

三种紫外线辐照对黑腹果蝇蛹的影响

刘旭祥, 仪传冬, 敖国富, 陈 湜*, 季清娥*

(福建农林大学生物防治研究所/联合国(中国)实蝇防控研究中心/生物农药与化学教育部重点实验室, 福州 350002)

摘要: 分别利用三种紫外灯(UVA、UVB、UVC)辐照黑腹果蝇蛹, 研究辐照对黑腹果蝇的羽化率、性比、飞出率、死蛹率、成虫干重、蛹重以及F1羽化率、F1性比、F1死蛹率、F1成虫干重的影响。结果表明: 辐照后黑腹果蝇羽化率均显著降低, 其中UVB辐照6 h后的黑腹果蝇蛹羽化率最低, 为10.00%; 经过UVA辐照9 h组的性比平均值为2.32, 显著高于其他处理组; 经过UVB辐照后, 黑腹果蝇飞出率显著降低, 其中UVB处理6 h后黑腹果蝇飞出率低至4.00%; 经过UVB辐照的死蛹率显著高于对照组和其他组, 其中辐照6 h组黑腹果蝇蛹的死亡率平均值达到89.33%, 最高达94.00%。经过紫外线辐照后各组蛹重与对照组相比都有不同程度的增加, 且差异显著; 经过UVB、UVC辐照后羽化的黑腹果蝇成虫干重显著低于对照组; 经过紫外线辐照后黑腹果蝇F1成虫干重相比对照组均有所降低, 与对照组差异显著。本研究可为昆虫的紫外线诱变和害虫生物防治提供参考。

关键词: 黑腹果蝇; 紫外线; 辐照

中图分类号: S433 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9261(2021)02-0228-07

Effects of Three Kinds of Ultraviolet Radiation on Pupae of *Drosophila melanogaster*

LIU Xuxiang, YI Chuandong, AO Guofu, CHEN Shi*, JI Qinge*

(Institute of Biological Control, Fujian Agriculture and Forestry University/UN (China) Center for Fruit Fly Prevention and Treatment/Key Laboratory of Biopesticide and Chemical Biology, Ministry of Education, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The pupae of *Drosophila melanogaster* were irradiated by three kinds of ultraviolet lamps (UVA, UVB and UVC), and the effects of irradiation on the eclosion rate, sex ratio, flight rate, dead pupa rate, adult dry weight, pupa weight, F1 eclosion rate, F1 sex ratio, F1 dead pupa rate and F1 adult dry weight were studied. The results showed that the pupa emergence rate of *D. melanogaster* was significantly reduced after irradiation, among which the pupa emergence rate of *D. melanogaster* exposed to UVB for 6 h was the lowest (10.00%). The average sex ratio of 9 h group after UVA irradiation was 2.32, which was significantly higher than that of other treatment groups. After UVB irradiation, the pupa emergence rate of *D. melanogaster* decreased significantly, among which the pupa emergence rate of *D. melanogaster* was as low as 4.00% after 6 h of UVB treatment. The death rate of pupae in the group exposed to UVB was significantly higher than that in the control group and other groups, and the average death rate of pupae in the group exposed to UVB for 6 h reached 89.33% and the highest was 94.00%. After UV irradiation, pupa weight of each group increased significantly compared with that of the control group. After UVB and UVC irradiation, the dry weight of adult *D. melanogaster* was significantly lower than that of the control group. After UV irradiation, the dry weight of *D. melanogaster* F1 adult decreased compared with the control group, and the difference was significant. This study can provide reference for UV mutagenesis and biological control of insect pests.

Key words: *Drosophila melanogaster*; ultraviolet; irradiation

收稿日期: 2020-05-25

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0202000)

作者简介: 刘旭祥, 硕士研究生, E-mail: liuxx1003@163.com。*通信作者, 季清娥, 博士, 研究员, E-mail: Jiqinge@yeah.net; 陈湜, 博士, 助理研究员, E-mail: csalanine@163.com。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2021.01.016

黑腹果蝇隶属于双翅目 *Diptera*、环裂亚目 *Cyclorrhapha*、果蝇科 *Drosophilidae*、果蝇属 *Drosophila*、水水果蝇亚属 Subgenus *Sophophora*、黑腹果蝇种组 *Drosophila melanogaster species group*^[1-4], 作为一种研究最为深入的模式昆虫已被人们所熟知。黑腹果蝇属于腐食性, 但同属于黑腹果蝇种组的斑翅果蝇 *Drosophila suzukii* Matsumura 则是鲜食性的, 为害健康新鲜的水果。斑翅果蝇又称为铃木氏果蝇、樱桃果蝇, 其雌虫产卵器锯齿状, 能割破浆果类果实的果皮并在果肉内产卵, 幼虫孵化后在果实内部钻蛀为害。现阶段对于斑翅果蝇的防治主要是以化学防治为主, 但化学防治易引起“3R”问题, 且不能从根本上解决斑翅果蝇的为害, 所以迫切需要采用生物防治的措施防治斑翅果蝇。

课题组前期研究已筛选到斑翅果蝇的蛹期寄生蜂 *Trichopria drosophilae* Perkins, 但需要对其进行人工大量饲养, 才能满足生产需要。黑腹果蝇作为模式昆虫, 具有生活周期短、雌雄易分辨、易饲养、繁殖快等特点^[5], 具备作为斑翅果蝇寄生蜂替代寄主的应用潜力; 但饲养过程需要分离寄生蜂与未被寄生的寄主, 如果能通过辐照使寄主发育受阻, 达到自动分离的目的, 将大大提高饲养效率。

紫外线是电磁波谱中波长 10~400 nm 射线的总称, 是一种非电离射线, 根据波长可分为近紫外线 UVA、远紫外线 UVB 和超短紫外线 UVC。紫外线广泛应用于灭菌、保健、促进维生素产生、分解油烟、分解有机物、微生物诱变育种等方面^[6-12]。已有多项研究涉及利用紫外线辐照果蝇, 如 UVA 辐照对黑腹果蝇生物学特性和抗氧化反应的影响^[13]、紫外线辐照对于果蝇生长发育和表型变异的影响^[14]、紫外线辐照对果蝇凋亡相关基因表达的影响^[15]等。

本研究利用不同种类的紫外灯辐照黑腹果蝇蛹研究紫外线辐照对黑腹果蝇羽化率、性比、飞出率、死蛹率、成虫干重、蛹重、F1 羽化率、F1 性比、F1 死蛹率、F1 成虫干重等影响, 为利用黑腹果蝇作为寄主饲养斑翅果蝇寄生蜂提供基础。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

黑腹果蝇: 实验室饲养种群, 来自田间诱捕。

1.2 仪器设备

紫外灯 (UVA: 350 nm; UVB: 300 nm; UVC: 250 nm, 南京华强电子有限公司)、电子分析天平、冰箱、电磁炉、飞出率测试筒 (h: 20 cm, d: 10 cm)、培养皿、养虫罐、养虫笼 (30 cm×30 cm×30 cm)、饲料盘、海绵、脱脂棉球、毛刷、镊子、剪刀、保鲜膜、滤纸、量筒、烧杯、玻璃棒。

1.3 黑腹果蝇的饲养

黑腹果蝇饲料配置方法参考林清彩^[16]并稍作修改。配置方法: ①: 玉米粉 50 g、蔗糖 40 g、酵母粉 20 g, 加入温水 300 mL 搅拌均匀, 加入 95%酒精 7 mL、乙酸 3 mL; ②: 琼脂 5 g 加入 500 mL 水中, 加热溶解成琼脂溶液; ③: 将步骤①中的混合溶液加入步骤②中, 加水定容至 1000 mL 并搅拌均匀, 加热将饲料煮熟后加入 1 g 山梨酸钾, 搅拌均匀使山梨酸钾充分融化; ④: 将饲料倒入饲料盘内、待饲料自然冷却到室温成为固体饲料后用保鲜膜将饲料盘封口, 放入冰箱冷藏备用。

1.4 辐照剂量的确定

选择化蛹 48 h 内的黑腹果蝇蛹, 利用专利一种黑腹果蝇蛹的简易大量获取方法^[17]中所述的大量获取黑腹果蝇蛹的方法对黑腹果蝇蛹进行获取并放置于培养皿中。培养皿置于紫外灯 (30 W) 正前方 50 cm 处进行辐照处理。

1.5 紫外线辐照对寄主黑腹果蝇蛹的影响

取蛹化 48 h 内的黑腹果蝇蛹, 将收集好的黑腹果蝇蛹放置在铺有湿润滤纸的培养皿中。分别置于紫外灯 UVA、UVB、UVC 下进行处理, 辐照时间分别为 3、6、9 h, 另外设置空白对照组, 不进行辐照处理。辐照处理过的黑腹果蝇蛹分别放置在铺有湿润滤纸的培养皿中, 每个处理取 100 只蛹, 每个处理重复进行 3 次; 经过辐照处理的蛹羽化出的黑腹果蝇产卵化蛹后再次收集的蛹记为 F1, F1 与亲本在相同条件下饲养且不进行辐照处理。统计每个处理供试黑腹果蝇的羽化率、性比、飞出率、死蛹率、成虫干重、F1 蛹重、F1 羽化率、F1 性比、F1 死蛹率、F1 成虫干重。

1.6 数据统计与分析

采用 SPSS 23.0 软件和 Excel 2013 软件计算羽化率、性比、飞出率，并对果蝇的羽化率、性比、飞出率、死蛹率、成虫干重、F1 蛹重、F1 羽化率、F1 性比、F1 死蛹率、F1 成虫干重进行单因素方差分析并进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 紫外线辐照对黑腹果蝇蛹的影响

2.1.1 紫外线辐照对黑腹果蝇羽化率的影响 经过 UVA、UVC 辐照处理的黑腹果蝇蛹和对照组三者组内和组间的羽化率均无显著差异，而经过 UVB 辐照处理过的黑腹果蝇蛹羽化率较之其他 3 个处理显著降低，且不同 UVB 辐照时长对羽化率有显著的影响。其中经过 UVB 处理 6 h 组的羽化率显著低于经过 UVB 处理 3 h 组和 9 h 组，但经过 UVB 处理 3 h 组和 9 h 组的羽化率之间没有显著差异。UVA、UVB 辐照对 F1 羽化率均没有显著影响，而 UVC 处理 3、6 h 后的 F1 羽化率显著低于其他各组（表 1）。

表 1 紫外线辐照对黑腹果蝇羽化率的影响
Table 1 Effects of ultraviolet radiation on the emergence rate of *D. melanogaster*

紫外线灯种 Ultraviolet lamp species	羽化率 Emergence rate (%)		
	3 h	6 h	9 h
CK	87.33±2.91 ab	87.33±2.91 ab	87.33±2.91 ab
UVA	76.00±2.00 b	77.33±1.76 b	76.00±2.00 b
UVB	22.67±1.76 d	10.00±2.00 e	28.67±2.91 d
UVC	86.00±2.31 ab	80.00±1.16 ab	84.00±3.46 ab
CK-F1	87.33±0.01 ab	87.33±0.01 ab	87.33±0.01 ab
UVA-F1	88.00±0.00 ab	84.67±2.40 ab	76.67±4.37 b
UVB-F1	86.67±5.21 ab	92.67±2.40 a	87.33±2.91 ab
UVC-F1	58.67±3.71 c	55.33±4.06 c	85.33±2.40 ab

注：数据为平均值±标准误，不同小字母表示 0.05 水平上差异显著。下表同。
Note: Data were presented as mean±SE, data with different lowercase letters indicated significant difference at 0.05 level. The subsequent table is the same as this one.

2.1.2 紫外线辐照对黑腹果蝇性比的影响 经过 UVA 辐照处理 9 h 组性比显著高于对照组；其他处理组性比和对照组均无显著差异（表 2）。

2.1.3 紫外线辐照对黑腹果蝇飞出率的影响 与对照组相比，所有经过紫外线辐照处理的黑腹果蝇蛹羽化得到的成虫飞出率都显著降低。经过 UVB 处理的黑腹果蝇飞出率显著低于其他各组，且 UVB 处理的时长

表 2 紫外线辐照对黑腹果蝇性比的影响
Table 2 Effect of ultraviolet irradiation on the sex ratio of *D. melanogaster*

紫外线灯种 Ultraviolet lamp species	性比 Sex ratio (%)		
	3 h	6 h	9 h
CK	1.23±0.11 bcd	1.23±0.11 bcd	1.23±0.11 bcd
UVA	1.40±0.05 bcd	1.38±0.03 bcd	2.32±0.24 a
UVB	1.46±0.27 abcd	1.56±0.10 abcd	1.36±0.06 bcd
UVC	1.75±0.04 abcd	0.84±0.03 d	1.36±0.21 bcd
CK-F1	1.13±0.05 bcd	1.13±0.05 bcd	1.13±0.05 bcd
UVA-F1	1.31±0.13 bcd	1.39±0.16 bcd	2.00±0.56 abc
UVB-F1	1.06±0.06 cd	2.07±0.18 ab	1.79±0.04 abc
UVC-F1	1.71±0.06 abcd	1.73±0.17 abcd	1.65±0.19 abcd

对飞出率没有显著影响。经 UVA 处理 3 h 的黑腹果蝇飞出率高于 UVA 处理 6 h 和 9 h 组，后二者之间无显著差异。同样地，经 UVC 处理 3 h 的黑腹果蝇飞出率高于 UVC 处理 6 h 和 9 h 的组，后二者之间无显著差异（表 3）。

表 3 紫外线辐照对黑腹果蝇飞出率的影响
Table 3 Effect of ultraviolet irradiation on the flight rate of *D. melanogaster*

紫外线灯种 Ultraviolet lamp species	飞出率 Flight rate (%)		
	3 h	6 h	9 h
CK	46.67±0.67 a	46.67±0.67 a	46.67±0.67 a
UVA	28.67±1.33 c	23.33±0.67 d	22.00±2.00 d
UVB	6.00±2.00 e	4.00±1.16 e	6.67±1.76 e
UVC	39.33±2.40 b	29.33±1.33 c	30.00±2.00 c

2.1.4 紫外线辐照对黑腹果蝇死蛹率的影响 经过 UVB 辐照处理的亲代各试验组死蛹率显著高于对照组，且和其他试验组存在显著差异，UVC 辐照处理 3 h 和 6 h 组子代的死蛹率比其他子代处理组高且差异显著（表 4）。

表 4 紫外线辐照对黑腹果蝇死蛹率的影响
Table 4 Effect of ultraviolet irradiation on pupae death rate of *D. melanogaster*

紫外线灯种 Ultraviolet lamp species	死蛹率 Pupae death rate (%)		
	3 h	6 h	9 h
CK	8.67±1.16 fg	8.67±1.16 fg	8.67±1.16 fg
UVA	23.33±1.33 d	20.67±0.67 def	22.00±2.00 de
UVB	76.00±1.16 b	89.33±2.40 a	68.67±3.71 b
UVC	14.00±2.31 defg	18.00±0.00 defg	15.33±3.53 defg
CK-F1	9.33±1.76 efg	9.33±1.76 efg	9.33±1.76 efg
UVA-F1	11.33±0.67 defg	14.67±1.76 defg	22.67±3.71 d
UVB-F1	13.33±5.21 defg	6.67±2.91 g	10.67±2.40 defg
UVC-F1	38.67±4.06 c	44.00±4.16 c	14.00±2.00 defg

2.1.5 紫外线辐照对黑腹果蝇雌成虫干重的影响 经过 UVA 辐照处理 6 h 后羽化的黑腹果蝇雌成虫干重相比对照组显著增加，而 UVA 辐照 3 和 9 h 后羽化的黑腹果蝇雌成虫干重均显著低于对照组；经过 UVB 辐照处理后羽化的黑腹果蝇雌成虫干重显著低于对照组；经过 UVC 辐照处理后羽化的黑腹果蝇雌成虫干重显著低于对照组。黑腹果蝇 F1 雌成虫干重相比对照组均显著降低，且 UVA、UVC 处理后的 F1 雌成虫干重较亲代显著降低，其中，UVA 处理 6 h 组降幅最大。UVB 处理 3 和 6 h 的 F1 雌成虫干重较亲代显著降低，而 9 h 组的 F1 雌成虫干重与亲代差异不显著（表 5）。

2.1.6 紫外线辐照对黑腹果蝇雄成虫干重的影响 经过 UVA 辐照处理 6 h 后羽化的黑腹果蝇雄成虫干重相比对照组增加明显，其他处理组性比和对照组均无显著差异（表 6）。

2.1.7 紫外线辐照对黑腹果蝇成虫干重的影响 经过 UVA 辐照处理 6 h 后羽化的黑腹果蝇成虫干重显著高于其他所有处理组，经过 UVA 辐照处理 9 h 后羽化的黑腹果蝇成虫干重和对照组无显著差异，而 UVA 辐照 3 h 后羽化的黑腹果蝇成虫干重显著低于对照组；经过 UVB 辐照处理 3 和 9 h 后羽化的黑腹果蝇成虫干重显著低于对照组，而 6 h 组与对照组无显著差异；经过 UVC 辐照处理后羽化的黑腹果蝇成虫干重均低于对照组。经过紫外线辐照处理的黑腹果蝇 F1 成虫干重相比对照组均显著降低。UVA 处理 3、9 h 和 UVC 处理 9 h 三个组黑腹果蝇 F1 成虫干重与亲代成虫干重无显著差异，其余处理黑腹果蝇 F1 成虫干重均较亲代降低（表 7）。

2.1.8 紫外线辐照对黑腹果蝇 F1 蛹重的影响 经过紫外线辐照处理后各试验组蛹重相比对照组都有不同程度的显著增加。蛹重的增加可能反映了受紫外线辐照影响的黑腹果蝇对紫外线辐照的适应（表 8）。

表 5 紫外线辐照对黑腹果蝇雌成虫干重的影响

Table 5 Effects of ultraviolet irradiation on dry weight of female adults of *D. melanogaster*

紫外线灯种 Ultraviolet lamp species	雌成虫干重 Dry weight of female adults (mg)		
	3 h	6 h	9 h
CK	2.63±0.03 b	2.63±0.03 b	2.63±0.03 b
UVA	2.27±0.27 cd	3.00±0.15 a	2.57±0.09 bc
UVB	1.90±0.06 def	2.23±0.09 cd	1.70±0.06 efg
UVC	1.73±0.15 efg	1.70±0.06 efg	1.63±0.09 fg
CK-F1	2.77±0.09 ab	2.77±0.09 ab	2.77±0.09 ab
UVA-F1	1.67±0.09 fg	1.40±0.06 g	2.03±0.15 def
UVB-F1	1.27±0.07 g	1.33±0.09 g	2.13±0.09 de
UVC-F1	1.40±0.06 g	1.43±0.03 g	1.37±0.03 g

表 6 紫外线辐照对黑腹果蝇雄成虫干重的影响

Table 6 Effects of ultraviolet irradiation on dry weight of male adults of *D. melanogaster*

紫外线灯种 Ultraviolet lamp species	雄成虫干重 Dry weight of male adults (mg)		
	3 h	6 h	9 h
CK	1.40±0.06 bcde	1.40±0.06 bcde	1.40±0.06 bcde
UVA	1.10±0.06 de	2.17±0.09 a	1.47±0.15 bcde
UVB	1.47±0.33 bcde	1.57±0.09 bc	1.37±0.33 bcde
UVC	1.60±0.15 b	1.53±0.15 bcd	1.10±0.10 de
CK-F1	1.37±0.12 bcde	1.37±0.12 bcde	1.37±0.12 bcde
UVA-F1	1.33±0.12 bcde	1.13±0.09 cde	1.63±0.03 b
UVB-F1	1.13±0.03 cde	1.30±0.06 bcde	1.50±0.06 bcde
UVC-F1	1.30±0.06 bcde	1.07±0.03 e	1.33±0.07 bcde

表 7 紫外线辐照对黑腹果蝇成虫干重的影响

Table 7 Effect of ultraviolet irradiation on dry weight of *D. melanogaster* adults

紫外线灯种 Ultraviolet lamp species	成虫干重 Dry weight of adults (mg)		
	3 h	6 h	9 h
CK	4.03±0.03 bc	4.03±0.03 bc	4.03±0.03 bc
UVA	3.37±0.32 def	5.17±0.09 a	4.03±0.12 bc
UVB	3.37±0.03 def	3.80±.012 bcd	3.07±0.03 fg
UVC	3.33±0.07 def	3.23±0.09 ef	2.73±0.19 ghi
CK-F1	4.13±0.07 b	4.13±0.07 b	4.13±0.07 b
UVA-F1	3.00±0.10 fghi	2.53±0.07 h	3.67±0.15 cde
UVB-F1	2.40±.010 i	2.63±0.09 ghi	3.63±0.03 cde
UVC-F1	2.70±0.00 ghi	2.50±0.06 i	2.70±0.06 ghi

表 8 紫外线辐照对黑腹果蝇 F1 蛹重的影响

Table 8 Effect of ultraviolet irradiation on F1 pupae weight of *D. melanogaster*

紫外线灯种 Ultraviolet lamp species	F1 蛹重 F1 pupae weight (mg)		
	3 h	6 h	9 h
CK	35.00±0.35 f	35.00±0.35 f	35.00±0.35 f
UVA	57.60±2.56 a	51.53±0.37 c	47.33±0.55 d
UVB	40.93±0.47 e	44.83±0.28 d	50.23±0.55 c
UVC	56.67±0.59 a	55.20±0.69 ab	52.63±0.90 bc

3 讨论

作为一种重要的物理胁迫因子, 紫外线不仅具有灭菌^[18,19]和消毒作用^[20], 而且可以作为一种辐照源应用于生物防治领域。3种紫外线对黑腹果蝇蛹影响试验中, UVB处理过的蛹, 黑腹果蝇亲代的羽化率、飞出率、死蛹率显著降低, 说明中波紫外线的辐照对黑腹果蝇的羽化率、飞行能力等造成了一定程度的影响。赵贝等^[21]研究发现长期的UVB胁迫可以显著降低蚜虫存活率, 长期UVB胁迫世代越长效果越显著, 但本试验中亲代黑腹果蝇经过辐照处理后产卵再次羽化为成虫, 其羽化率、死蛹率等指标有明显的回升, 因此黑腹果蝇蛹对多代连续辐照的适应性有待进一步探究。桑文^[22]发现UVB胁迫抑制赤拟谷盗末龄幼虫蜕皮激素合成, 而本试验中紫外线胁迫导致黑腹果蝇子代蛹重增加, 可能因为受到紫外线的胁迫导致果蝇体内发生一系列的代谢变化来适应这种降低昆虫生存力的物理胁迫, 为了适应这种逆境胁迫^[23], 子代化蛹时体内较亲本会积累更多的营养物质进而导致蛹重增加。

UVA处理过的子代与亲代相同处理之间的羽化率呈上升趋势, 但随处理时间的延长, 子代的羽化率随之降低且子代羽化率水平与亲代相接近; UVC处理3h和6h组子代羽化率显著降低, 可能因为亲本受短波紫外线的影晌导致所产卵的质量有所降低, 顺利度过幼虫期化蛹后, 部分蛹不可羽化导致对子代羽化率、死蛹率的影响显著, 可以顺利羽化的成虫体型较小, 相比亲代成虫干重也有明显的降低趋势。唐玉龙等^[24]研究发现紫外线对生物大分子DNA结构有一定影响, 其中UVC对碱基基团有致命的伤害, 而且可以破坏DNA的构象; 本研究子代经过UVC辐照处理3h和6h组的黑腹果蝇F1羽化率显著降低, 经过UVC辐照处理后F1性比和F1死蛹率相比对照组都有明显升高; 不难看出辐照对F1代黑腹果蝇的影响中, UVC效果相对显著, UVC辐照处理可能导致果蝇体内生物大分子结构发生变化。

伴随着蓝莓、树莓、樱桃等浆果的经济价值日趋升高, 如何防治浆果类果实的重要害虫——果蝇成为一项亟待解决的难题。在传统的防治方法基础之上, 结合新型技术手段与生物防治方法成为一种新趋势, 本试验证明紫外线辐照能显著降低黑腹果蝇的羽化率, 可以利用紫外线辐照技术^[25-30]与生物防治材料相结合对果蝇进行有效防控; 不同波段的紫外线对黑腹果蝇蛹的影响不同, 可以筛选适合应用的紫外线类型, 应用于果蝇寄生蜂^[31-34]的繁殖。研究黑腹果蝇蛹的辐照处理对蛹期寄生蜂的影响, 以期将辐照后的黑腹果蝇蛹运用于蛹寄生蜂的大量饲养中, 从而省略分离未被寄生的寄主和寄生蜂蛹的步骤, 提高果蝇蛹寄生蜂的繁殖效率, 以更好地将果蝇寄生蜂应用于斑翅果蝇的生物防治; 此举不但可以有效避免化学防治所面临的困扰, 而且更加省时省力、保护环境、防治效果更加持久。

参 考 文 献

- [1] 钱远槐, 刘艳玲, 李守涛, 等. 中国黑腹果蝇种组的组成与分布[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2006, 28(4): 397-402.
- [2] 张开春, 闫国华, 郭晓军, 等. 斑翅果蝇(*Drosophila suzukii*)研究现状[J]. 果树学报, 2014, 31(4): 717-721.
- [3] 蔡普默, 向候君, 仪传冬, 等. 斑翅果蝇危害健康水果机理研究进展[J]. 江西农业大学学报, 2017, 39(2): 295-301.
- [4] Kanzawa T. Studies on *Drosophila suzukii* Mats[M]. Kofu, Yamanashi Agricultural Experimental Station, 1939, 49.
- [5] 刘素宁, 沈杰. 果蝇基因组与功能基因研究进展[J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(6): 1559-1572.
- [6] Chu F, Borthakur A, Sun X, et al. The Siva -1 putative amphipathic helical region (SAH) is sufficient to bind to BCLXL and sensitize cells to UV radiation induced apoptosis[J]. Apoptosis, 2004(9): 83-95.
- [7] Ravi D, Muniyappa H, Das K C. Caffeine inhibits UV mediated NF-kB activation in A2058 melanoma cells: An ATM-PKCδ-p38 MAPK-dependent mechanism[J]. Molecular and Cellular Biochemistry, 2008(308): 193-200.
- [8] 钱晓薇, 吴秀毅, 林国栋, 等. 紫外线对小白鼠免疫遗传的损伤效应[J]. 中国细胞生物学学报, 2010, 32(2): 277-280.
- [9] 杨丽丽, 尹宝华, 侯文菊, 等. 芽孢杆菌诱变育种研究进展[J]. 山西农业科学, 2012, 40(7): 804-806.
- [10] 谌斌. 紫红曲的原生质体紫外线诱变育种[J]. 广西科学院学报, 1999(2): 40-42.
- [11] 曹恩华. UVA的辐射效应及其分子机理[J]. 激光生物学报, 1994, 3(4): 529-534.
- [12] 倪建, 华周华, 戴修道. 长波紫外线对人皮肤成纤维细胞DNA的损伤[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2002, 20(6): 471.
- [13] 郑俊丽. UVA照射对黑腹果蝇生物学特性和抗氧化反应的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.

- [14] 张俊贤, 郭光艳, 齐志广. 紫外线对果蝇生长发育和表型变异的影响[J]. 河北师范大学学报, 2006, 30(1): 90-93.
- [15] 应琼琼, 刘婷, 顾蔚. 紫外线照射对果蝇凋亡相关基因 *reaper*、*grim*、*hid* 表达的影响[J]. 中国老年学杂志, 2012, 32(11): 2307-2309.
- [16] 林清彩. 铃木氏果蝇和黑腹果蝇生态学特性及化学防治研究[D]. 济南: 山东农业大学, 2015.
- [17] 刘旭祥, 敖国富, 林嘉, 等. 一种黑腹果蝇蛹的简易大量繁殖方法[P]. CN110742024A, 2020-02-04.
- [18] Iltefat H, Alexis B, Indermeet K, *et al.* Ultraviolet germicidal irradiation: Possible method for respirator disinfection to facilitate reuse during the COVID-19 pandemic[J]. Elsevier Inc., 2020, 82(6): 1511-1512.
- [19] Sahar A. Effect of chemical, microwave irradiation, steam autoclave, ultraviolet light radiation, ozone and electrolyzed oxidizing water disinfection on properties of impression materials: A systematic review and meta-analysis study[J]. Elsevier B.V., 2020, 32(4): 161-170.
- [20] 李江. 紫外线消毒技术的研究[D]. 天津: 天津大学, 2004.
- [21] 赵贝. UV-B 长期胁迫对麦长管蚜种群参数、表皮及几丁质合成酶的影响研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [22] 桑文. 赤拟谷盗与四纹豆象对物理因子胁迫的响应机制研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- [23] 王丹. 果蝇 MBF1 通过调控代谢相关基因表达响应冷胁迫[D]. 济南: 山东农业大学, 2016.
- [24] 唐玉龙. 紫外辐射对 DNA 损伤的拉曼光谱研究[D]. 广州: 华南师范大学, 2005.
- [25] 张昕, 范立英. 紫外线杀菌机理及在食品工业中应用[J]. 吉林粮食高等专科学校学报, 1996(1): 23-25.
- [26] 钟兰军. 不同剂量紫外线照射对宁德晚熟龙眼水南 1 号保鲜效果的影响[J]. 福建农业科技, 2019(12): 25-30.
- [27] Mustafa P, Mustafa K. Detection of irradiated black tea (*Camellia sinensis*) and rooibos tea (*Aspalathus linearis*) by ESR spectroscopy[J]. Food Chemistry, 2007, 107(2): 956-961.
- [28] 袁伟宁, 朱仰艳, 孙小玲, 等. 紫外线胁迫对红色型豌豆蚜生物学特性的影响[J]. 植物保护, 2016, 42(4): 77-82.
- [29] 张雅君, 梁佳勇, 曾慕衡. 紫外线对雄果蝇寿命及子代生理的影响[J]. 天津农业科学, 2013, 19(7): 75-78.
- [30] Wen H W, Hsieh M F, Wang Y T, *et al.* Application of gamma irradiation in ginseng for both photo degradation of pesticide pentachloronitrobenzene and microbial decontamination[J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 176(1-3): 280-287.
- [31] Gowton C M, Reut M, Carrillo J. Peppermint essential oil inhibits *Drosophila suzukii* emergence but reduces *Pachycrepoideus vindemniae* parasitism rates[J]. Scientific Reports, 2020, 10: 9090.
- [32] Yang L, Yang Y, Liu M M, *et al.* Identification and comparative analysis of venom proteins in a pupal ectoparasitoid, *Pachycrepoideus vindemniae*[J]. Frontiers in physiology, 2020, 11: 9.
- [33] Wang X G, Kaçar G, Biondi A, *et al.* Life-history and host preference of *Trichopria drosophilae*, a pupal parasitoid of spotted wing drosophila[J]. BioControl, 2016, 61(4): 387-397.
- [34] Stacconi M V R, Grassi A, Ioriatti C, *et al.* Augmentative releases of *Trichopria drosophilae* for the suppression of early season *Drosophila suzukii* populations[J]. BioControl, 2019, 64(1): 9-19.

(责任编辑: 张莹)