紫外灯对麦蛾卵的杀胚效果*

杜会玲** 吕 兵 翟一凡 代晓彦 郑 礼 陈 浩***

（山东省农业科学院植物保护研究所，山东省病虫害生物防治工程技术研究中心，济南 250100）

摘 要 【目的】 为明确紫外照射麦蛾卵时最佳杀胚时间。**【方法】** 在紫外杀胚装置中，设置 5-25 min（间隔 5 min）的时间，对比不同使用时长的灯管的杀胚效果；设置 5-40 min（间隔 5 min）的时间，并在距离紫外灯管距离不同的 4 个位置取样，对比杀胚效果。**【结果】** 使用时间短的紫外灯管杀胚效果显著好于使用时间长的灯管；紫外照射时间和相对位置对麦蛾卵孵化率有一定的影响，总体上照射时间短，距离远，杀胚效果较差。紫外照射 25 min、40 min 的孵化率最低，分别为 0.63%和 0.77%。紫外照射 15 min 之后各取样位置的卵孵化率差异不显著，最高为 6.22%。经紫外线照射的麦蛾卵颜色与正常发育卵相似，会逐渐变为红棕色，但大部分卵不会孵化。**【结论】** 紫外照射不会立即杀死卵内胚胎；紫外灯管使用一定时间后杀胚效果显著下降；应用本研究中的杀胚装置，处理时间以 20-30 min 为宜。

关键词 紫外线；麦蛾；孵化率；赤眼蜂；杀胚

Effectiveness of using ultraviolet light to kill angoumois grain moth eggs

DU Hui-Ling** LÜ Bing ZHAI Yi-Fan DAI Xiao-Yan ZHENG Li CHEN Hao***

(Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Engineering Technology Research Center of Diseases and Insect Pest Biocontrol, Jinan 250100, China)

Abstract [Objectives] To determine the optimal duration of exposure to UV irradiation necessary to kill *Sitotroga cerealella* embryos. **[Methods]** The lethality to *S. cerealella* embryos of 5 to 25 min exposure (5 min increments) to ultraviolet light was measured. The effect of exposure durations of 5 to 40 min (5 min increments) and 4 different distances between eggs and UV lamps on hatching rate was also compared. **[Results]** The lethality of UV lamps was significantly higher when these were employed for shorter periods of time. Duration of exposure and relative position had significant effects on hatching rate. Overall, the shorter the irradiation time and the greater the distance between eggs and the light source, the lower the embryo mortality rate. The lowest hatching rates, 0.63% and 0.77%, were achieved by irradiating eggs for 25 and 40 min, respectively. Once UV irradiation exceeded 15 min there was no significant change in hatching rate; the highest hatching rate under these conditions was 6.22%. Eggs that had been exposed to UV light were similar in color to control eggs. Like control eggs, they gradually turned reddish-brown but most did not hatch. **[Conclusion]** Ultraviolet irradiation does not kill *S. cerealella* embryos immediately and the lethality of UV lamps decreased significantly after being used for a certain time. The optimal treatment time, using the device developed in this study, is 20-30 min.

Key words UV; *Sitotroga cereaella*; hatching rate; *Trichogramma*; embryo killing technology

赤眼蜂 *Trichogramma* sp.是生物防治中重要的一类卵寄生性天敌昆虫（Hassan，1993；刘树生和施祖华，1996），在世界范围内被大量繁育和释放应用（King，1993；Smith，1996）。赤眼

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划项目（2019YFD0300105）；山东省农业科学院农业科技创新工程（CXGC2021A16）；泰山产业领军人才（LJNY201821）

**第一作者 First author，E-mail：13780825662@163.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：cha.active@163.com

收稿日期 Received：2021-01-15；接受日期 Accepted：2021-05-23

蜂可寄生鳞翅目、膜翅目、脉翅目、双翅目、鞘翅目和半翅目等昆虫的卵（Flanders and Quednau，1960）。孵化的赤眼蜂幼虫以害虫卵内物质为食，致使害虫卵不能孵化，从而在害虫为害之前将其消灭，能最大限度降低害虫的为害。

我国是赤眼蜂应用面积最大的国家之一（Wang *et al.*，2014），人工繁育赤眼蜂采用的中间寄主卵主要有蓖麻蚕 *Samia cynthia* 卵、柞蚕 *Antheraea pernyi* 卵、麦蛾 *Sitotroga cerealella* 卵、地中海粉螟 *Ephestia kuehniella* 卵和米蛾 *Corcyra cephalonica* 卵（詹根祥和梁广文，1999；陈红印等，2000）。以柞蚕卵为代表的“大卵”繁育赤眼蜂成本较低（Wang *et al.*，2014），但因柞蚕卵壳硬度大，不适合繁育玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostriniae*、广赤眼蜂 *Trichogramma evanescens* 等，因此米蛾卵是室内用于大量繁育赤眼蜂的优良中间寄主之一（吕燕青等，2006）。利用“小卵“繁育赤眼蜂的一个重要工序是采用紫外线照射卵杀死胚胎，以防未被寄生的卵孵化成幼虫后取食寄生卵或结网污染寄生卵（周运宁等，1988）。米蛾卵对紫外线反应十分敏感（叶正楚等，1986），用紫外灯照射米蛾卵，杀卵效果良好（史光中等，1982），且能够很好被赤眼蜂寄生。通过紫外杀胚不仅提高寄生蜂的成活率、延长寄主卵保存时间，而且杀灭卵表面的一些病原物；与电离辐射相比，安全易操作（Mawela *et al.*，2010）。

尽管“小卵”的紫外杀胚技术早有研究，但在不同报道中采用的紫外灯功率、灯间距和杀胚时间均有差别，如史光中等（1982）用 30 W 紫外灯管杀米蛾卵 1 h，杀卵率为 95%以上；而陈红印等（2000）采用两支平行排列 30 W 紫外灯，米蛾卵放在盘中呈单层，距灯管 40 cm，照射时间 10 min，卵胚杀死率达 100%；贾乃新等（2002）用 30 W 紫外灯，距离 30 cm，照射 45 min 对胚胎杀伤效果最好，达 100%；袁曦等（2012）认为紫外线处理麦蛾卵 20 min 以上，孵化率为 0 或极低。郑礼等（2003）采用 30 W 紫外灯在 30-50 cm 处照射麦蛾卵 30 min 左右杀死麦蛾卵胚胎。大部分杀胚报道的试验方法介绍简略，无法得知详细参数而不能再现试验过程，且用卵量很小，与实际扩繁时大量用卵的情形差异较大。本试验拟模拟大量杀胚时的条件，研究紫外灯管使用时间、照射时长、照射位置对麦蛾卵孵化率的影响，为用紫外线灭活麦蛾卵工艺的优化提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

麦蛾为试验室周年繁育种群，用大麦饲养。取新产（小于 24 h）的麦蛾卵供试。

1.2　供试材料

杀胚装置（图 1）为 3 支平行排列的 20 W 紫外灯管，灯管间距为 16 cm，灯管垂直底盘距离为 17 cm（图 1：①），灯管中部距底盘最远点距离为 39 cm（图 1：②）。其中 20 W 紫外灯（东海县创辉灯具厂）。新灯管为供试灯管使用时间约 90 h，旧灯管为使用时间约 365 h。

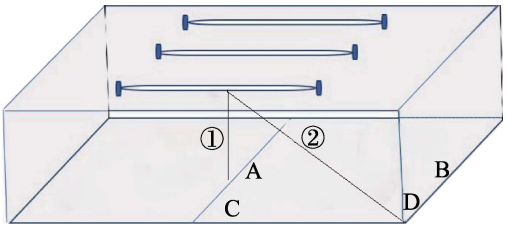

图 1　紫外杀胚装置示意图

Fig. 1　Diagram of the UV equipment for killing embryo in eggs

①：灯管垂直底盘最短距离为 17 cm；②：灯管中部距底盘最远距离为 39 cm；A：距灯管最近位置；B：距灯管较远位置；C：距灯管较近位置；D：距灯管最远位置（4 个距离灯管的不同位置）。

①: The minimum distance of the lamp tube vertical to the chassis is 17 cm; ②: The furthest distance between the middle of the lamp tube and the chassis is 39 cm; A: Nearest position to lamp tube; B: Far position from lamp tube; C: Close to the lamp tube; D: Furthest position from lamp tube (4 different positions from lamp tube).

1.3　试验方法

1.3.1　新、旧紫外灯管照射对麦蛾卵孵化的影响

将新鲜麦蛾卵均匀撒在不锈钢盘上，放在新、旧紫外灯管下照射。持续时间设置为 6 个处理，分

别是 0、5、10、15、20、25 min。照射结束后，在每个处理不锈钢盘中的 4 个位置（图 1：A-D）各取卵 300 粒以上。将卵放入透明玻璃管中，并用脱脂棉封口。将玻璃管置于气候箱中培养（温度：26 ℃，相对湿度：60%-70%），7 d 后观察（正常情况下，此时间内幼虫均已孵化）并记录麦蛾幼虫的孵化数和未孵化数。

1.3.2 紫外照射时间对麦蛾卵孵化的影响 将新鲜麦蛾卵均匀撒在不锈钢盘上，放在新紫外灯下照射。持续时间设置为 9 个处理，分别是 0、5、10、15、20、25、30、35、40 min。其他试验过程中操作、观察与 1.3.1 相同。试验过程中对麦蛾卵拍照记录其颜色变化。

1.4 数据处理与分析

数据处理采用软件 R 4.0.0。卵孵化率的统计分析用卡方测验，在 *R* 中采用函数 chisq.test（默认为 Pearson 法）或采用函数 fisher.test；多重比较采用 rcompanion 包中的 Pairwise Nominal Independence 函数。

2 结果与分析

2.1 新、旧紫外灯管照射对麦蛾卵孵化的影响

将 4 个取样点的数据综合，通过图 2 可知：随着照射时间的延长，新旧灯管卵孵化率均呈降低趋势，且旧灯管的卵孵化率与新灯管的差距在减小。照射 5 min，新旧灯管的卵孵化率分别为 4.49%和 25.83%；处理 20 min 时，新旧灯管的孵化率分别为 0.71%和 2.93%。在各时间点上，旧灯管的孵化率均显著高于新灯管的（5 min：χ^2=407.30，*df*=1，*P*=2.2×10^{-16}；10 min：χ^2=35.85，*df*=1，*P*=2.128×10^{-9}；15 min：χ^2=42.50，*df*=1，*P*=7.048×10^{-11}；20 min：χ^2=22.19，*df*=1，*P*=2.467× 10^{-6}；25 min：χ^2 =13.09，*df*=1，*P*=2.969×10^{-4}）。

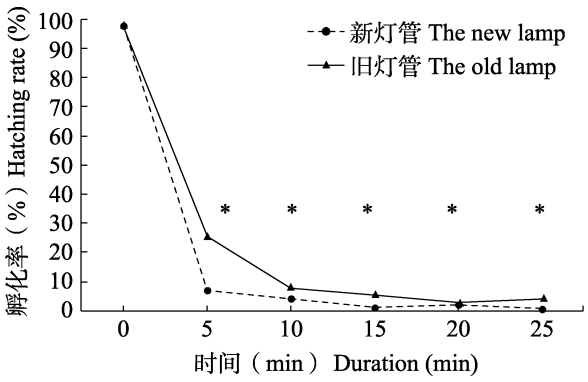

图 2 紫外照射后麦蛾卵孵化率

Fig. 2 Hatching rate of *Sitotroga cerealella* eggs after UV irradiation

表示差异显著。 indicates significant differences.

2.2 紫外照射时间对麦蛾卵孵化的影响

随着照射时间的延长，麦蛾卵的孵化率呈下降的趋势。照射 5 min，卵孵化率是 7.10%。照射 15-40 min 孵化率为 0.63%-2.18%，且显著低于 5 min 和 10 min（χ^2 = 272.27，*df* = 7，*P*=2.2×10^{-16}）。在 20-40 min 中，卵孵化率有起伏。在 25 min 和 40 min 的孵化率最低，分别为 0.63%和 0.77%。在照射 30 min 和 35 min 后，孵化率有所上升，最大为 2.09%。

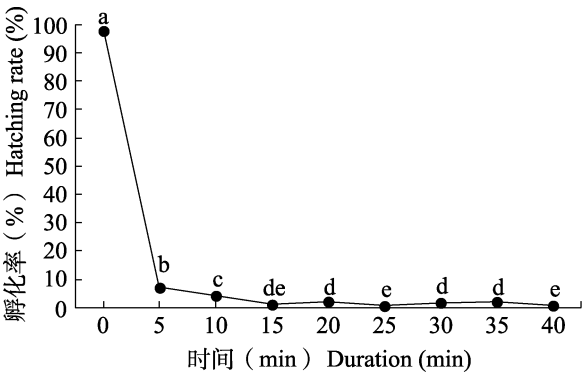

图 3 紫外照射时间对麦蛾卵孵化率的影响

FIg. 3 Influence of UV irradiation duration on egg hatching rate of *Sitotroga cerealella*

不同的小写字母表示差异显著（*P*<0.05）。

Different lowercase letters indicate significant differences (*P*<0.05).

2.3 紫外照射位置对麦蛾卵孵化的影响

从表 1 可以看出，同一处理时间的不同位置上，处理时间 5 min、10 min，位置 A、B、C 卵孵化率均无显著差异，显著低于位置 D 的；处理时间 20 min，位置 C 卵孵化率差异显著高于 A、B、D；处理时间 35 min，位置 C 卵孵化率显著高于 A、B、D；处理时间 15、25、30、40 min

表 1　紫外照射位置和时间对麦蛾卵孵化率的影响

Table 1　Influence of UV irradiation duration and egg location on hatching rate of *Sitotroga cerealella*

时间（min）Duration (min)	孵化率（%）Hatching rate				χ^2	*df*	*P*
	A	B	C	D			
5	4.48bA	7.13bA	4.95bAB	13.78aA	35.907 0	3	7.836×10^{-8}
10	2.16bAB	2.22bBC	2.86bBC	9.57aA	48.030 0	3	2.099×10^{-10}
15	1.23aBC	1.22aBC	1.31aC	0.70aC	0.905 2	3	8.242×10^{-1}
20	0.18cC	1.10bcBC	6.22aA	1.67bBC	47.636 0	3	2.545×10^{-10}
25	0.90aBC	1.09aC	0.21aD	0.22aD	4.900 9	3	1.792×10^{-1}
30	1.53aBC	1.55aBC	1.03aCD	3.13aB	7.216 6	3	6.531×10^{-2}
35	2.09abAB	3.78aAB	0.25bD	1.92abBC	13.721 0	3	3.111×10^{-3}
40	0.20aC	1.73aBC	0.54aD	0.60aC	9.046 4	3	2.868×10^{-2}
χ^2	41.989	62.045	84.510	203.490	-	-	-
df	7	7	7	7	-	-	-
P	5.226×10^{-7}	5.888×10^{-11}	1.652×10^{-15}	2.200×10^{-16}	-	-	-

同行数据后标有不同大小写字母表示差异显著。

Corresponding data are marked with different upper and lower case letters indicate significant differences.

在 4 个位置上卵孵化率无显著差异。

同一位置上的不同处理时间，处理时间 15、20、25、30、40 min，位置 A 卵孵化率无显著差异，但显著低于 5 min 的；处理时间 10、15、20、25、30、40 min，位置 B 卵孵化率无显著差异，但显著低于 5 min 的；处理时间 25、30、35、40 min，位置 C 卵孵化率无显著差异，但显著低于 5 min 的；处理时间 15、20、35、40 min，位置 D 无显著差异，但显著低于时间 5、10 min 的。从总体来看，在 15 min 之后 4 个位置的卵孵化率差异性不显著。

2.4　卵颜色变化

新产的麦蛾卵颜色为白色，随着卵内胚胎的发育，颜色逐渐变为红棕色；至幼虫孵化后，仅留下白色卵壳（图 4）。经紫外线照射的麦蛾卵，随着紫外照射时间的延长，卵的颜色逐渐变为红棕色，但大部分卵不会孵化（图 5）。

图 4　未经紫外照射的麦蛾卵发育状态

Fig. 4　Development status of *Sitotroga cerealella* eggs without UV irradiation

A. 卵发育的初始状态；B. 卵发育的第 5 天；C. 卵发育的第 7 天。

A. Initial state of egg development; B. Day 5 of egg development C. Day 7 of egg development.

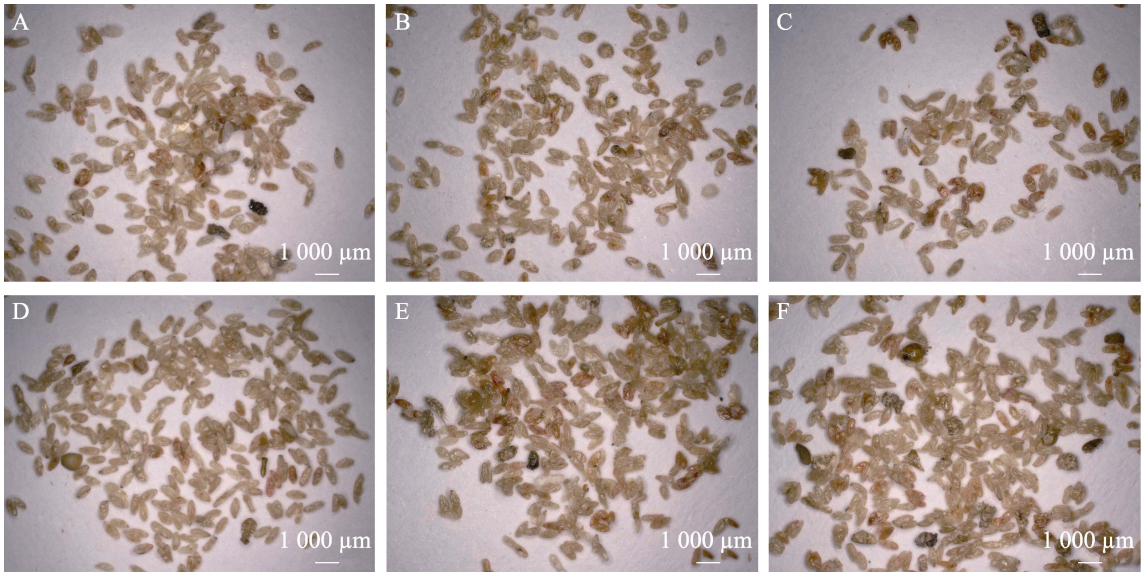

图 5　紫外照射 7 d 后的麦蛾卵发育状态

Fig. 5　Development status of *Sitotroga cerealella* eggs after 7 days of UV irradiation

A. 照射 5 min；B. 照射 10 min；C. 照射 15 min；D. 照射 20 min；E. 照射 25 min；F. 照射 30 min。
A. Irradiation for 5 min; B. Irradiation for 10 min; C. Irradiation for 15 min; D. Irradiation for 20 min; E. Irradiation for 25 min; F. Irradiation for 30 min.

3　结论与讨论

紫外线危害生物是通过破坏机体细胞中的 DNA 或 RNA 的分子结构，造成成长性细胞和再生性细胞死亡，达到杀菌消毒的作用（贾北宁，2018）。在赤眼蜂繁育过程中，采用紫外线照射可有效防止中间寄主卵孵化（袁曦等，2012），且对卵内营养物质破坏性小，一般不影响赤眼蜂的寄生和正常生长发育（贾乃新等，2002）。本研究中未经紫外照射的麦蛾卵孵化率显著高于经过紫外照射的处理组，可以确定紫外线能够有效杀伤麦蛾卵胚胎。试验过程发现经照射后卵仍有颜色变化，且与正常发育卵的颜色变化相似，表明经紫外照射后不能立即杀死胚胎，胚胎仍能继续发育，但紫外照射造成的损伤使得大部分胚胎无法发育为正常幼虫破壳而出。

本研究表明，紫外照射不同时间段，旧紫外灯管下麦蛾卵的孵化率均高于新紫外灯管的，随着紫外照射时间的延长，新、旧紫外灯管的孵化率之间的差异在减小。这表明紫外灯管随使用次数的增加，其自身功能会有损耗，导致杀胚效果下降。根据材质不同，紫外灯管可分为高硼玻璃和石英玻璃（齐桂芝等，2004），在寿命上高硼玻璃紫外灯为 1 000 h 左右，石英玻璃紫外灯一般大于 6 000 h，部分厂家生产的可达 8 000-12 000 h（曹勤等，2020）。在应用实践中，需做好使用记录，到使用期限时应及时更换灯管。为保证杀胚效果，长期使用的灯管需适当延长杀胚时间。

紫外照射的剂量是紫外线的强度与照射时间的乘积，理论上紫外照射强度一定的情况下，照射时间越长，杀胚效果越好（闫岩等，2011）。但 DNA 损伤后，机体会启动多种不同的修复机制修复损伤，这些修复机制包括光修复、核苷酸切除修复、碱基切除修复、错配修复、DNA 双链断裂修复等（刘博雅等，2015）。如用紫外光杀菌，当紫外剂量充足时，失活的细菌不会复活，但剂量不足时，失活的细菌能通过光修复酶修复损伤的 DNA 等结构，从而“复活”（史崇丽等，2019）。推测在麦蛾卵中也存在这种修复机制。本试验中，在紫外照射 20 min 和 25 min 时，卵的孵化率低，而紫外照射 30 min 和 35 min 卵孵

化率又提高了，至 40 min 孵化率再次下降。推测当紫外照射到一定强度，卵内 DNA 受损，卵孵化率降低；但到紫外照射达一定的剂量时，卵内修复机制开始启动，导致孵化率提高；再继续延长紫外照射时间，紫外剂量造成的损伤远大于机体修复能力后，卵孵化率下降（原亚萍等，1995）。新紫外灯管照射 5 min 和 10 min 的处理组孵化率分别为 7.10%、4.26%，照射时间短，杀胚效果较差，麦蛾卵易孵化出幼虫。而紫外线照射 15-40 min，孵化率不超过 2.18%，但并没有达到 100%的杀胚效果。实践中，杀胚时间不是越长越好，还需要考虑到卵的新鲜饱满程度，照射时间过长，卵内水分散失，过于干瘪则不利于赤眼蜂寄生。

本紫外杀胚装置下，杀胚 25 min，孵化率就可降到 0.62%。尽管概率已经很低，但在庞大的杀胚基数下，仍能孵化出数量可观的幼虫。在生产中，通常是将卵撒在平盘上置于紫外灯下照射，因人工操作常常存在误差，会将卵撒的薄厚不均，卵层通常会为 2-4 层（袁曦等，2012），被堆叠覆盖的卵因紫外照射剂量不足以孵化出幼虫。因此，在实际应用中可采取以下措施防止麦蛾卵的孵化。（1）杀胚时尽量将卵粒撒薄成 1 层；（2）杀胚过程中翻动一下卵，调换照射位置；（3）及时更换使用时间长的灯管；（4）杀胚时间控制在 20-30 min。

参考文献 (References)

Cao Q, Pan CH, Huang JS, Shi G, Chen G, Tang BG, 2020. Measurement of radiation intensity stability range of ultraviolet lamp. *Hebei Fisheries*, 48(2): 5–10, 17. [曹勤, 潘传豪, 黄建盛, 施钢, 陈刚, 汤保贵, 2020. 紫外灯辐射强度稳定范围测定. 河北渔业, 48(2): 5–10, 17.]

Chen HY, Wang SY, Chen CF, 2000. Quality control of *Trichogramma ostriniae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) mass reared with rich moth, *Corcyra cephalonica* eggs. *Natural Enemies of Insects*, 22(4): 145–150. [陈红印, 王树英, 陈长风, 2000. 以米蛾卵为寄主繁殖玉米螟赤眼蜂的质量控制技术. 昆虫天敌, 22(4): 145–150.]

Flanders SE, Quednau W, 1960. Taxonomy of the genus *Trichogramma* (Hymenoptera, Chalcidoiea, Trichogrammatidae). *BioControl*, 5(4): 285–294.

Hassan SA, 1993. The mass rearing and utilization of *Trichogramma* to control lepidopterous pests: Achievements and outlook. *Pesticide Science*, 37(4): 387–391.

Jia NX, Huang YG, Li QZ, Li Y, 2002. Studies on reproducing *Trichogramma* by using *Sitotroga cerealella* Olivier eggs. *Journal of Jilin Agricultural University*, 24(4): 58–60. [贾乃新, 黄耀阁, 李秋竹, 李玉, 2002. 利用麦蛾卵繁殖赤眼蜂研究初报. 吉林农业大学学报, 24(4): 58–60.]

Jia BN, 2018. Inspection of sterilization effect of ultraviolet lamp. *The Chinese Livestock and Poultry Breeding*, 14(3): 40–41. [贾北宁, 2018. 紫外线灯杀菌效果检查. 中国畜禽种业, 14(3): 40–41.]

Liu BY, Yang X, Ren MM, Chen SY, Luo JY, 2015. The repair mechanism for DNA damage understanding the 2015 Nobel Prize in chemistry. *Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 31(12): 1322–1329. [刘博雅, 杨鑫, 任梦梦, 陈帅怡, 罗建沅, 2015. DNA 损伤修复机制——解读 2015 年诺贝尔化学奖. 中国生物化学与分子生物学报, 31(12): 1322–1329.]

Liu SS, Shi ZH, 1996. Recent developments in research and utilization of *Trichogramma* sp. *Chinese Journal of Biological Control*, 12(2): 78–84. [刘树生, 施祖华, 1996. 赤眼蜂研究和应用进展. 中国生物防治, 12(2): 78–84.]

Lv YQ, Che KW, He YR, Tang C, Ye JS, 2006. Olfactory response of four species of Trichogrammatid to Kairomones of *Corcyra cephalomice* (Stainton). *Journal of South China Agricultural University*, 27(4): 14–17. [吕燕青, 陈科伟, 何余容, 汤才, 叶建生, 2006. 四种赤眼蜂对米蛾利他素的嗅觉反应. 华南农业大学学报, 27(4): 14–17.]

Mawela KV, Kfir R, Krüger K, 2010. Host suitability of UV-irradiated eggs of three Lepidoptera species for rearing *Trichogrammatoidae lutea* Girault (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Journal of Applied Entomology*, 134(9): 737–744.

Qi GZ, Fang XC, Tao XP, 2004. Comparison of two kinds of ultraviolet sterilization lamps. *Chinese Journal of Disinfection*, 21(1): 77. [齐桂芝, 范旭畅, 陶西萍, 2004. 两种紫外线杀菌灯比较. 中国消毒学杂志, 21(1): 77.]

Shi CL, Miu JL, Liu JH, 2019. UV-induced DNA damage repaired by photolyases. *Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 35(5): 504–508. [史崇丽, 缪锦来, 刘均洪, 2019. DNA 光修复酶修复紫外损伤的 DNA. 中国生物化学与分子生物学报, 35(5): 504–508.]

Shi GZ, Zhou YN, Zhao JS, 1982. Research on feeding and utilization technology of rice moth. *Natural Eenemies of Insects*, 4(4): 1–8. [史光中, 周运宁, 赵俊生, 1982. 米蛾饲养及利用技术研究. 昆虫天敌, 4(4): 1–8.]

Smith SM, 1996. Biological control with *Trichogramma*: Advances, successes, and potential of their use. *Annual Review of Entomology*, 41(1): 375–406.

Wang ZY, He KL, Zhang F, Lu X, Babendreier D, 2014. Mass rearing and release of *Trichogramma* for biological control of insect pests of corn in China. *Biological Control*, 68: 136–144.

Yan Y, Li HS, Ren ZF, 2011. Progress of research in UV sterilization technology. *Petrochemical Industry Technology*, 18(4): 60–63. [闫岩, 郦和生, 任志峰, 2011. 紫外杀菌技术的研究现状. 石化技术, 18(4): 60–63.]

Ye ZC, Cheng DF, 1986. Lacewings were fed with UV-treated rice moth eggs. *Chinese Journal of Biological Control*, 2(3): 132–132. [叶正楚, 程登发. 1986. 用紫外线处理的米蛾卵饲养草蛉. 生物防治通报, 2(3): 132–134.]

Yuan X, Feng XX, Li DS, Zhang BX, 2012. Effects of ultraviolet treatment on the reproduction of *Trichogramma*. *Guangdong Agricultural Science*, 39(14): 91–94. [袁曦, 冯新霞, 李敦松, 张宝鑫, 2012. 紫外线处理米蛾卵对赤眼蜂繁殖的影响. 广东农业科学, 39(14): 91–94.]

Yuan YP, Pu TF, Xu YK, Li GQ, 1995. Progress of studies on the DNA Damage Repair and Mutation. *Journal of Jilin Agricultural University*, 17(3): 91–95. [原亚萍, 朴铁夫, 许耀奎, 李国全, 1995. DNA 损伤、修复与突变的研究进展. 吉林农业大学学报, 17(3): 91–95.]

Zhan GX, Liang GW, 1999. Research and application of *Trichogramma* in China. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 11(2): 39–46. [詹根祥, 梁广文, 1999. 中国赤眼蜂研究和应用的历史与现状. 江西农业学报, 11(2): 39–46.]

Zheng L, Song K, Zheng SH, 2003. Mass production of *Trichogramma brassicae* on eggs of *Sitotroga cerealella* (Olivier). *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 7(S1): 29–32. [郑礼, 宋凯, 郑书宏, 2003. 用麦蛾卵大量繁殖甘蓝夜蛾赤眼蜂 (*Trichogramma brassicae*). 河北农业科学, 7(S1): 29–32.]

Zhou YN, Zhao JS, Li T, 1988. A preliminary report on the breeding of *Trichogramma* by irradiated rice moth eggs. *Plant Protection*, 14(1): 22–23. [周运宁, 赵俊生, 李唐, 1988. 辐射米蛾卵繁殖赤眼蜂研究初报. 植物保护, 14(1): 22–23.]