

$^{60}\text{Co}\gamma$ 射线和电子束对红棕象甲雄虫的不育效应

李庆^{1,2,3}, 李朝绪^{2,3*}, 吕朝军^{2,3}, 钟宝珠^{2,3}, 黄山春^{2,3}, 高熹¹, 覃伟权^{2,3*}

¹云南农业大学, 云南昆明 650201; ²中国热带农业科学院椰子研究所, 海南文昌 571339;

³椰子国家工程研究中心, 海南文昌 571339

摘要:【目的】红棕象甲在我国的危险性和潜在风险性日益突出, 应用辐照不育技术控制该虫是绿色防治的重要途径之一。本研究筛选对红棕象甲雄成虫的射线最佳辐照剂量, 为该项技术的实际应用提供科学依据。【方法】通过室内试验, 测定并分析 2 种射线不同辐照剂量 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线和电子束辐照红棕象甲雄成虫对红棕象甲产卵量、卵孵化率、寿命的影响。【结果】处理虫寿命、产卵量和卵孵化率都随 2 种射线剂量的增加而逐渐降低, 与对照组具有显著差异。电子束剂量为 100、150、200 和 250 Gy 以及 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线剂量为 100、140、180 Gy 时, 卵孵化率为 0。对 2 种辐照射线进行对比, 当雌: 雄: 辐照雄虫为 1: 1: 6 时, 100 Gy $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线辐照对红棕象甲的防治效果较好, 雌雄交配后卵的孵化率仅为 2.44%。【结论】实际应用中应选择剂量 100 Gy $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线辐照为宜。

关键词: 红棕象甲; $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线; 电子束; 不育效应



开放科学标识码
(OSID 码)

Sterile effect on $^{60}\text{Co}\gamma$ -ray and electron beam of red palm weevil *Rhyncophorus ferrugineus*

LI Qing^{1,2,3}, LI Chaoxu^{2,3*}, LÜ Chaojun^{2,3}, ZHONG Baozhu^{2,3},
HUANG Shanchun^{2,3}, GAO Xi¹, QIN Weiquan^{2,3*}

¹Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China; ²Coconut Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Science, Wenchang, Hainan 571339, China; ³National Engineering Research Center of Coconut, Wenchang, Hainan 571339, China

Abstract: 【Aim】The red palm weevil (*Rhyncophorus ferrugineus*) is a pest and bears potential risks in China. Sterility irradiation technology is considered an environmentally friendly alternative to insecticides in order to control this pest. In this study, the irradiation dosage of two irradiation treatments on *R. ferrugineus* was tested and provided a foundation for the practical application of this technology to control *R. ferrugineus*. 【Method】The effects were evaluated of $^{60}\text{Co}\gamma$ -ray and electron beam radiation at different dosages on *R. ferrugineus* longevity, egg production, and egg hatching. 【Result】The lifespan, egg production, and number of hatched eggs of *R. ferrugineus* decreased with increasing dosage of the two types of radiation. Electron beam dosages of 100, 150, 200, and 250 Gy and $^{60}\text{Co}\gamma$ -ray radiation dosages of 100, 140, and 180 Gy, no eggs hatched. When the ratio of females to normal males to irradiated males was 1: 1: 6, $^{60}\text{Co}\gamma$ -ray at 100 Gy showed higher control efficiency, and only 2.44% of the eggs hatched. 【Conclusion】 $^{60}\text{Co}\gamma$ -ray at 100 Gy is recommended for further testing as a future practical application.

Key words: *Rhyncophorus ferrugineus*; $^{60}\text{Co}\gamma$ -ray; electron beam; sterile effect

收稿日期 (Received): 2021-04-15 接受日期 (Accepted): 2021-06-10

基金项目: 海南省重大项目 (ZDKJ201817); 热带木本油料产业技术创新团队——热带木本油料主要病虫害防控技术研究 (1630152017010); “文椰 4 号”椰子新品种丰产栽培技术示范与推广 ([2018]TG04)

作者简介: 李庆, 女, 研究方向: 植物保护。E-mail: 2323428725@qq.com

* 通信作者 (Author for correspondence), 李朝绪, E-mail: chaoxu998@163.com; 覃伟权, E-mail: qwq268@163.com

红棕象甲 *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) 属鞘翅目 Coleoptera 象甲科 Curculionidae, 是我国重要的检疫害虫和国际上重要的棕榈害虫(陈曦, 2017), 对椰子 *Cocos nucifera* L.、油棕 *Elaeis guineensis* Jacq.、椰枣 *Phoenix dactylifera* L. 等棕榈植物具有致死性高、危害性大、前期危害症状不显著等特点(韩宙等, 2013; 李清鹏和刘振旺, 2018; 吕朝军等, 2020)。目前, 红棕象甲的防治主要遵循“预防为主, 综合防治”的原则(赖俊岩, 2018; 杨国玲, 2020), 防治以信息素诱集、茎干药剂注射等为主(周继中和叶醒波, 2019)。其中, 信息素诱集虽然可以降低成虫基数, 但对于茎干内危害的幼虫无效, 而药剂茎干注射法可杀死树干内的幼虫, 却会对植株形成伤害并有农药残留的风险(钟宝珠等, 2020)。在生物防治方面, 目前主要集中在真菌、昆虫、线虫以及细菌类天敌的室内实验, 但其野外防控效能未曾得到验证(郭雅洁等, 2018; 钟宝珠等, 2020)。

昆虫辐射不育技术是指利用高能射线包括 γ 射线、X 射线、 α 射线、 β 射线和中子流等, 对目标害虫(主要是雄虫)的某个虫态进行辐照处理, 导致其显性致死、当代或后代不能正常生殖(王华嵩, 1998; 钟国华等, 2012)。将经过一定辐照剂量处理的害虫投放到自然种群中进行交配, 造成后代不育, 重复几个世代后, 就可达到减少害虫种群数量的目的(张家侠等, 2014)。昆虫辐射不育技术是生物和物理防治方法的创新, 与当今生产实践相结合, 具有无抗性、防效持久、专一性强、对人畜和天敌安全等特点。20 世纪 50 年代, 美国应用辐射不育技术成功消灭了家畜害虫螺旋蝇 *Cochliomyia hominivorax* (Coquerel) (Botto & Glaz, 2010)。从此, 辐射不育技术引起了研究人员的高度重视并广泛用于害虫防治, 先后成功防治了地中海果蝇 *Ceratitis capitata* (Wiedemann)、苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* (L.) 等(陈美红和谢吉平, 2004; Botto & Glaz, 2010)。国内也有如棉铃虫 *Helicoverpa armigera* Hübner(闰硕等, 2012)、中国野蚕 *Bombyx mandarina* Moore(杨荣新等, 2000)、桑天牛 *Apriona germari* (Hope) (苏远达, 2011; 唐燕平等, 2014)、光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) (李咏军等, 2006)、松墨天牛 *Monochamus alternatus* Hope (牟建军等, 2005) 等雄性不育的相关报道。

本研究尝试利用电子束和 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线对红棕象甲进行辐射不育技术的研究, 即在室内利用电子束和 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线对红棕象甲雄成虫进行辐照处理, 分析 2 种辐照方法对红棕象甲雄虫的生殖力、寿命的影响, 筛选最佳的辐照射线和剂量, 为红棕象甲辐射不育防控技术的野外应用提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 供试虫源 实验成虫由中国热带农业科学院椰子研究所植物保护中心实验室繁育。

1.1.2 辐照源及剂量 辐照源为剂量率为 $2\text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$ 的 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线和 $10\text{ MeV} \cdot \text{kW}^{-1}$ 的高能电子加速器。随机取初羽化 5 d 的红棕象甲雄虫, 分别用 20、60、100、140、180 Gy 的 $^{60}\text{Co}\gamma$, 50、100、150、200、250 Gy 的电子束进行处理。

1.2 实验方法

1.2.1 2 种射线对红棕象甲成虫生殖力及寿命的影响 分别将不同剂量辐照后的红棕象甲雄成虫与正常雌成虫配对, 放置于昆虫饲养瓶中; 同时设置对照组(正常雌雄配对), 处理组与对照组用纱布球蘸取 20% 蜂蜜水饲养。对饲养瓶进行编号, 每 2 d 更换 1 次纱布球, 从更换的纱布球中取出卵, 放在培养皿(用加有蒸馏水的滤纸保湿)中, 并置于 $(27 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、光照 14L: 10D、RH70%~80% 环境下继续培养, 记录产卵数及孵化的幼虫数, 统计处理虫的寿命。根据卵孵化率以及处理虫寿命筛选出对红棕象甲雄成虫具有较好不育效果的辐照射线和剂量。每剂量辐照 6 头雄虫, 重复 3 次。

1.2.2 不同比例的射线处理对红棕象甲生殖力的影响 从上述实验中筛选出具有较好不育效果的射线对雄虫进行辐照, 然后用未处理雌、雄虫与 2 种辐射虫进行配对饲养。根据卵孵化率进行 2 种辐射虫竞争力的测定, 测定方法参照牟建军(2005)和苏远达(2011), 在 7 个养虫盒内分别放入 3 对未经任何处理、自然羽化 5 d 的红棕象甲雌、雄成虫。其中 1 个养虫盒作为对照(雌: 雄为 1: 1), 3 个养虫盒分别放入 12、15 和 18 头经过 100 Gy 电子束处理过的雄虫(雌: 雄: 辐照雄虫分别为 1: 1: 4、1: 1: 5、1: 1: 6)。另外 3 个养虫盒分别放入 12、15 和 18 头经过 100 Gy $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线辐照处理过的雄虫(雌: 雄: 辐照雄虫分别为 1: 1: 4、1: 1: 5、1: 1: 6), 实验 3 次重复。在每个养虫盒中放置 3

个直径大小为 2 cm 左右的纱布球,纱布球蘸取蜂蜜水供红棕象甲成虫取食和产卵。饲养 3 d 后,取出纱布球,记录产卵量。将卵置于培养皿(用加有蒸馏水的滤纸保湿)中,置于(27±1)℃、光照 14L:10D、RH50%~70%的室内,记录卵的孵化情况,计算孵化率。

1.3 数据统计与分析

采用 SPSS 26 进行数据处理与统计分析,相同指标进行单因素方差(Duncan's 新复极差法多重检验)分析。

表 1 不同剂量电子束对红棕象甲雄虫生殖力的影响

Table 1 Effect of different electron beam dosages on the fecundity of *M. alternatus*

辐照剂量 Irradiation dosages/Gy	产卵数/粒 Number of eggs	平均孵化卵量/粒 Average number of hatching eggs	孵化率 Egg hatching rate/%
CK	237.33±16.46a	190.33±13.63a	80.19±3.98a
50	144.83±3.76b	21.67±2.58b	14.98±1.96b
100	129.50±3.76c	0c	0c
150	95.00±8.02d	0c	0c
200	66.83±3.52e	0c	0c
250	64.50±3.65e	0c	0c

表中数据表示平均值±标准误,同列数据后不同英文字母者表示在 0.05 水平上差异显著(Duncan's)。

The data in the table represent mean±standard error. The different letters indicate significant differences at the $P=0.05$ level (Duncan's test).

2.2 不同剂量⁶⁰Co γ 射线对红棕象甲雄虫生殖力的影响

不同剂量⁶⁰Co γ 射线对成虫生殖力的影响见表 2,各剂量处理的雄虫与雌虫均有交配行为,各处理组的平均产卵量、孵化量和孵化率都与对照组差异

2 结果与分析

2.1 不同剂量电子束对红棕象甲雄虫生殖力的影响

不同剂量电子束辐照对雄成虫生殖力的影响见表 1,各剂量处理的雄虫与雌虫均有交配行为,雌虫产卵量、孵化卵量和孵化率随电子束剂量的增加而逐渐减少,与对照组差异显著。当辐照剂量为 50 Gy 时,产卵量为 144.83 粒;当辐照剂量为 100 Gy 时,产卵量为 129.50 粒。辐照剂量为 100、150、200 和 250 Gy 时,孵化率为 0。

显著。辐照剂量为 60 Gy 时,产卵量为 206.50 粒,孵化率仅为 5.17%,所以 60 Gy 为红棕象甲雄虫的亚不育剂量。辐照剂量为 100、140、180 Gy,产卵量随着射线剂量的增加而逐渐减少,孵化率均为 0。

表 2 不同剂量⁶⁰Co γ 射线对红棕象甲雄虫生殖力的影响

Table 2 Effect of different ⁶⁰Co γ irradiation dosages on the fecundity of *M. alternatus*

辐照剂量 Irradiation dosages/Gy	产卵数/粒 Number of eggs	平均孵化卵量/粒 Average number of hatching eggs	孵化率 Egg hatching rate/%
CK	237.33±16.46a	190.33±13.63a	80.19±3.98a
20	203.33±7.39b	45.67±5.32b	22.41±1.94b
60	206.50±2.58b	10.67±8.17c	5.17±1.40c
100	183.17±2.64c	0d	0d
140	142.83±1.72d	0d	0d
180	64.67±2.16e	0d	0d

表中数据表示平均值±标准误,同列数据后不同英文字母者表示在 0.05 水平上差异显著(Duncan's)。

The data in the table represent mean±standard error. The different letters indicate significant differences at the $P=0.05$ level (Duncan's test).

2.3 不同剂量的电子束和⁶⁰Co γ 射线对雄虫寿命的影响

随着电子束剂量的增加,被辐照雄虫的寿命逐渐减少,并且与对照组差异显著。当剂量为 100 Gy 时,雄虫寿命为 23.50 d;当剂量为 250 Gy 时,雄虫寿命仅为 11.33 d(图 1A)。随着⁶⁰Co γ 射线剂量的

增加,被辐照雄虫的寿命逐渐减少,并且与对照组差异显著。当射线剂量为 100 Gy 时,雄虫寿命为 57.17 d;当射线剂量为 180 Gy 时,雄虫寿命仅为 11.50 d(图 1B)。用 100 Gy 的电子束和⁶⁰Co γ 射线对雄虫进行处理时,⁶⁰Co γ 射线处理虫寿命长于电子束处理虫。

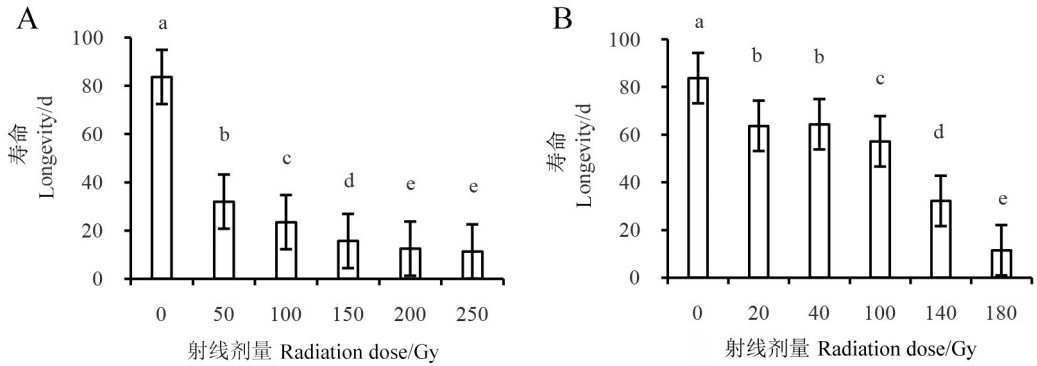


图 1 不同剂量的电子束 (A) 和⁶⁰Coγ 射线 (B) 对雄虫寿命的影响

Fig.1 The effect of different doses of electron beam (A) and ⁶⁰Co gamma ray (B) on the longevity of males
不同小写字母表示差异显著 (P<0.05)。

The different lowercase letters indicate significant differences (P<0.05).

2.4 不同比例电子束和⁶⁰Coγ 射线辐射对红棕象甲生殖力的影响

在养虫盒中放置经 100 Gy 的电子束和⁶⁰Coγ 射线辐照处理后的雄性红棕象甲,随着辐照红棕象甲数量的增加,产卵量与对照无显著差异,雌虫所

产卵孵化率随辐射雄虫的数量增加而逐渐降低,与对照组差异显著。当雄虫:雌虫:处理雄虫为 1:1:6 时,电子束辐照组的雌虫所产卵的孵化率仅为 25.26%,⁶⁰Coγ 射线辐照组的雌虫所产卵的孵化率仅为 2.44%(表 3)。

表 3 不同比例电子束和⁶⁰Coγ 射线辐射对红棕象甲生殖力的影响

Table 3 Effects of different proportion of electron beam and ⁶⁰Co gamma ray irradiation on the fecundity of *M. alaternatus*

射线种类 Ray species	雌:雄:辐射雄 Female:male: radiation male	产卵量/粒 No. of eggs laid	孵化率 Egg hatching rate/%
CK	1:1:0	57.67±5.51a	79.82±0.83a
电子束 Electron beam	1:1:4	56.66±8.02a	36.62±1.87b
	1:1:5	55.00±4.00a	35.14±0.54b
	1:1:6	58.00±4.58a	25.26±1.31c
	1:1:4	54.67±3.51a	13.97±2.31b
⁶⁰ Coγ 射线 ⁶⁰ Co gamma rays	1:1:5	55.00±4.58a	9.23±2.54c
	1:1:6	55.00±3.61a	2.44±1.10d

表中数据表示平均值±标准误,同列数据后不同英文字母者表示在 0.05 水平上差异显著 (Duncan's)。

The data in the table represent mean±standard error. The different letters indicate significant differences at the P=0.05 level (Duncan's test).

3 结果与讨论

辐射导致昆虫不育的机制涉及多方面因素。在对螺旋蝇、苹果蠹蛾、光肩星天牛等昆虫研究中表明,辐射导致昆虫不育的原因主要是辐射能够引起昆虫体内酶和染色体的改变(牟建军,2005)。王广利等(2008)研究表明,经辐射后的青杨脊虎天牛 *Xylotrechus rusticus* L.雄虫精子结构异常。刘晓辉等(2003)研究也表明,经辐射处理后的光肩星天牛雄虫精子活力下降。

各种昆虫因染色体结构上的差异,对射线敏感性也不同。周利娟等(2004)归纳了约 150 种昆虫的辐射耐受性,发现鳞翅目害虫的不育剂量一般为 300~500 Gy,鞘翅目不育剂量为 24~120 Gy。本研究证实,电子束和⁶⁰Coγ 射线对红棕象甲雄虫辐照

的最佳不育剂量均为 100 Gy,在鞘翅目昆虫的不育剂量范围之内。本研究发现,辐射雄虫的寿命随辐射剂量的增加而变短,与牟建军等(2005)、陈美红和谢吉平(2004)的研究结果一致。本研究中,利用 100 Gy 电子束和⁶⁰Coγ 射线处理红棕象甲雄虫时,电子束处理的雄虫寿命较短,可能是由于电子束属于电离辐射,⁶⁰Coγ 射线属于非电离辐射,两者对于红棕象甲生命力的损伤程度不同。近年来,电子束逐渐用于临床以及货物的辐射处理,但是关于电子束在昆虫辐射不育技术上的应用至今未见报道,因此,对其还有待进一步研究。

昆虫的辐射不育效果评价主要通过昆虫辐照后的卵孵化率、幼虫成活率、成虫羽化率以及成虫的存活率、寿命、生育能力等方面进行分析。本研

究在对红棕象甲成虫的辐射不育研究中,利用 100 Gy 的电子束和⁶⁰Co γ 射线对红棕象甲成虫进行辐射后,随着辐照虫数量的增加,卵孵化率逐渐降低,并且当雌:雄:辐射雄为 1:1:6 时,利用 100 Gy 电子束对雄虫进行辐照的卵孵化率为 25.26%,利用 100 Gy 的⁶⁰Co γ 射线进行辐照的卵孵化率仅为 2.44%,与刘枫等(2017)的研究结果大致相同。

本实验中经 100 Gy 的电子束辐射和⁶⁰Co γ 射线辐射雄虫相比,⁶⁰Co γ 射线辐照雄虫寿命明显长于电子束辐射,在养虫笼中当雌:雄:辐射雄为 1:1:6 时,实际是辐照雄虫与正常雄虫竞争交配的结果,⁶⁰Co γ 射线辐射雄虫寿命长,交配竞争机会多,竞争效果大过电子束辐射雄虫,导致卵孵率更低,影响后代种群数量。因此,在实际应用上采用 100 Gy 的⁶⁰Co γ 射线辐照红棕象甲雄虫效果较好。

参考文献

陈曦, 2017. 红棕象甲研究浅析. 福建稻麦科技, 35(1): 24-27.

陈美红, 谢吉平, 2004. 光肩星天牛雄性不育效应研究. 核农学报, 18(1): 65-67.

郭雅洁, 韩红, 廖启料, 林倩男, 牟亚妮, 翁小倩, 邹双全, 张飞萍, 吴松青, 2018. 嗜虫耶尔森氏菌 Yel-8 的分离鉴定及其对红棕象甲的杀虫活性. 农业生物技术学报, 26(12): 2121-2131.

韩宙, 周靖, 钟锋, 黄其亮, 2013. 红棕象甲危害及其防治研究进展. 广东农业科学, 40(1): 68-71.

李清鹏, 刘振旺, 2018. 红棕象甲的危害及防治探索. 大科技(17): 223-224.

吕朝军, 钟宝珠, 李朝绪, 覃伟权, 2020. 海南首次发现红棕象甲危害槟榔. 植物检疫, 34(5): 61-63.

赖峻岩, 2018. 浅谈厦门绿化工程中红棕象甲及椰心叶甲的防控. 绿色环保建材(6): 235, 238.

李咏军, 刘晓辉, 王恩东, 路大光, 罗术东, 2006. ⁶⁰Co γ 辐照对光肩星天牛雄虫繁殖生物学的影响. 核农学报, 20(5): 441-443.

刘晓辉, 李咏军, 张书勇, 王恩东, 路大光, 2003. 利用辐射不育法控制光肩星天牛种群繁殖效果的研究. 中国核科技报告(3): 66-76.

刘枫, 苏远达, 丁玉洲, 谢菲, 王同生, 2017. ⁶⁰Co γ 射线辐

照雄成虫对松墨天牛生命力及防治效果的影响. 中国生物防治学报, 33(2): 193-197.

牟建军, 2005. 松墨天牛辐射不育的研究. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.

牟建军, 张永安, 李孟楼, 蒋平, 王玉珠, 2005. 松墨天牛辐射不育的研究. 林业科学, 41(5): 207-210.

闫硕, 朱家林, 张璟, 朱威龙, 张青文, 刘小侠, 2012. 低剂量⁶⁰Co- γ 辐射对棉铃虫蛾羽化、寿命、趋光行为和性信息素滴度的影响. 昆虫学报, 55(12): 1337-1344.

苏远达, 2011. ⁶⁰Co γ 不同剂量辐照松墨天牛及桑天牛雄性不育研究. 硕士学位论文. 合肥: 安徽农业大学.

唐燕平, 方国飞, 苏远达, 丁玉洲, 张铁, 谢菲, 王同生, 2014. 应用辐射不育技术防治杨树虫害桑天牛. 林业科学, 50(9): 180-183.

王华嵩, 1998. 辐射不育防治害虫的进展. 核农学报, 12(2): 58-65.

王广利, 迟德富, 王跃进, 2008. 青杨脊虎天牛精子超微结构及其辐照后的变化. 核农学报, 22(4): 533-538, 498.

杨国玲, 2020. 分析昆明地区加拿利海枣红棕象甲的危害及防治措施. 低碳世界, 10(7): 231-232.

杨荣新, 夏大荣, 顾伟平, 孟智启, 翁宏飏, 2000. 中国野蚕辐射不育机理的研究. 核农学报, 14(2): 88-92.

周继中, 叶醒波, 2019. 南方棕榈科植物红棕象甲防治技术. 中国花卉报, 2019-05-09(A03).

钟宝珠, 吕朝军, 李朝绪, 阎伟, 黄山春, 覃伟权, 2020. 嗜菌异小杆线虫 H06 品系对红棕象甲幼虫的室内致死能力测定. 热带作物学报, 41(11): 2292-2296.

钟国华, 陈永, 杨红霞, 胡美英, 2012. 昆虫辐照不育技术研究与应用进展. 植物保护, 38(2): 12-17.

张家侠, 孙钦玉, 夏先江, 吴琼, 罗仲兴, 丁勇, 赵强, 2014. 昆虫辐射不育技术及其对茶尺蠖的应用研究进展. 中国农学通报, 30(7): 266-269.

周利娟, 胡美英, 徐汉虹, 黄继光, 钟国华, 2004. γ 辐射对昆虫生理影响的研究进展. 核农学报, 18(1): 77-80, 62.

BOTTO E, GLAZ P, 2010. Potential for controlling codling moth *Cydia pomonella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Tortricidae) in Argentina using the sterile insect technique and egg parasitoids. *Journal of Applied Entomology*, 134(3): 251-260.

(责任编辑:郭莹)