



郝铮, 林玉英, 刘俊彬, 杨升院, 杨凤连, 彭正强, 金涛. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照对草地贪夜蛾自交种群发育与繁殖的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (3): 548–555.

$^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照对草地贪夜蛾 自交种群发育与繁殖的影响

郝 铮^{1,2}, 林玉英², 刘俊彬², 杨升院², 杨凤连¹, 彭正强², 金 涛^{2*}

(1. 华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070; 2. 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)

摘要: 为了解 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 成虫发育与繁殖的影响, 本文以草地贪夜蛾 6 日龄蛹为对象, 比较不同辐照剂量下草地贪夜蛾自交种群的羽化率、翅畸形率、寿命、产卵量以及子代卵孵化率的差异。结果表明, 草地贪夜蛾成虫羽化率随着辐照剂量的升高而呈现降低的趋势, 其中 250 Gy、350 Gy、400 Gy 以及 500 Gy 剂量辐照下的羽化率分别降低至 72.8%、69.4%、69.4% 和 50.6%, 与对照组 (91.7%) 相比差异显著; 翅畸形率在 400 Gy 时值最高, 为 25.6%, 但与对照组相比并无显著差异; 其雌、雄成虫平均寿命均随辐照剂量的升高而缩短, 且辐照后处理组雌、雄成虫寿命均显著低于对照组成虫寿命; 雄虫日存活率在 100 Gy、200 Gy、300 Gy 和 500 Gy 处理条件下高于雌虫日存活率, 而 350 Gy 和 400 Gy 处理组, 以及对照组雌虫日存活率高于雄虫。草地贪夜蛾种群产卵雌虫数、单雌产卵量、及子代孵化情况与对照组相比差异显著, 300 ~ 500 Gy 的辐照剂量下, 亲代没有卵粒产出, 而 100 Gy 至 250 Gy 的辐照剂量下, 产卵量显著降低, 且在 100 Gy 时处理组的卵中有少量孵化。本文对草地贪夜蛾辐照不育剂量进行了初步评价, 为今后实现该虫不育技术防治提供科学参考。

关键词: 草地贪夜蛾; $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线; 辐照不育; 发育与繁殖; 成虫寿命

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 03-0548-08

Effects of $^{60}\text{Co}-\gamma$ irradiation on the development and reproduction of inbreeding population of *Spodoptera frugiperda*

HAO Zheng^{1,2}, LIN Yu-Ying², LIU Jun-Bin², YANG Sheng-Yuan², YANG Feng-Lian¹, PENG Zheng-Qiang², JIN Tao^{2*} (1. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Environment and Plant Protection Institute of China Academy of Tropical Agricultural Science, Key Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P. R. China, Hainan Key Laboratory for Monitoring and Control of Tropical Agricultural Pests, Haikou 571101, China)

Abstract: In order to understand the effects of $^{60}\text{Co}-\gamma$ radiation on the development and reproduction of the adult *Spodoptera frugiperda*, 6 day old pupae were irradiated with different doses of $^{60}\text{Co}-\gamma$ radiation to compare the differences on the adult emergence, wing deformity, longevity, egg production and offspring hatching rate of *S. frugiperda* in inbreeding population. Results showed that, emergence rate of adult *S. frugiperda* decreased gradually with the increase of irradiation dose, and emergence rate under 250 Gy,

基金项目: 国家重点研发计划 (2021YFD1400703)

作者简介: 郝铮, 女, 1997 年生, 河南南阳人, 硕士研究生, 研究方向为入侵害虫综合治理, E-mail: 1274678244@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 金涛, 博士, 副研究员, 研究方向为入侵害虫综合治理, E-mail: Jintao337@aliyun.com

收稿日期 Received: 2021-09-30; 接受日期 Accepted: 2021-12-14

350 Gy , 400 Gy and 500 Gy irradiation was significantly different from control group (91.7%) , which decreased into 72.8% , 69.4% , 69.4% and 50.6% , respectively. The rate of wing deformity was highest at 400 Gy with a value of 25.6% , was no significantly different founded from control group. Longevity of both female and male adults decreased with increasing irradiation doses , and the longevity of both female and male adults in the control group was significantly higher than treatment groups with different doses (7 doses) . Under treatment of 100 Gy , 200 Gy , 300 Gy and 500 Gy , daily survival rate of male adults was higher than female adults , while daily survival rate of female adults in 350 Gy , 400 Gy and control groups was higher than male adults. Compared with the control , there were significant differences in the number of females laying eggs , number of eggs laid by single females and hatching rate of their progeny in *S. frugiperda* population. By the treatment of 300 ~ 500 Gy radiation doses , there were no eggs produced by the parents , while under 100 ~ 250 Gy radiation doses , the number of eggs laid by the parents decreased significantly , and a small amount of eggs hatched in the 100 Gy treatment group. In this study , the radiation sterility dose of *S. frugiperda* was preliminarily investigated , which provided a scientific basis for the realization of sterility control technology of *S. frugiperda* in future.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; ^{60}Co - γ rays; irradiation sterility; development and reproduction; adult longevity

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) , 别名为秋黏虫 Fall Armyworm , 属鳞翅目夜蛾科 , 是一种具有极强迁飞扩散和繁殖能力的世界性重要害虫。该虫原产于美洲的热带和亚热带地区 (Sparks , 1979) , 于 2018 年 12 月首次入侵中国 (Sun *et al.* , 2019) , 对我国玉米 *Zea mays* L. 、高粱 *Sorghum bicolor* 等作物的生产造成了严重威胁。危害玉米时 , 1 ~ 3 龄幼虫取食叶肉、剩下叶表皮 , 形成“窗孔”状; 3 龄以上幼虫取食则形成叶片孔洞和心叶破烂 (姜玉英等 , 2019) 。目前主要采用化学药剂防治草地贪夜蛾 , 但其大量使用 , 会造成农药残留 , 并产生抗药性等问题。

昆虫辐照不育技术是利用高能射线和中子流等对目标昆虫的某个虫态进行辐照处理 , 使其生殖细胞的染色体发生断裂、易位 , 造成不对称组合 , 导致显性致死、当代或后代不能正常生殖 , 从而实现害虫防治的一种物理方法 , 其中最常用便是利用 Co 源发出的 γ 射线 (Dyck *et al.* , 2005) 。该技术具有对环境友好、专一性强且防治效果持久的特点 , 越来越受到科研工作者的关注 (杨红霞等 , 2018) 。目前 , 昆虫辐照不育技术已经在桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 、采采蝇 (奥斯汀舌蝇) *Glossina austeni* 、棉红铃虫 *Pectinophora gossypiella* 、苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* 等多种农林及卫生害虫防治中取得了成效 (Alphey , 2010; Botto and Glaz , 2010) 。对于草地贪夜蛾的辐照不

育技术研究 , 国外的报道多集中于 30 年前。Carpenter *et al.* (1983) 首次报道 , 采用剂量为 60 Gy、80 Gy 和 100 Gy 的 γ 射线辐照草地贪夜蛾羽化后 1 ~ 12 h 雄虫后 , 使其与未受辐照处理的雌成虫交配 , 发现其繁殖力及子代卵的孵化率降低 , 并推断需要释放 60 000 头完全不育的雄性 , 才能达到释放 9 000 头受 100 Gy 剂量辐照雄虫所达到的效果; Carpenter *et al.* (1986) 又解析了辐照对亲代繁殖力的影响 , 发现草地贪夜蛾雌雄成虫同在 100 Gy 剂量处理下 , 受辐照亲代的繁殖力雌性大于雄性 , 但对受辐照亲代为雄性的后代遗传性影响更显著 , 并表明了释放辐照雄性需要较高推广成本; Snow *et al.* (1972) 发现 , 经 350 Gy 剂量辐照后的草地贪夜蛾雄性竞争能力显著降低 , 仅为正常雄性的 0.46 倍; Carpenter *et al.* (1997) 的报道表明 , 在草地贪夜蛾雌虫接受两次交配的条件下 , 与受 100 Gy 和 150 Gy 剂量辐照的雄虫交配产生的后代数量 , 前者显著高于后者。这些报道集中考虑了不同辐照剂量对草地贪夜蛾生物学参数的影响。

本文以入侵和发生在我国草地贪夜蛾 6 日龄蛹为试验对象 , 在设置 100 ~ 500 Gy 阶梯强度的 ^{60}Co - γ 射线辐照条件下 , 分析 ^{60}Co - γ 射线辐照对其自交种群成虫发育与繁殖以及子代产卵与孵化的影响 , 以期草地贪夜蛾不育剂量的筛选提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

供试的草地贪夜蛾卵块采自海南省儋州市两院沙田区的甜玉米地,带回中国热带农业科学院环境与植物保护研究所的隔离检疫室,以新鲜的玉米叶片作为其食物来源,在体积为 15 cm × 25 cm × 37 cm、带纱网通气孔的保鲜盒内饲养,并标记好采集日期;当其生长至 5~6 龄幼虫时转移到铺有沙子(已灭菌)的保鲜盒内,化蛹备用。饲养条件:温度为 26℃ ± 2℃,相对湿度为 75%~80%,光周期为 16 L:8 D。

1.2 辐照处理

挑选同一天同批次化蛹的虫蛹 400 头,雌雄比例 1:1,分为 7 个处理组和 1 个对照组,每组 50 头蛹(5 头作备用)。将虫蛹放置于玻璃管内,于人工气候箱中培养 6 d;再分别放置于牛皮纸袋内,于海南省海口市核海原辐照厂进行辐照处理。本试验共设有 100、200、250、300、350、400 及 500 Gy 7 个辐照剂量。辐照处理利用水下 7.5 m 深的 Co 源,剂量率设置为 4 Gy/min,并配有 30~40 根误差为 ± 0.1 Gy 的剂量计以保证精度。将 0 Gy 设为空白对照,每个处理设 3 次重复。

1.3 试验方法

将受辐照处理的草地贪夜蛾蛹带回实验室后,连同对照组按不同剂量梯度,选取其中的 45 头蛹,分为 3 个重复,每组 15 头,统计亲代的羽化率和翅畸形率;对于雌、雄成虫平均寿命以及单雌产卵量的统计则根据辐照剂量的不同,每处理组 5 对虫蛹,设 3 个重复,对羽化后的成虫依次编号,每个塑料纸筒(塑料纸筒以直径为 9 cm 的塑料培养皿为底,将打印纸卷成柱形,高度设置为 12.5 cm)内引入 1 对成虫,根据雌雄虫存活情况,适时对死亡雄虫进行补充替换。内置蘸有 10% 蜂蜜水脱脂棉球供其补充营养,并放置少量新鲜玉米叶片引诱产卵,并使各个剂量梯度的雌雄成虫进行自交,逐日记录下成虫产卵量、子代卵粒孵化率、子代化蛹率、子代成虫产卵量等各项生长发育指标。翅畸形判断标准:成虫羽化后单翅或双翅不能完全展开,且不能在饲养盒的底部或侧面进行飞行转移。

具体计算公式如下:

蛹羽化率(%) = (羽化成虫总数/蛹总数) × 100

雌(雄)成虫死亡率(%) = (每日死亡成虫数/总雌(雄)成虫数) × 100

子代孵化率(%) = (孵化幼虫数/总卵粒数) × 100

成虫翅畸形率(%) = (翅畸形成虫数/羽化成虫总数) × 100

1.4 数据处理

将每天观察记录的结果录入 Microsoft Office Excel 2010 中,采用 SPSS 26.0 软件对草地贪夜蛾蛹羽化率、成虫死亡率、翅畸形率、产卵量以及子代孵化率等数据进行单因素方差分析,其中羽化率、成虫死亡率、翅畸形率和子代孵化率等百分数,先进行反正弦平方根转换后,用 Duncan 新复极差法检验其差异显著性($P < 0.05$ 为差异显著),利用 Origin Pro 2021 软件绘制存活率随羽化后日龄变化折线图。

2 结果与分析

2.1 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 射线辐照对草地贪夜蛾蛹羽化率和翅畸形率的影响

草地贪夜蛾 6 日龄蛹经 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 射线辐照后,随着辐照剂量的不断升高,草地贪夜蛾成虫羽化率整体上呈现降低的趋势,辐照剂量为 250 Gy、350 Gy、400 Gy 和 500 Gy 时其羽化率分别为 72.8%、69.4%、69.4% 和 50.6%,与对照组(91.7%)相比差异显著;翅畸形率则随着辐照剂量的升高整体上呈现上升趋势,其中剂量 400 Gy 时值最大为 25.6%,250 Gy 时的值次之,各个辐照处理组的翅畸形率数值与对照组相比无显著差异(表 1)。

2.2 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 射线辐照对草地贪夜蛾成虫寿命的影响

草地贪夜蛾 6 日龄蛹经 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 射线辐照后,随着辐照剂量的不断升高,草地贪夜蛾成虫平均寿命整体上是缩短的,未受辐照的雌、雄成虫平均寿命均显著高于经不同辐照剂量(7 个剂量)处理的雌、雄成虫寿命;其中辐照剂量为 500 Gy 和 250 Gy 时,草地贪夜蛾成虫平均寿命仅为 3.6 d 和 3.8 d,与未受辐照的成虫平均寿命(11.3 d)之间存在显著差异;在辐照剂量为 350 Gy 时,其雌成虫平均寿命为 8.0 d,显著低于对照的 12.5 d,但与受低于该剂量辐照的雌成虫寿命相比反而有所延长(表 2)。

表 1 ^{60}Co - γ 射线辐照对草地贪夜蛾成虫羽化率和翅畸形率的影响
Table 1 Effect of ^{60}Co - γ irradiation on the feathering and deformation rate of adult *Spodoptera frugiperda*

剂量 (Gy) Dose	平均羽化数量 (头) Average number of emergence	羽化率 (%) Emergence rate	平均翅畸形数量 (头) Average number of deformity	翅畸形率 (%) Deformity rate
500	7.6 ± 1.4	50.6 ± 9.2 c	0.8 ± 0.4	11.8 ± 6.0
400	10.4 ± 0.4	69.4 ± 2.8 bc	2.6 ± 1.0	25.6 ± 9.9
350	10.4 ± 0.7	69.4 ± 4.7 bc	0.8 ± 0.4	8.1 ± 4.1
300	12.3 ± 0.3	82.2 ± 2.2 ab	0.8 ± 0.4	6.7 ± 3.6
250	10.9 ± 0.7	72.8 ± 4.3 b	2.8 ± 0.3	25.1 ± 1.2
200	11.9 ± 1.2	79.4 ± 8.2 ab	2.4 ± 0.9	20.0 ± 6.0
100	11.8 ± 0.7	78.9 ± 4.8 ab	2.5 ± 0.8	20.6 ± 5.1
0	13.8 ± 0.4	91.7 ± 2.5 a	0.9 ± 1.0	6.7 ± 0.7

注: 表中所列的数据为平均值 ± 标准误。同列数据后标有不同小写字母表示在 $P = 0.05$ 水平上差异显著。表 2 和表 3 同。
Note: Data in the table were mean ± SE and those in the same column with different lowercase letters indicated significant differences at the $P = 0.05$ level. Same for Tables 2 and Table 3.

表 2 ^{60}Co - γ 射线辐照对草地贪夜蛾成虫寿命的影响
Table 2 Effect of ^{60}Co - γ irradiation on the longevity of adult *Spodoptera frugiperda*

剂量 (Gy) Dose	羽化成虫 数量 (头) Number of emergence adults	雌成虫 数量 (头) Number of female adults	雄成虫 数量 (头) Number of male adults	成虫平均寿命 (d) Average adult longevity	雌成虫平均寿命 (d) Average adult female longevity	雄成虫平均 寿命 (d) Average adult male longevity
500	13	6	7	3.6 ± 0.5 c	3.8 ± 0.9 b	3.4 ± 0.6 b
400	20	13	7	4.9 ± 0.7 bc	5.2 ± 0.9 b	4.1 ± 1.0 b
350	20	12	8	7.2 ± 1.3 b	8.0 ± 1.9 b	6.0 ± 1.5 b
300	25	10	15	4.5 ± 0.7 bc	3.7 ± 0.9 b	5.1 ± 0.9 b
250	23	12	11	3.8 ± 0.8 c	4.7 ± 1.4 b	2.9 ± 0.4 b
200	27	18	9	4.6 ± 0.7 bc	4.2 ± 1.0 b	5.2 ± 1.0 b
100	25	15	10	5.6 ± 0.7 bc	5.3 ± 1.0 b	6.0 ± 0.9 b
0	27	13	14	11.3 ± 1.2 a	12.5 ± 1.9 a	10.2 ± 1.6 a

2.3 ^{60}Co - γ 射线辐照对草地贪夜蛾成虫存活率的影响

草地贪夜蛾 6 日龄蛹经 ^{60}Co - γ 射线辐照后, 与对照组相比, 经由 100 Gy、200 Gy、300 Gy 以及 500 Gy 辐照剂量处理的草地贪夜蛾成虫, 绝大多数的雄虫日存活率高于雌虫, 仅在 100 Gy 处理组成虫羽化后第 9 天和第 10 天以及 200 Gy 处理组成虫羽化后第 12 天和第 13 天, 雌虫的存活率高于雄虫; 经由 350 Gy 和 400 Gy 剂量处理的草地贪夜蛾成虫存活率与对照组走势相似, 雌虫日存活率高

于雄虫与雄虫日存活率高于雌虫的天数各占一半。从整体上来看, 辐照后的草地贪夜蛾成虫与对照组相比, 其存活率在数日内急剧下降, 在 500 Gy 和 400 Gy 处理组, 分别至羽化后第 8 天和第 12 天雌雄虫均完全死亡, 而对照组雄虫和雌虫分别至羽化后第 21 天和第 33 天全部死亡, 寿命显著长于各辐照处理组; 其中值得注意的是, 350 Gy 处理组有 1 头雌成虫至羽化后第 23 天死亡, 显著高于其他处理组的雌成虫寿命 (图 1)。

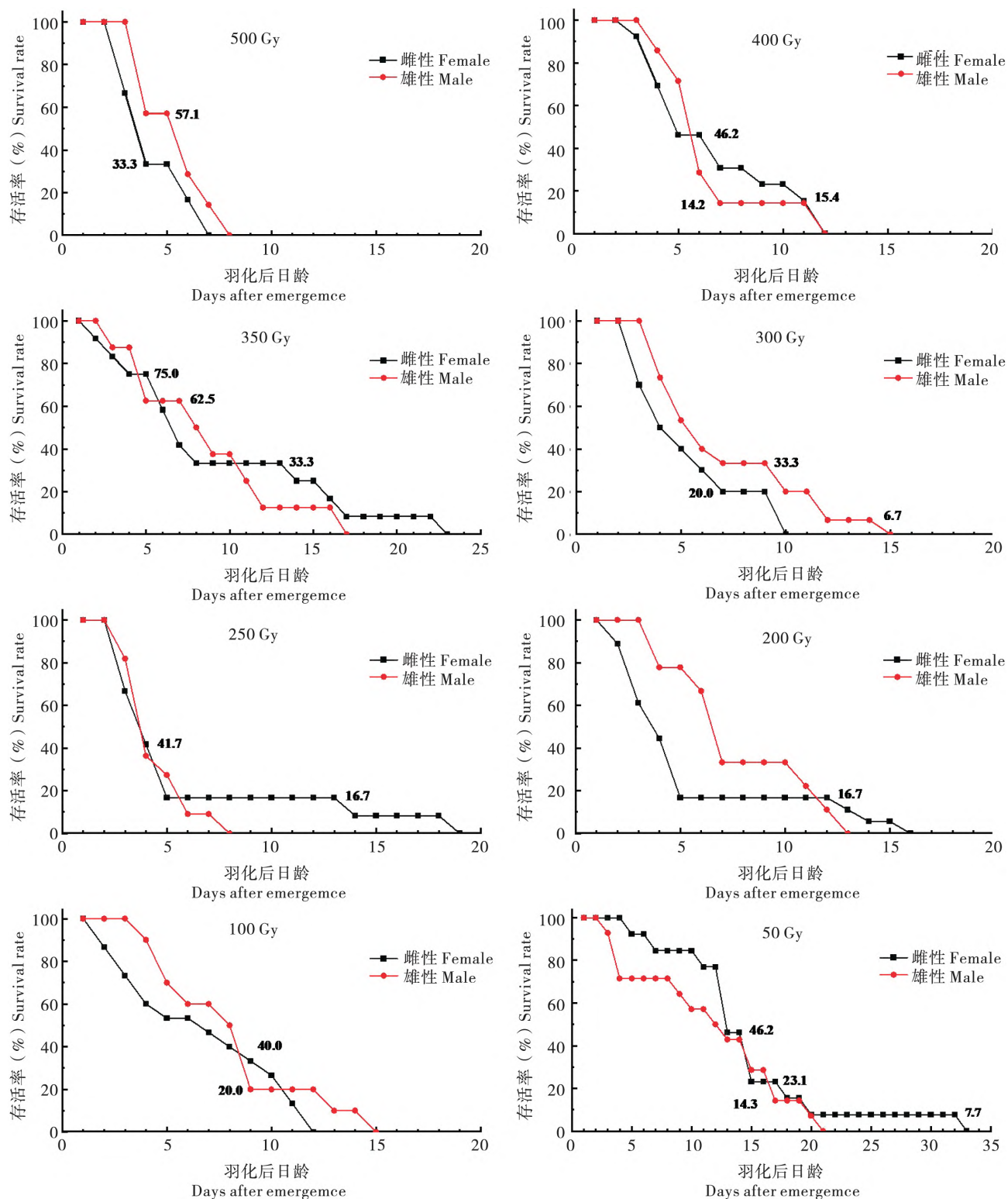


图1 不同剂量 ^{60}Co - γ 射线辐照对草地贪夜蛾成虫存活率的影响

Fig. 1 Effect of different doses of ^{60}Co - γ irradiation on the survival rate of adult *Spodoptera frugiperda*

2.4 ^{60}Co - γ 射线辐照对草地贪夜蛾产卵量和孵化率的影响

草地贪夜蛾6日龄蛹经 ^{60}Co - γ 射线辐照后,随着辐照剂量的不断升高,草地贪夜蛾成虫的单雌

产卵量逐渐降低,在300 Gy及以上剂量处理下雌成虫产卵量为零;而100~250 Gy剂量处理下,产卵雌虫数分别为1头、2头和1头,平均产卵量分别为3.0粒、18.5粒和13.0粒,仅在100 Gy处理

下的 3 粒卵中有 2 粒卵孵化, 与对照组有 12 头雌虫产卵、平均产卵量 1 299.5 粒以及 86.1% 的卵孵化率比较, 具有明显的差异。表明了 100 ~ 500 Gy 的 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照对草地贪夜蛾自交种群的子代繁育存在显著影响 (表 3)。

表 3 不同剂量 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照对草地贪夜蛾产卵量和 F_1 孵化率的影响
Table 3 Effect of different doses of $^{60}\text{Co}-\gamma$ irradiation on the egg production and F_1 hatching rate of *Spodoptera frugiperda*

剂量 (Gy) Dose	交配对数 Mating number	产卵雌虫数 (头) Number of spawning females	总产卵量 (粒) Egg laying amount	平均产卵量 (粒) Number of eggs laid per female	孵化率 (%) Hatching rate
500	6	0	0	0	0
400	6	0	0	0	0
350	7	0	0	0	0
300	6	0	0	0	0
250	9	1	13	13.0 ± 0.0	0
200	6	2	37	18.5 ± 1.5	0
100	8	1	3	3.0 ± 0.0	66.7
0	13	12	15 594	1 299.5 ± 190.8	86.1

3 结论与讨论

$^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线是昆虫不育技术中应用最广泛的辐射源, 它较为稳定且穿透性能强 (李娜, 2021)。昆虫辐照不育技术主要是通过释放大量的不育昆虫, 使其与野生种群进行交配竞争, 从而使野生害虫不能产卵抑或是产的卵不能正常孵化, 从而达到降低种群数量和控制害虫的目的 (黄聪等, 2014)。为实现这一效果, 不仅要考虑辐照虫态、条件、剂量率等问题, 更应把握好辐照剂量。本文选用草地贪夜蛾 6 日龄蛹作为辐照对象, 正是为了尽量减少辐照对昆虫体细胞造成的损伤, 以保证不育成虫的质量 (王华嵩等, 1997)。而对于辐照剂量选择问题, 由于鳞翅目害虫雄虫的全辐射不育剂量多在 300 ~ 600 Gy, 高于双翅目害虫一般的 25 ~ 100 Gy 范围 (路大光和王华嵩, 2002)。本文据此选用 100、200、250、300、350、400 和 500 Gy 这 7 个剂量, 明确其 γ 射线辐照对草地贪夜蛾自交种群的成虫及子代的影响, 表明了不同剂量处理能显著影响草地贪夜蛾自交种群的生长发育和繁殖指标。

本文采用不同剂量 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线对草地贪夜蛾 6 日龄蛹进行辐照, 经观察记录及数据分析发现: 随着辐照剂量的升高, 草地贪夜蛾羽化率逐渐降

低, 且 500 Gy 时的羽化率为 50.6%, 与对照组 (91.7%) 存在显著差异; 而翅畸形率随着辐照剂量的升高呈现上升趋势, 翅畸形率及羽化率结果表明 γ 射线辐照会对草地贪夜蛾的体细胞发育造成一定损伤, 因此在筛选不育剂量时应在满足子代不育的前提下, 尽量选择羽化率和翅畸形率与对照组相比差异不显著的剂量; 草地贪夜蛾成虫平均寿命随着辐照剂量升高而呈缩短趋势, 剂量为 500 Gy 时的雌虫平均寿命仅为 3.8 d, 雄成虫也只有 3.4 d, 显著低于对照组的成虫平均寿命 (雌虫 12.5 d; 雄虫 10.2 d); 草地贪夜蛾存活率折线图则表明其随着辐照剂量升高呈现急剧下降趋势, 但存在一个乃至多个平缓区段, 其中辐照剂量为 250 Gy 时的存活率变化则较为特殊, 在初羽化的 5 d 内, 雌虫和雄虫的存活率迅速下降, 雌虫在降至 16.7% 后才趋于平缓。综合上述结果, 即 γ 射线辐照对草地贪夜蛾羽化率、翅畸形率、成虫寿命和日存活率的影响, 可概括为随着辐照剂量的不断升高, 其羽化率逐渐降低, 翅畸形率呈现上升的趋势, 成虫平均寿命逐渐缩短, 这与前人的研究结果是一致的。顾伟平等 (2000) 用 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线处理棉铃虫 *Heliothis armigera* 蛹, 其成虫的羽化率随着剂量的升高而降低, 畸形率和死蛹率增加; 罗玲艳 (2017) 用 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照处理小菜蛾 *Plutella xylostella* 6 日龄蛹, 其成虫的羽化率亦

随辐照剂量的增加而降低, 100 Gy 和 150 Gy 处理下, 雄虫寿命分别为 14.17 d、13.03 d, 与对照组 13.5 d 相比无显著差异, 当剂量大于等于 200 Gy 时, 寿命随剂量的增加而减少。

对产卵量及子代孵化率数据分析可知, 草地贪夜蛾在不同剂量处理下的产卵量差异极为显著, 300 ~ 500 Gy 剂量下雌虫不产卵, 100 ~ 250 Gy 处理时产卵量也显著低于对照; 其中值得注意的是, 100 Gy 剂量处理下仅有 1 头雌虫产下 3 粒卵, 有 2 粒在第 29 天后才孵化为幼虫, 如果并非偶然现象, 下一步应增加供试虫量, 如何利用辐照技术来延缓草地贪夜蛾卵的发育, 值得进一步探究。昆虫不育性在一定剂量范围内, 随着辐照剂量的升高而逐渐增强的现象也在许多报道中得到了证实。Sallam *et al.* (1998) 对棉花害虫埃及金刚钻 *Earias insulana* 采用 100 Gy、150 Gy 和 200 Gy 剂量辐照处理来探究其遗传不育的研究结果表明, 其不育程度总的趋势是随辐照剂量的增加而提高; 保加利亚的 Genchev *et al.* (1996) 研究的梨小食心虫 *Grapholita molesta* 雌虫用 100 Gy 辐照处理, 其不育率为 98.5% ~ 99%; 辐照剂量增到 150 Gy 时, 不育率达到 100%, 亦表明其不育率在随剂量升高而增大。

一般将毒物兴奋效应 (Hormesis 效应) 定义为化学物对生物体在高剂量时表现负面影响 (如生长、发育受抑), 但在低剂量时却表现为有益作用 (如刺激生长发育) 的现象 (Gentile, 2001)。现在都认为 Hormesis 是生物体的一种适应性反应即在致毒因素 (包括毒物、辐射等) 不同的剂量或强度范围, 生物具有不同的剂量 - 反应关系 (Calabrese, 2004)。本研究中出现草地贪夜蛾成虫的寿命并不是完全随着辐照剂量升高而逐步缩短的现象, 并存在一种以双相剂量 - 反应曲线为特征的适应性反应。本文中在测试中间剂量 350 Gy 的成虫寿命为 7.2 d, 高于其它处理组但低于对照组, 且 300 Gy 处理组和 350 Gy 处理组的存活率折线走势与其它处理组相比较为平缓, 相对于低剂量辐照处理的结果, 推测可能出现类似的毒物兴奋效应, 即草地贪夜蛾受到辐照应激, 最初的生理抑制反应经过某一阈值后, 会出现相对补偿效益, 而这个补偿效应会存在一个阈值区间, 形成相对刺激效应。这与 Calabrese (1999) 表述的毒物兴奋效应呈现了一种过度补偿效应的观点具有一定的类似性, 但并没有达到过度补偿的效果。

本文研究的是受射线辐照的草地贪夜蛾对应剂量下的自交情况, 结果表明对当代成虫寿命及产卵量的影响极为显著, 此结果启示在对草地贪夜蛾合适的不育剂量进行筛选时, 应当选取对其亲代各项生长发育指标影响较小的剂量, 以保证接受辐照处理蛾的有效交配及产卵。后续研究将进一步关注低剂量辐照草地贪夜蛾的生物学效应, 以期为未来进行辐照不育防控草地贪夜蛾的田间应用提供科学参考。

参考文献 (References)

- Alphey L, Benedict M, Bellini R, *et al.* Sterile-insect methods for control of mosquito-borne diseases: An analysis [J]. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 2010, 10 (3): 295 - 311.
- Botto E, Glaz P. Potential for controlling codling moth *Cydia pomonella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Tortricidae) in Argentina using the sterile insect technique and egg parasitoids [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2010, 134 (3): 251 - 260.
- Calabrese EJ. Evidence that hormesis represents an "overcompensation" response to a disruption in homeostasis [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1999, 42 (2): 135 - 137.
- Calabrese EJ. Hormesis: From marginalization to mainstream: A case for hormesis as the default dose - response model in risk assessment [J]. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2004, 197 (2): 125 - 136.
- Carpenter EJ, Rayani HID, Nelly N, *et al.* Effect of substerilizing doses of radiation on sperm precedence in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1997, 90 (2): 444 - 448.
- Carpenter JE, Young JR, Knippling EF, *et al.* Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae): Inheritance of gamma - induced deleterious effects and potential for pest control [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1983, 76 (2): 378 - 382.
- Carpenter JE, Young JR, Sparks AN. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae): Comparison of inherited deleterious effects in progeny from irradiated males and females [J]. *Narnia*, 1986, 79 (1): 46 - 49.
- Dyck VA, Hendrichs J, Robinson AS. Sterile Insect Technique [M]. Netherlands: Springer, 2005.
- Genchev N, *et al.* Feasibility of controlling the oriental fruit moth by the sterile insect release method: Present status of the research work in Bulgaria: IAEA - D4 - RC - 561 [R]. Working Material, 1996: 110 - 122.
- Gentile JH. The implications of hormesis to ecotoxicology and ecological risk assessment (ERA) [J]. *Human & Experimental Toxicology*, 2001, 20 (10): 513 - 515.
- Gu WP, Yang RX, Xia DR. Study on sterile effect of cotton bollworm *Heliothis armigera* by irradiation [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2000, 1: 40 - 43. [顾伟平, 杨荣新, 夏大荣, 等. 棉铃虫辐射不育效应研究 [J]. 核农学报, 2000, 1:

- 40-43]
- Huang C, Wang FL, Zhang GF, *et al.* Effects of gamma radiation with sterile dose on survival of *Bactrocera minax* (Enderlein) adult during premating period [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 36 (2): 213-218. [黄聪, 王福莲, 张桂芬, 等. 不育剂量 γ 射线辐照对柑橘大实蝇交配前期存活的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (2): 213-218]
- Jiang YY, Liu J, Zhu XM. Analysis of the dynamics of the occurrence and future trends of the *Spodoptera frugiperda* in China [J]. *China Plant Protection*, 2019, 39 (2): 33-35. [姜玉英, 刘杰, 朱晓明. 草地贪夜蛾侵入我国的发生动态和未来趋势分析 [J]. 中国植保导刊, 2019, 39 (2): 33-35]
- Li N. Effect of Irradiation on the Fecundity of *Grapholita molesta* [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2021. [李娜. 辐照对梨小食心虫繁殖的影响 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2021]
- Lu DG, Wang HS. A review and perspectives of research on radiation genetic sterility in lepidopteran pests [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2002, 1: 58-63. [路大光, 王华嵩. 鳞翅目害虫辐射遗传不育研究的回顾与展望 [J]. 核农学报, 2002, 1: 58-63]
- Luo LY. Effects of ^{60}Co - γ Ray on Growth and Development of *Plutella xylostella* and Determination of Sub-sterility Dose of Irradiation [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2017. [罗玲艳. ^{60}Co - γ 射线对小菜蛾生长发育的影响及亚不育剂量筛选 [D]. 广州: 华南农业大学, 2017]
- Sallam HA, El-Shall SS, Mohamad HF, *et al.* Inherited sterility in progeny of Gamma irradiated male Spiny bollworm, *Earias insulana* Boisd: IAEA - CN - 71 [R]. Vienna: Programme Book of Abstracts, 1998, 17.
- Sparks AN. A review of the biology of the fall armyworm [J]. *The Florida Entomologist*, 1979, 62 (2): 82-87.
- Sun XX, Hu CL, Jia HR, *et al.* Case study on the first immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* invading into China [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, 18: 2-10.
- Wang HS, Liu QR, Liu XH. Effect of irradiation on the number of nucleated spermatozoa in the F_1 generation of *Ostrinia furnacalis* [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 1997, 6: 21-22. [王华嵩, 刘琼茹, 刘晓辉. 辐照对亚洲玉米螟 F_1 代雄虫有核精子数量的影响 [J]. 核农学报, 1997, 6: 21-22]
- Wendell SJ, Young JR, Lewis WJ, *et al.* Sterilization of adult fall armyworms by gamma irradiation and its effect on competitiveness [J]. *Narnia*, 1972, 65 (5): 1431-1433.
- Yang HX, Wu QS, Shi S. Effect of ^{60}Co - γ irradiation treatment on the sterility of pumpkin fruit fly, *Bactrocera (Zeugodacus) tau* (Walker) and quality of pumpkin [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2018, 40 (4): 815-819. [杨红霞, 吴启松, 史松. ^{60}Co - γ 射线辐照对南瓜实蝇的不育效果及对南瓜品质的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2018, 40 (4): 815-819]