

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2015.02.010

# 柑橘大实蝇生物、生态学及辐照不育技术最新研究进展

张桂芬<sup>1,2\*</sup>, 王福莲<sup>3</sup>, 吕志创<sup>1,2</sup>, 黄 聪<sup>3</sup>, 李咏军<sup>1</sup>, 郭建英<sup>1,2</sup>, 李传仁<sup>3</sup>, 万方浩<sup>1,2,4\*</sup>

<sup>1</sup>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; <sup>2</sup>农业部外来入侵生物预防与控制研究中心, 北京 100193; <sup>3</sup>长江大学农学院, 湖北 荆州 434025; <sup>4</sup>青岛农业大学农学与植物保护学院, 山东 青岛 266109

**摘要:** 柑橘大实蝇是柑橘类果树的一种重要害虫, 近几年在我国柑橘种植区的危害呈上升趋势, 给柑橘产业造成了巨大损失。本文概述了环境因素包括温度、光周期、营养状况(饥渴)以及水淹对柑橘大实蝇生物学特性和成虫行为的影响, 柑橘大实蝇成虫和幼虫人工饲养技术参数, 柑橘大实蝇蛹滞育机制, 辐照不育关键技术包括最佳辐照剂量和辐照时期, 及其在湖北柑橘园柑橘大实蝇防控中的应用与示范情况等, 并指出了尚需进一步开展的研究内容。

**关键词:** 柑橘大实蝇; 辐照不育技术; 人工饲料; 滞育机制

## Research progress on the biology, ecology and the application of sterile insect technique on *Bactrocera minax* (Enderlein)

Gui-fen ZHANG<sup>1,2\*</sup>, Fu-lian WANG<sup>3</sup>, Zhi-chuang LÜ<sup>1,2</sup>, Cong HUANG<sup>3</sup>, Yong-jun LI<sup>1</sup>, Jian-ying GUO<sup>1,2</sup>, Chuan-ren LI<sup>3</sup>, Fang-hao WAN<sup>1,2,4\*</sup>

<sup>1</sup>State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; <sup>2</sup>Center for Management of Invasive Alien Species, Ministry of Agriculture, Beijing 100193, China; <sup>3</sup>College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025, China; <sup>4</sup>College of Agronomy and Plant Protection, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China

**Abstract:** *Bactrocera minax* (Enderlein), the Chinese citrus fruit fly, is one of the most important citrus pests in southern China. In recent years, the damage caused by this species on citrus plants has increased, causing the citrus industry suffer a great loss. In this paper, knowledge on the effects of environmental factors, including temperature, photoperiod, as well as adult nutrition (hunger, thirst) and tolerance to flooding in mature larvae, and on adult behavior of *B. minax* are evaluated. The parameters of artificial diet for mass rearing of *B. minax* adults and larvae, as well as the diapausing mechanisms of *B. minax* pupa is now clarified. The key techniques for IST (irradiation sterile technique), including the optimal irradiation dose of the <sup>60</sup>Co-γ ray and the optimal development status of irradiated *B. minax* pupa were clarified, leading to the first successful attempt to use IST to control *B. minax* in an orange orchard in Hubei Province. Finally, a proposal for further research on the sustainable management of *B. minax* is proposed.

**Key words:** *Bactrocera minax*; sterile insect technique; artificial diet; diapausing mechanism

柑橘大实蝇 *Bactrocera minax* (Enderlein) 属双翅目实蝇科离腹寡毛实蝇属。该种实蝇已在我国广西、贵州、湖北、湖南、江苏、江西、陕西、四川、云南、河南等多个省份广泛分布; 此外, 在亚洲的其他国家如不丹、印度、锡金等也有分布, 是柑橘类植物上的一种重要害虫, 也是国内外重要的检疫性害虫

(EPPO/CABI, 1997)。柑橘大实蝇以幼虫在柑橘类植物的果实内蛀食为害, 初孵幼虫取食囊汁, 随着龄期的增大幼虫食量逐渐增多, 并在果实内纵横窜食, 吸食果肉; 被害果实多具有未熟先黄或黄中带红的色斑, 提早脱落(汪兴鉴和罗禄怡, 1995)。通常, 柑橘大实蝇的幼虫蛀果率为 5%~20%, 局部

收稿日期(Received): 2014-11-12 接受日期(Accepted): 2015-01-28

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(200903047); 国家“973”计划项目(2009CB119200)

作者简介: 张桂芬, 女, 研究员。研究方向: 入侵生物学。E-mail: guifenzhang3@163.com

\* 通讯作者(Author for correspondence): 张桂芬, E-mail: guifenzhang3@163.com; 万方浩, E-mail: wanfanghao@caas.cn

地区高达 50% 以上,严重受害的地块甚至绝收(聂家云等,1999;汪兴鉴和罗禄怡,1995;余仕长等,1996; Dorji *et al.*,2006; EPP0/CABI,1997)。柑橘大实蝇一年发生一代,成虫于 4 月下旬开始羽化出土,产卵盛期为 6 月中旬至 7 月上旬,8 月中旬至 9 月初为幼虫发生盛期,10 月上中旬幼虫逐渐成熟,从被害果中钻出并入土化蛹(杨永政等,2008)。

早在 20 世纪 40 年代末至 50 年代初,柑橘大实蝇即严重危害柑橘果实,后通过发动群众采用以处理“三果”(即卵果、虫蛀果以及有虫落果)为主要措施的大范围区域联防,取得显著的防治效果,使果实受害率从以往的 50%~100% 下降到不足 1%(汪兴鉴和罗禄怡,1995;吴志清,1958);80 年代至 90 年代,相关科研人员开展了以水解乳蛋白和啤酒酵母为主要饵料成分的柑橘大实蝇成虫诱杀研究,取得了明显的防治效果(汪兴鉴和罗禄怡,1995);以<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线为辐照源的昆虫不育技术,在贵州惠水县中联果场连续释放应用 2 年,使蛆果率由常年的 6%~8% 下降为 0.005%,防除效果非常显著(王华篙等,1990)。然而,近年来柑橘大实蝇危害又呈现上升趋势。因此,本文对近 5 年来柑橘大实蝇生物学和生态学及其辐照不育技术的研究进行介绍,以为其有效防控提供参考。

## 1 环境因素对柑橘大实蝇生物学特性的影响

### 1.1 温度和光周期对柑橘大实蝇化蛹整齐度的影响

蒯伟伟等(2012)研究表明,10~15℃对柑橘大实蝇幼虫的化蛹最为有利,3 d 之内全部化蛹;温度过高或过低,均会延长化蛹历期。当温度为 10℃时,8L:16D 的光周期最利于其化蛹,2 d 之内全部化蛹。因此,在秋季当温度达到 10℃时,短日照是诱导其化蛹的主要因素。

### 1.2 高、低温胁迫对柑橘大实蝇成虫存活及幼虫孵化的影响

1.2.1 短时高温暴露 黄聪(2015)研究了 37~45℃高温对柑橘大实蝇成虫存活以及 39~45℃对幼虫孵化的影响。结果表明,当处理时间为 20、40、60 min 时,柑橘大实蝇成虫击倒温度  $LT_{50}$  分别为 39.3、39.0、38.6℃,  $LT_{90}$  分别为 40.3、40.5、40.4℃;致死温度  $LT_{50}$  分别为 43.5、42.4、40.7℃,  $LT_{90}$  分别为 44.7、43.0、42.4℃。随着胁迫强度的增大,短时高温暴露对柑橘大实蝇成虫的性比有显著影响,在

41℃下暴露 60 min 或 43℃下暴露 40 min,雌性比例显著降低;此外,雄性成虫的耐热能力比雌虫强。高温对柑橘大实蝇幼虫孵化有显著影响,当以 39~45℃的高温分别处理卵 1~4 h,幼虫孵化率显著降低。

1.2.2 短时低温胁迫 将 10℃冷藏 29 d 后的蛹取出于室内自然条件下发育至 1 级蛹高峰期(95%)、2~3 级蛹高峰期(70%)、4 级蛹高峰期(70%),分别于 10、15、20℃下处理 2、4、8 h。结果显示,当在 10℃下处理 1 级蛹 2 h 时,成虫羽化率略有下降,但随处理时间的延长(4、8 h)成虫羽化率与对照间没有明显差异;当处理温度提高至 15 和 20℃,1 级蛹的成虫羽化率提高了 43.2%~56.3%,且差异显著。同时,研究结果还表明,低温储藏可使成虫羽化高峰期延迟,且延迟时间与低温储藏时间的长短呈正相关;此外,低温储藏 40 d 以上,对成虫羽化率具有明显的不良影响(黄聪,2015)。

1.2.3 短时亚致死低温胁迫 选取个体大小基本一致的同一批蛹,埋入含水量为 10%~15% 的细沙中,埋蛹深度为 3~5 cm,然后置于-10℃冰箱中分别处理 0.5、1、2、4、8、16、32 h 后取出,于室温下保存,定期喷水保持湿度;对照不经过低温处理,直接置于室温下。结果显示,在-10℃下胁迫 0.5~8 h,成虫羽化的动态趋势与对照相仿,羽化高峰期集中在 5 月 14~23 日。但是,经亚致死低温处理后的蛹,其成虫羽化高峰出现的时间较对照推迟。此外,将柑橘大实蝇的蛹在-10℃下处理 16 和 32 h,成虫羽化始期推迟了 3~6 d,且羽化进程加快,羽化率(约 10%)较对照以及其他处理明显降低(黄聪,2015)。

### 1.3 饥渴对柑橘大实蝇成虫的影响

1.3.1 对成虫寿命的影响 从羽化当日开始只提供水,柑橘大实蝇雌、雄性成虫的寿命均显著长于供蜜、供水供蜜和无水无蜜处理,雌、雄性成虫供蜜处理的寿命与无水无蜜处理间的差异不显著;但是,从 10 日龄开始,雌、雄性成虫供蜜与供水处理的寿命差异不明显(黄聪,2015)。

1.3.2 对成虫存活的影响 研究发现,充足的水源对柑橘大实蝇成虫的存活最为有利,最长可存活 20 d,50% 以上的个体可存活 10 d 以上;而缺乏水源或蜜源对成虫的存活不利。2~3 日龄雌性成虫对水的选择性较强,而 4~7 日龄雌性成虫对蜂蜜和

水的选择性没有明显差异。水源对于10日龄以上雌性成虫的存活十分重要(黄聪,2015)。

1.3.3 对成虫梳理行为的影响 既不提供食源也不提供水源或仅提供蜜源的雌性成虫,仅在前4d具有梳理行为,供水供蜜的成虫梳理行为可持续6d;而在羽化初期便开始提供水源的成虫在第11天仍具有梳理行为(黄聪,2015)。

1.3.4 对成虫爬行行为的影响 从羽化当日开始既不供水也不提供蜂蜜的雌、雄性成虫,前5d趋上爬行的比例最高,为72.4%;提供水源或蜜源的雌、雄性成虫趋上爬行的比例均显著降低;而同时提供水源和蜜源的成虫,趋上爬行的能力最低,表明当食源充足时,成虫觅食活动减少(黄聪,2015)。

#### 1.4 水淹对柑橘大实蝇幼虫和蛹的影响

将脱果后的柑橘大实蝇老熟(3龄)幼虫水淹1~5d后,观察幼虫的存活及化蛹比率。结果显示,尽管水淹后幼虫的昏迷率达33.6%~100%,但其恢复比率高达97%以上;幼虫死亡率仅为9.6%~26.8%;化蛹比率高达70.0%~90.4%。此外,蛹期或羽化期浸水对成虫羽化率没有明显的不利影响。由此可见,柑橘大实蝇幼虫和蛹抗水淹的能力很强,可随落果借水流传播扩散(待发表数据)。

## 2 越冬蛹保存介质及贮存方法的研究

### 2.1 介质组成和含水量对成虫羽化和性比的影响

以不同含水量及不同细沙和土壤组合作为保存介质,逐日观察成虫羽化情况。结果表明,当土壤质地为沙质、含水量为10%和15%时,雌虫和雄虫羽化率以及总羽化率均较高;当土壤质地为菜园土时,雄虫和雌虫羽化率以及总羽化率随含水量的升高而增大,即20%含水量时羽化率最高,而当土壤含水量为5%时,无论是雌虫还是雄虫均不能羽化;将沙土和壤土以1:1混合,当含水量为10%和15%时,雌虫和雄虫羽化率以及总羽化率较高。此外,土壤质地不同,柑橘大实蝇的雄性比例亦有所差异。当含水量为10%时,沙质土羽化的雄性成虫较菜园土多;但当沙土和壤土混合以后,雄性成虫羽化的比例提高,且较沙质土高。当含水量为15%时,菜园土羽化的雄性成虫比例最高,其次为混合沙壤土。当含水量为20%时,混合沙壤土羽化的雄性比例最高,其次为菜园土和沙质土。同时,含水量不同,柑橘大实蝇的雄性比例亦有所区别。当介

质为沙质土且含水量为10%时,羽化的柑橘大实蝇雄性比例最高,为58.0%;当介质为菜园土且含水量为15%时,羽化的柑橘大实蝇雄性比例最高,为70.6%;当介质为等量混合沙壤土且含水量为20%时,羽化的柑橘大实蝇雄性比例最高,为74.7%。综上所述,含水量为20%的细沙和土壤混合(1:1)介质对柑橘大实蝇的保存最为有利,成虫羽化率为63.3%(黄聪,2015)。

### 2.2 越冬蛹贮存方法

黄聪(2015)研究了剥蛆法、蛆果堆放法以及传统的化蛹池法对蛹体大小、羽化率以及成虫体重、性比、寿命等的影响。结果表明,由于剥蛆法利于越冬蛹的保存,易于控制温度和羽化进度,有利于获得大批量的蛹和成虫。其中,化蛹池法羽化率最高,为62.2%;其次为剥蛆保存法,最终羽化率为54.6%;而蛆果堆放法羽化率最低,仅为17.4%。但是,化蛹池法雌虫体重最大,为45.46mg;而剥蛆保存法雄虫体重最轻,仅为34.69mg。

### 2.3 幼虫密度对化蛹的影响

将老熟幼虫置于含水量为15%的细沙上,密度梯度分别为0.9、1.8、3.5、7.1和14.2头·cm<sup>-2</sup>,观察其化蛹情况。结果显示,幼虫密度过低或过高,均会显著降低其化蛹率及化蛹进度。当幼虫密度为1.8~3.5头·cm<sup>-2</sup>时,化蛹率最高,达97.4%~98.4%;其次为0.9头·cm<sup>-2</sup>,化蛹率为89.4%;当幼虫密度为7.1~14.2头·cm<sup>-2</sup>时,化蛹率明显降低,仅为61.4%~78.8%。此外,当幼虫密度较低(0.9~3.5头·cm<sup>-2</sup>)时,有利于其整齐化蛹,4d内即可全部化蛹;而当虫口密度较高时,化蛹进程缓慢,整体化蛹时间延长,达33d(黄聪,2015)。

## 3 柑橘大实蝇人工饲养技术的研究

### 3.1 不同食物组合对成虫生殖特性的影响

王小姣等(2012)测定了蜂蜜水、糖醋液、蔗糖加酵母膏以及蔗糖加蛋白胨等4种饲料对柑橘大实蝇成虫存活、交配及产卵的影响。结果显示,4种饲料喂食的成虫寿命和交配次数没有明显差异,而蔗糖加蛋白胨喂食的成虫单雌产卵量最高,约为20粒,显著高于其他3种饲料,且这3种饲料喂食后的单雌产卵量之间没有显著差异。成虫寿命最长为20d,期间交配3~4次。针对室内饲养成虫寿命比较短的问题,在上述研究的基础上,改良了成虫

饲养配方,分别以蛋白胨+金银花蜜、酸水解蛋白+金银花蜜、大豆粉+金银花蜜为配方,以无蛋白的纯金银花蜜水为对照,研究了不同蛋白干粉饲料配方对柑橘大实蝇成虫存活、交配的影响。结果显示,3种蛋白干粉饲料均可满足成虫生长发育的需要,70%~90%的个体至少存活 25 d,少量个体可存活 70 d 以上。此外,研究还显示,蛋白干粉对成虫寿命及交配次数无不良影响(王小姣等,2012)。

### 3.2 不同食物组合对幼虫发育的影响

测定了 3 种人工饲料配方(表 1)对柑橘大实蝇幼虫存活和发育进度及化蛹比率的影响。结果显示,以 3 种配方饲养初龄幼虫至第 4 天时,幼虫的存活率分别为 63.1%、51.9%和 49.1%;研究还显示,以配方 B 饲养的幼虫存活时间最长,达 36 d;以配方 C 饲养的幼虫化蛹比率最高,为 9.5%。可见,3 种人工饲料基本可以满足柑橘大实蝇生长发育的营养需求(待发表数据)。

表 1 柑橘大实蝇幼虫人工饲料配方

Table 1 Artificial feed formulation of *B.minax* larvae

组分 Component	配方 A Formula A (g)	配方 B Formula B (g)	配方 C Formula C (g)
酵母粉 Yeast powder	20	0	20
蔗糖 Sucrose	30	30	30
琼脂 Agar	5	5	5
抗坏血酸 Ascorbic acid	1.2	1.2	1.2
麦片粉 Cereal powder	50	50	50
蛋白胨 Peptone	10	10	0
苯甲酸钠 Sodium benzoate	1	1	1
胆固醇 Cholestenone	2.25	2.25	2.25
氯化胆碱 Choline chloride	0.45	0.45	0.45
对羟基苯甲酸甲酯 Parahydroxy benzoic acid methyl ester	1	1	1
水 Water	1000	1000	1000

## 4 柑橘大实蝇蛹滞育机制研究

针对柑橘大实蝇每年发生 1 代,滞育明显,难以规模化饲养的问题,在 cDNA 测序及部分结果分析的基础上,克隆获得滞育激素(Diapause hormone, DH)基因和促前胸腺激素(Prothoracicotrophic hormone, PTH)基因的部分序列;据此,采用 5'RACE和 3'RACE 技术克隆其全长 cDNA,并利用定量 PCR 检测这 2 个基因在柑橘大实蝇不同滞育阶段的 mRNA 表达状况,从而揭示 DH 和 PTH 基因在柑橘大实蝇蛹滞育中的作用。

### 4.1 内参基因的选择

选取  $\alpha$ -TUB、 $\beta$ -TUB、 $\beta$ -actin、EF1- $\alpha$ 、ELF1- $\beta$ 、G6PDH、RPL32、18s rRNA、28s rRNA、GAPDH 等 10 种内参基因,利用引物克隆其中间片段,并通过半定量 PCR 检测这 10 种内参基因在柑橘大实蝇不同时期(卵,幼虫,以及 1、90、160 日龄蛹,雌性成虫,雄性成虫)的表达状况。结果表明,在柑橘大实蝇的不同时期,内参基因  $\alpha$ -TUB、RPL32、EF1- $\alpha$ 、28s rRNA 与 18s rRNA 表达相对比较稳定,而  $\beta$ -actin 和 GAPDH 等则不能稳定表达;不同时期相对表达量检测结果显示, $\alpha$ -TUB、EF1- $\alpha$  和 RPL32 在各个时期均能稳定表达(Lü *et al.*, 2014a)。

### 4.2 滞育相关热激蛋白基因 *hsp23*、*hsp70* 和 *hsp90* 的克隆及表达

通过同源序列比对算法,以及 3'RACE 和 5'RACE 技术克隆,获得柑橘大实蝇 *hsp23*、*hsp70* 和 *hsp90* 基因的全长 cDNA 序列,并对其在不同发育阶段的表达谱进行实时荧光定量 PCR 检测分析。结果显示,*hsp23*、*hsp70* 和 *hsp90* 基因的 cDNA 序列分别为 810、2295 和 1755 bp,其各自具有一个完整的开放阅读框,3'端具有 polyA 结构。从卵、幼虫、蛹至成虫羽化的整个时期,3 种热激蛋白基因相对表达量的动态趋势各异。其中,*hsp90* 的相对表达量始终处于较低水平( $<2$ ),仅在 1 和 3 龄幼虫期、30 日龄蛹期以及成虫期有较小的表达高峰;*hsp70* 在 3 龄幼虫期具有一个高的表达峰值( $\approx 8$ ),在卵期和 30 日龄蛹期分别具有一个较小的表达高峰( $<2$ );而 *hsp23* 的相对表达量较高,整个时期具有 4 个明显的高峰,且在 30 日龄蛹期前后(7~90 日龄)和 150 日龄蛹期前后(140~160 日龄)持续时间较长。此外,在卵期,3 种热激蛋白基因的相对表达量相差无几;在 1 龄幼虫期,*hsp90* 的相对表达量最高;在 2 龄幼虫期,3 种热激蛋白基因的相对表达量最低;在 3 龄幼虫期,*hsp70* 的相对表达量最高,其次为 *hsp23*,*hsp90* 的相对表达量最低;而在整个蛹期,*hsp23* 的相对表达量明显较 *hsp70* 和 *hsp90* 高。这表明 *hsp70* 在柑橘大实蝇滞育信号接收期(即 3 龄幼虫期)具有重要调控作用;而 *hsp23* 在柑橘大实蝇整个滞育期(即蛹期)具有重要调控作用(Lü *et al.*, 2014b)。

### 4.3 柑橘大实蝇 RNAi 体系的构建

以稳定表达的内参基因 18s rRNA 为靶标,利用含

T7启动子的内参基因 18s rRNA 引物合成其双链 RNA。然后,将 1  $\mu\text{L}$  不同浓度(2 和 3  $\mu\text{g} \cdot \mu\text{L}^{-1}$ )的 dsRNA 通过显微注射(130 Pa, 0.5 s)注入柑橘大实蝇 3 龄幼虫体内,分别取注射当天(0 d)以及 1、2、3 和 5 d 的幼虫各 5 头,以  $\alpha\text{-TUB}$  作为对照,通过定量 PCR 检测干扰后 18s rRNA 的表达量。结果显示,当注射的 dsRNA 浓度为 2  $\mu\text{g} \cdot \mu\text{L}^{-1}$  时,1 d 后幼虫体内 18s rRNA 的表达量下降了 64.8%;虽然在注射后第 2 天和第 3 天的表达量呈上升趋势,但 5 d 后又有所下降,说明 dsRNA 的效果一直在持续。当注射浓度为 3  $\mu\text{g} \cdot \mu\text{L}^{-1}$  时,幼虫体内 18s rRNA 的表达量在第 1 天和第 2 天稍有上升,在 3 d 后下降明显;5 d 后虽有所上升,但其表达量与对照相当。这表明注射过高浓度的 dsRNA,不能起到抑制表达的作用,而随着幼虫体内 dsRNA 浓度的逐渐降低,才具有沉默效果。据此,构建柑橘大实蝇 RNAi 体系时,以浓度为 2  $\mu\text{g} \cdot \mu\text{L}^{-1}$ 、注射量为 1  $\mu\text{L}$  作为靶基因的注射标准(待发表数据)。

柑橘大实蝇滞育相关基因的研究,为解除滞育、实现室内大量饲养提供了理论依据,为开展其辐照不育技术和遗传不育控制技术研究提供了物质基础,并有望使柑橘大实蝇不育技术得以大面积推广应用,实现其可持续治理。

## 5 柑橘大实蝇辐照不育技术的研究与应用

### 5.1 适宜辐照剂量

以 4 级蛹作为辐照对象,以  $^{60}\text{Co-}\gamma$  射线进行适宜辐照剂量研究。结果显示,70~110 Gy 的辐照剂量对成虫羽化和羽化节律没有明显不利影响,其中 80 Gy 辐照后,其羽化率略有升高。进一步研究显示,辐照剂量对柑橘大实蝇成虫的雌性比率具有明显影响,但当辐照剂量为 80 Gy 时,其雌性比率与对照最为接近。同时, $^{60}\text{Co-}\gamma$  射线辐照能缩短柑橘大实蝇成虫寿命,由未被辐照(对照)时的 33.5(雌性)和 35.3 d(雄性)缩短为 15.8~21.5 d;但当辐照剂量为 70 Gy 时,其雌、雄成虫寿命与对照没有明显差异。此外,当辐照剂量为 70 Gy 时,雌、雄性成虫飞行距离和飞行速率均未受到明显影响,分别为 17.1、16.7  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  和 3.9、3.8  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ (黄聪等,2015)。

### 5.2 适宜辐照时期

以 90 Gy 为辐照剂量,分别对 1~4 级蛹进行辐照,结果显示,除 1 级外,其他 3 个级别的蛹通过

$^{60}\text{Co-}\gamma$  射线辐照后,成虫羽化率均提高,其中 2 级蛹最为明显,可能与辐照具有一定程度的杀菌作用有关。此外,蛹的发育时期不同,辐照后其所羽化的成虫个体中雌蝇所占的比率亦有明显变化,其中 3 级蛹的雌性比率与对照最为接近。综合羽化率和雌性比率,在 3 级蛹时辐射比较恰当,且对田间应用较为有利(黄聪等,2015)。

### 5.3 辐照对柑橘大实蝇交配竞争力的影响

以不同时期的柑橘大实蝇蛹为辐照对象,其成虫交配次数没有明显变化,但 3 级雌蝇的交配持续时间较对照明显缩短。同时,无论竞争者是雄性还是雌性,辐照虫与未辐照虫的交配竞争力均相当(黄聪等,2014a)。

### 5.4 辐照对柑橘大实蝇活动能力的影响

以  $^{60}\text{Co-}\gamma$  射线 90 Gy 为辐照剂量,以 2~3 级蛹为辐照对象,观察同日羽化的辐照和未辐照成虫的活动能力。结果显示,辐照后 5 日龄内的雌性成虫的爬行能力明显增强,但 12 日龄时雄性成虫的爬行能力降低;而雌性成虫的梳理行为减少 45%~80%;但直至 12 日龄,辐照对成虫的趋上爬行能力均没有明显不良影响(谈施缘等,2013)。

### 5.5 辐照对柑橘大实蝇引诱剂敏感性的影响

以橘园常用的引诱剂桔丰和果瑞特为靶标,研究辐照对柑橘大实蝇引诱剂敏感性的影响。结果表明,辐照后柑橘大实蝇雌、雄虫对 2 种引诱剂的敏感性明显降低,仅为田间自然种群的 8.7%~15.4%。这表明诱杀技术和辐照技术联合应用具有增效作用,对辐照技术的应用意义重大(黄聪等,2014b)。

### 5.6 辐照不育技术的防控效果

以湖北省宜都市枝城镇和松枝市旗林镇相对封闭的橘园为防治试验田,开展了辐照不育技术防治柑橘大实蝇的研究(辐照虫与虫口基数比例约为 0.9:1.0),并对辐照成虫进行了标记与回收。结果显示,辐照不育成虫的田间扩散距离多在 70 m 以内,最远扩散距离可达 140 m。进一步调查显示,辐照不育技术与食饵诱杀技术对柑橘大实蝇的控制作用相当,有产卵痕橘果的比率仅为 0.45%。此外,辐照不育技术和食饵诱杀技术对雌性成虫产卵不利,使有产卵痕橘果中卵的数量降低 2~3 倍,无效产卵的比率明显增大。同时,防治方法对成虫产

卵行为有一定影响。在辐照不育技术防治的橘园中,有 1 个产卵痕的橘果占有具产卵痕橘果的 97%以上,有 2 个产卵痕的橘果不足 3%;在食饵诱杀防治田,有 2、3 个产卵痕的橘果占有具产卵痕橘果的 8%;而在未采取任何防治措施的对照橘园中,有 2、3 个产卵痕的橘果比率明显增大,分别占有具产卵痕橘果的 33%、15%。在不同防治方法的橘园中,产卵痕数量的不同可能与田间柑橘大实蝇成虫发生数量不同有关;而无效产卵比率的增大,可能与辐照不育防治田和食饵诱杀防治田雌性有效交配机率下降有关。此外,辐照不育技术(加诱杀技术)防治橘园的虫口密度为  $0.081 \text{ 头} \cdot \text{果}^{-1}$ ,蛆果率为 2.08%;而仅采用诱杀技术的橘园中虫口密度为  $0.457 \text{ 头} \cdot \text{果}^{-1}$ ,蛆果率为 6.33%,防治效果为 67.14%(黄聪等,2013)。

针对柑橘大实蝇食性单一(只危害芸香科植物),每年发生 1 代且蛀果为害,成虫田间寿命长且行踪不定,难以有效防控的问题,应采用行为学、种群生态学、生物化学、生理学以及分子生物学的技术与方法,开展柑橘大实蝇靶向防控技术研究,具体尚需研究的主要内容包括:成虫橘园外的行为,成虫取食与卵黄蛋白形成机制,化蛹特性及蛹期天敌,滞育解除的关键技术,规模化饲养技术,以及遗传不育技术,明确柑橘大实蝇基础生物学特性及其成灾机制,实现柑橘大实蝇的可持续治理。

### 参考文献

黄聪. 2015. 温度和食物胁迫对柑橘大实蝇生存、发育和繁殖的影响. 荆州: 长江大学.

黄聪, 王福莲, 张桂芬, 李传仁, 李咏军. 2013. 柑橘大实蝇不育虫低释放量下的田间防治效果//文礼章, 李有志, 刘自力, 周志成, 等. 华中昆虫研究(第九卷). 北京: 中国农业科学技术出版社, 226–231.

黄聪, 王福莲, 张桂芬, 李传仁, 李咏军. 2014a. 不育剂量  $\gamma$  射线辐照对柑橘大实蝇交配前期存活的影响. 环境昆虫学报, 36(2): 213–218.

黄聪, 王福莲, 张桂芬, 李传仁, 李咏军. 2014b. 柑橘大实蝇辐照成虫对两种引诱剂的敏感性. 环境昆虫学报, 36(1): 1–5.

黄聪, 马跃坤, 王福莲, 张桂芬, 李传仁, 许弘毅. 2015.  $^{60}\text{Co}$ 射线辐照柑橘大实蝇低级别蛹对成虫羽化和交配的影响.

核农学报, 29(10): 印刷中.

蔺伟伟, 王福莲, 黄聪, 王小姣, 李传仁. 2012. 柑桔大实蝇的生物学特性. 现代园艺, 34(15): 79–81.

聂家云, 郑忠, 宋风平, 谭素勤, 易继平. 1999. 秭归县柑橘大实蝇发生规律观察及防治试验. 植保技术与推广, 19(5): 33–34.

谈施缘, 黄聪, 王福莲, 李传仁, 张桂芬. 2013. 不育剂量  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 射线辐射对柑橘大实蝇成虫活动能力的影响. 中国南方果树, 42(5): 68–69, 74, 124.

王华嵩, 赵才道, 黎怀燮, 楼洪章, 刘琼茹, 康文, 胡建国, 张和琴, 储吉明, 夏大荣, 杨荣新. 1990. 辐射不育技术防治柑桔大实蝇的效果. 核农学报, 4(3): 135–138.

王小姣, 王福莲, 张桂芬, 李传仁. 2012. 人工饲料对柑橘大实蝇成虫寿命和繁殖特性的影响. 湖北农业科学, 51(11): 2222–2224.

汪兴鉴, 罗禄怡. 1995. 桔大实蝇的研究进展. 昆虫知识, 32(5): 310–315.

吴志清. 1958. 桔大实蝇的生活习性观察初报. 昆虫知识, (5): 216–217.

杨永政, 张富国, 何涛. 2008. 柑橘大实蝇发生为害规律与防治对策. 湖北植保, 20(1): 18–22.

余仕长, 王正义, 杨光发, 冯雨宣. 1996. 柑桔大实蝇成虫发生期研究. 昆虫知识, 33(4): 210–212.

Dorji C, Clarke A R, Drew R A I, Fletcher B S, Loday P, Mahat K, Raghu S and Romig M C. 2006. Seasonal phenology of *Bactrocera minax* (Diptera: Tephritidae) in western Bhutan. *Bulletin of Entomological Research*, 96: 531–538.

EPPO/CABI. 1997. *Data Sheets on Quarantine Pests, Bactrocera minax*. <http://www.eppo.org/QUARANTINE/listA1.htm> (2015–01–27).

Lü Z C, Wang L H, Zhang G F, Guo J Y and Wan F H. 2014a. Evaluation of endogenous reference genes of *Bactrocera minax* (Tetradacus) for gene expression profiling under various experimental conditions. *Florida Entomologist*, 97: 597–604.

Lü Z C, Wang L H, Zhang G F, Wan F H, Guo J Y, Yu H and Wang J B. 2014b. Three heat shock protein genes from *Bactrocera minax* (Tetradacus): gene cloning, characterization and relation with diapause. *Neotropical Entomology*, 43: 362–372.

(责任编辑: 杨郁霞)