 840–849. [Li H, Luo LZ, 2007. The tachinids parasitizing on the meadow moth, loxostege sticticalis (Lepidoptera: Pyralidae): species, types of parasitism and their roles in controlling the host population. *Acta Entomologica Sinica*, 50(8): 840-849.]

罗礼智, 李光博, 1993. 温度对草地螟成虫产卵和寿命的影响. 昆虫学报, 36(4): 459－464. [Luo LZ, Li GB, 1993. Impacts of temperature on oviposition and longevity of meadow moth adults. *Acta Entomologica Sinica*, 36(4): 459–464.]

罗礼智, 黄绍哲, 江幸福, 张蕾, 2009. 我国 2008 年草地螟大发生特征及成因分析. 植物保护, 35(1): 27－33. [Luo LZ, Huang SZ, Jiang XF, Zhang L, 2009. Characteristics and causes for the outbreaks of beet webworm, Loxostege sticticalis in northern China during 2008. *Plant Protection*, 35(1): 27-33.]

孟正平, 陈玉宝, 刘一凌, 1987. 草地螟生殖力及卵孵化与湿度的关系. 中国植保导刊, S1: 115–120. [Meng ZP, Chen YB, Liu YL, 1987. Relationship between reproduction and hatching of meadow moth and humidity. China Plant Protection, S1: 115–120.]

孙雅杰, 陈瑞鹿, 1995. 草地螟迁飞、发生区与生活史的研究. 华

北农学报, 10(4): 86−91. [Sun YJ, Chen RL, 1995. Migration, occurrent region and life 一 history of meadow moth Loxsotege sticticalis L. in China. *Acta Agriculturae Boreali Sinica*, 10(4): 86–91.]

田晓霞, 罗礼智, 胡毅, 康爱国, 2010. 我国首次发现草地螟卵寄生蜂暗黑赤眼蜂. 植物保护, 36(3): 152−154. [Tian XX, Luo LZ, Hu Y, Kang AG, 2010. Trichogramma pintoi,a new parasitoid of loxostege sticticalis eggs found firstly in the field of northern China. *Plant Protection*, 36(3): 152-154.]

王建梅, 刘爱萍, 高书晶, 徐林波, 崔智林, 2013. 伞裙追寄蝇对草地螟幼虫的寄生功能反应. 中国草地学报，35(5): 169−172. [Wang JM, Liu AP, Gao SJ, Xu LB, Cui ZL, 2013. Parasitic functional esponse of exorista civilis Rond.to loxostege sticticalis L.Larvae. *Chinese Journal of Grassland*, 35(5): 169-172.]

姚永生, 张敏, 潘存建, 张萍, 2008. 棉铃虫成虫不同性比结构对繁殖力的影响. 安徽农业科学, 36(10): 4351−4353. [Yao YS, Zhang M, Pan CJ, Zhang P, 2008. Effects of different sex ratio structures of helicoverpa armigera adults on fecundity. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 36(10): 4351-4353.]

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, Hu Y, 2004. Effects of host plants on population increase of meadow moth, Loxostege sticticalis L. *Acta Phytophylacica Sinica*, 31(2): 173-178.]

章士美, 杨明旭, 1986. 昆虫性比的初步研究. 江西农业大学学报, S3: 8−13. [Zhang SM, Yang MX, 1986. A preliminary study on sex ratios of insects. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, S3: 8−13.]